

6 Μαρτίου 2016

Βαρυτικά κύματα: τα αποτυπώματά τους στο χωροχρόνο (Αλέξης Δεληβοριάς, Αστρονόμος του Ευγενιδείου Πλανηταρίου)

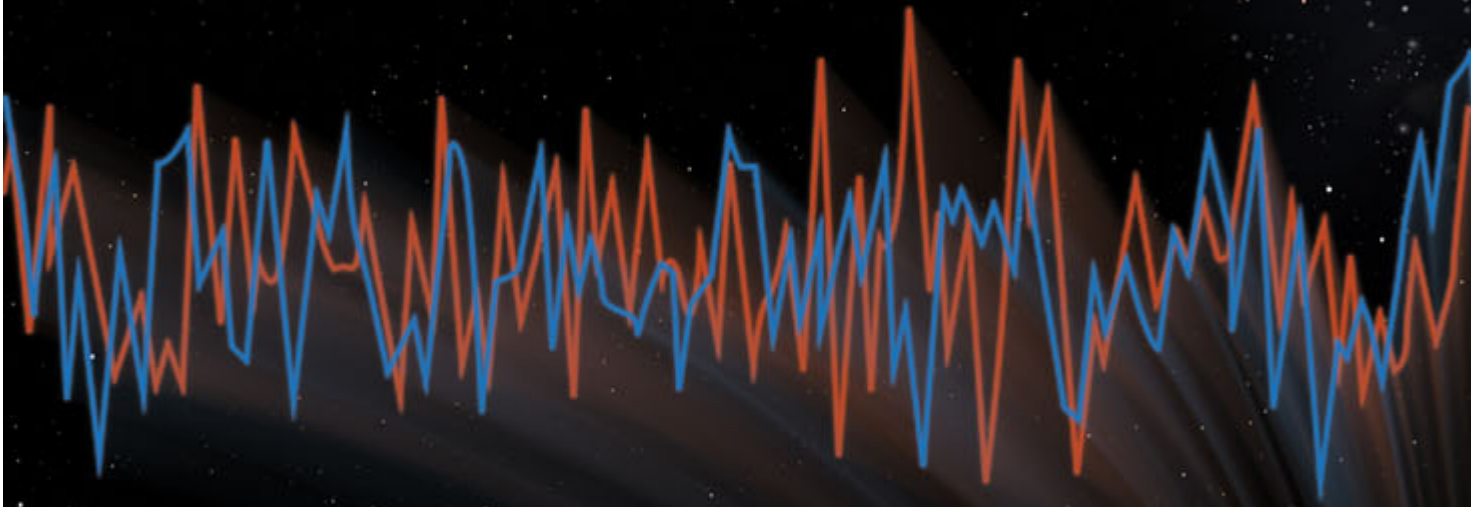
/ [Πεμπουσία](#)



LIGO, NSF, Illustration: A. Simonnet (SSU)



INSPIRAL



HANFORD, WASHINGTON
LIVINGSTON, LOUISIANA

Δεδομένου ότι η βαρύτητα είναι η ασθενέστερη από τις τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις της φύσης, τα βαρυτικά κύματα είναι τόσο ασθενή, ώστε η ανίχνευσή τους είναι εξαιρετικά δύσκολη. Γι' αυτό και πρακτικά, μόνο τα σώματα του Σύμπαντος με τις μεγαλύτερες μάζες και επιταχύνσεις μπορούν να δημιουργήσουν βαρυτικά κύματα, ικανά να προκαλέσουν μετρήσιμες μεταβολές στην ύλη που μας περιβάλλει, ενώ για τον ίδιο ακριβώς λόγο η αναπαραγωγή τους στο εργαστήριο είναι αδύνατη.

Εκτός αυτού, καθώς ένα βαρυτικό κύμα διαδίδεται στον χωροχρονικό ιστό του Σύμπαντος, όσο περισσότερο απομακρύνεται από τη φυσική αιτία που το δημιούργησε, τόσο περισσότερο εξασθενεί και τόσο περισσότερο ελαχιστοποιούνται οι ταλαντώσεις που προκαλεί στην ύλη. Γι' αυτό και παρόλο που ο Αϊνστάιν ήταν εκείνος που πρώτος πρότεινε τον ύπαρξή τους το 1916, ο ίδιος θεωρούσε ότι δεν θα μπορούσαμε ποτέ να τα ανιχνεύσουμε, ενώ είναι χαρακτηριστικό ότι πρέπει να άλλαξε αρκετές φορές την γνώμη του, αναφορικά με την ύπαρξή τους. Δεν είναι, λοιπόν, περίεργο που η ύπαρξη των βαρυτικών κυμάτων ήταν και η μοναδική έως τώρα από τις θεμελιώδεις προβλέψεις της ΓΘΣ που παρέμενε ανεπιβεβαίωτη πειραματικά. Ωστόσο οι έμμεσες ενδείξεις ότι αυτά υπήρχαν ήταν ισχυρές.

