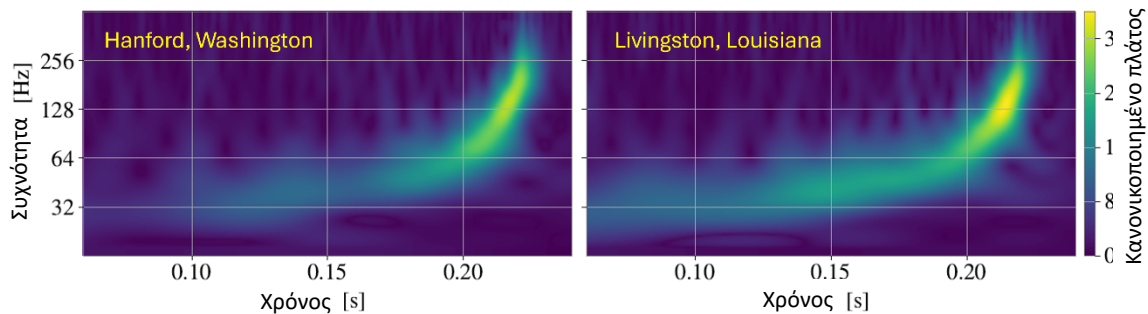


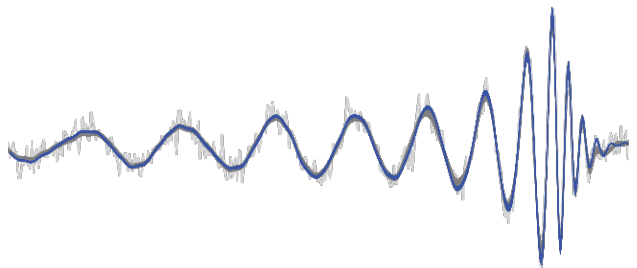
GW250114: ΚΟΣΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΑΝΕΣ ΧΑΟΥΣ

Στη 10η επέτειο της ανίχνευσης των βαρυτικών κυμάτων, η κοινοπραξία [LIGO, Virgo και KAGRA \(LVK\)](#) ανακοινώνει ένα νέο σήμα από τη συγχώνευση μελανών οπών: GW250114. Οι μελανές οπές ήταν εντυπωσιακά παρόμοιες (ως προς την μάζα και την απόστασή τους από την Γη) με εκείνες που παρατηρήθηκαν στην πρώτη ανίχνευση του LIGO, το 2015: [GW150914](#). Όμως, μετά από 10 χρόνια προόδου τόσο των ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων όσο και στις μεθόδους ανάλυσης των δεδομένων τους, οι ερευνητές του LVK «άκουσαν» το GW250114 τρεις φορές πιο καθαρά από την πρωτοποριακή πρώτη ανίχνευση. Με αυτήν την παρατήρηση, οι ερευνητές επιβεβαίωσαν ότι οι μελανές οπές μόνο αυξάνονται σε μέγεθος και ότι, όταν διαταράσσονται, ηχούν σαν καμπάνα με τον «ήχο» που είχε προβλέψει ο Αϊνστάιν.



Σχήμα 1: (Προσαρμοσμένο από το Σχήμα 1 της [δημοσίευσής](#).) Το βαρυτικό κύμα GW250114, όπως παρατηρήθηκε από τους ανιχνευτές