Οι ισχυρότερες απ' αυτές προέκυψαν μέσα από την μελέτη του πρώτου δυαδικού πάλσαρ, δηλαδή του πρώτου πάλσαρ που μαζί με έναν άλλο αστέρα νετρονίων περιστρέφονται γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους. Η συστηματική μελέτη του πάλσαρ των Hulse-Taylor, όπως είναι γνωστός από τους αστροφυσικούς που τον ανακάλυψαν, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα δύο αυτά ουράνια σώματα στροβιλίζονται με όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα το ένα γύρω από το άλλο, καθώς η μέση απόστασή τους μειώνεται συνεχώς, ώσπου εντέλει θα συγκρουστούν σε περίπου 300 εκατ. χρόνια. Σύμφωνα με τη ΓΘΣ, αυτό συμβαίνει διότι, καθώς το διπλό αυτό αστρικό σύστημα εκπέμπει βαρυτικά κύματα, αποβάλλει ενέργεια και η τροχιά του συρρικνώνεται όλο και περισσότερο. Οι μεταβολές αυτές, αν και ελάχιστες, έχουν ήδη μετρηθεί και αντιστοιχούν με μεγάλη ακρίβεια στις θεωρητικές τιμές που προβλέπει η ΓΘΣ.

Πραγματικά, λοιπόν, τα βαρυτικά κύματα είναι τόσο ασθενή και η αλληλεπίδρασή τους με την ύλη τόσο απειροελάχιστη, που μόνο τα βιαιότερα φαινόμενα στο Σύμπαν μπορούν να δημιουργήσουν βαρυτικά κύματα ικανά να προκαλέσουν μετρήσιμες ταλαντώσεις στην ύλη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων

φαινομένων αποτελούν οι εκρήξεις υπερκαινοφανών που δεν είναι σφαιρικά συμμετρικές, καθώς και τα διπλά συστήματα άστρων νετρονίων ή/και μαύρων οπών. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από δύο αστέρες νετρονίων ή δύο μαύρες τρύπες, που βρίσκονται σε σχετικά μικρή απόσταση μεταξύ τους και στροβιλίζονται γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους, παράγοντας βαρυτικά κύματα, τα οποία διαχέονται προς όλες την κατευθύνσεις με ταχύτητα που, απ' ό,τι φαίνεται, είναι ίση με τη ταχύτητα του φωτός.

Καθώς απομακρύνονται από την «πηγή» τους, τα βαρυτικά κύματα μεταφέρουν πληροφορίες, όχι μόνο για την φυσική αιτία που τα δημιούργησε, αλλά και για την ίδια την φύση της βαρύτητας. Επιπλέον, επειδή, όμως είπαμε, τα βαρυτικά κύματα «αφαιρούν» διαρκώς ενέργεια από την «πηγή» τους, στην περίπτωση των διπλών αστρικών συστημάτων αυτή η συνεχής απώλεια ενέργειας οδηγεί τα αστρικά «λείψανα» που τα απαρτίζουν (δηλαδή είτε τους αστέρες νετρονίων είτε τις μαύρες τρύπες) σε σπειροειδή κίνηση, δηλαδή σε όλο και μεγαλύτερη συρρίκνωση των επιμέρους τροχιών τους.

Καθώς, λοιπόν, τα «λείψανα» αυτά πλησιάζουν όλο και περισσότερο το ένα στο άλλο, περιστρέφονται όλο και ταχύτερα, μέχρις ότου η μεταξύ τους απόσταση μηδενίζεται και εντέλει συγκρούονται και συγχωνεύονται. Ακόμη και σ' αυτήν την περίπτωση, όμως, τα εκλυόμενα βαρυτικά κύματα αλληλεπιδρούν τόσο «φευγαλέα» με την ύλη ώστε, εάν διέρχονταν από το Ηλιακό μας σύστημα, θα μετέβαλλαν τη μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο κατά απόσταση μικρότερη από τη διάμετρο ενός ατόμου. Αυτό το γεγονός αποδεικνύει και πόσο δύσκολο είναι να ανιχνευτούν.

Με ποιον, όμως, τρόπο επηρεάζει η διέλευση ενός βαρυτικού κύματος την ύλη που μας περιβάλλει; Σχεδόν κάθε μεταβολή στην κινητική κατάσταση ενός ουράνιου σώματος (εκτός από την περίπτωση που η μεταβολή είναι σφαιρικά συμμετρική) θα αφήσει το «αποτύπωμά» της στον χωροχρόνο με τη μορφή βαρυτικών κυμάτων. Τα κύματα αυτά απομακρύνονται από την «πηγή» τους, μεταβάλλοντας με συγκεκριμένο και ρυθμικό τρόπο (επιμήκυνση σε μία διεύθυνση και ταυτόχρονη συρρίκνωση κατά την κάθετη διεύθυνση) τις αποστάσεις μεταξύ όλων των ελεύθερων σωμάτων που βρίσκονται σε ένα επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση διάδοσής τους. Με άλλα λόγια, καθώς ένα βαρυτικό κύμα διαχέεται στον χώρο, «ξεχειλώνει» και ταυτόχρονα συρρικνώνει τις διαστάσεις των αντικειμένων που είναι κάθετες μεταξύ τους και κάθετες προς την κατεύθυνση της διάδοσής του. Η συχνότητα και ένταση αυτών των απειροελάχιστων μεταβολών εξαρτώνται με την σειρά τους από τις ιδιότητες τους αστρικού συστήματος που τις παράγει, όπως τις μάζες δύο μαύρων οπών που περιστρέφονται η μία γύρω από την άλλη, την

μεταξύ τους απόσταση (η οποία όπως είπαμε διαρκώς μειώνεται από την συνεχή απώλεια ενέργειας του συστήματος) αλλά και από την απόσταση του συστήματος από εμάς.

Ένας τρόπος να οπτικοποιήσουμε, όσο είναι δυνατό, αυτές τις ταλαντώσεις της ύλης είναι το ακόλουθο νοητικό πείραμα, στο οποίο συγκρίνουμε την επίδραση που θα είχε σε ένα πλοίο στην θάλασσα η διέλευση θαλάσσιων κυμάτων, σε αντιδιαστολή με την διέλευση βαρυτικών κυμάτων (υποθέτουμε εδώ ότι και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούμε το πλοίο κατά το μήκος του, ενώ τα κύματα το προσεγγίζουν με διεύθυνση κάθετη ως προς το μήκος του).

Όταν η κορυφή ενός θαλάσσιου κύματος διέρχεται κάτω από το πλοίο, τότε αυτό ανυψώνεται σ' ένα μέγιστο ύψος. Ακολουθώντας, όταν κάτω από το πλοίο διέρχεται η «κοιλιά» του κύματος, τότε το πλοίο βυθίζεται σε ένα ελάχιστο ύψος κ.ο.κ., σε κάθε περίπτωση όμως οι διαστάσεις του πλοίου παραμένουν αμετάβλητες. Εάν όμως, σε αυτό το «νοητικό» μας πείραμα αντικαθιστούσαμε τα θαλάσσια με τα βαρυτικά κύματα, θα βλέπαμε κάτι εντελώς διαφορετικό.

Όταν, για παράδειγμα η «κορυφή» ενός βαρυτικού κύματος διερχόταν από το πλοίο, θα το «ξεχείλωνε», προκαλώντας μια ανεπαίσθητη επιμήκυνση στο μήκος του και μια ταυτόχρονη συρρίκνωση στο ύψος του. Στη συνέχεια, όταν η «κοιλιά» του βαρυτικού κύματος διερχόταν από το πλοίο θα προκαλούσε την αντίθετη μεταβολή, δηλαδή συρρίκνωση στο μήκος του και επιμήκυνση στο ύψος του. Όπως είπαμε, δηλαδή, εκείνες οι διαστάσεις του πλοίου, οι οποίες είναι κατακόρυφες στην διεύθυνση διάδοσης του βαρυτικού κύματος θα μεταβάλλονταν περιοδικά.

Παρατήρηση: το παρόν κείμενο είναι το πρώτο μέρος του άρθρου του κ. Αλέξη Δεληβοριά με τίτλο «Ο Αϊνστάιν επιβεβαιώνεται ξανά: τα βαρυτικά κύματα υπάρχουν!» (πηγή: Ίδρυμα Ευγενίδου, Πλανητάριο)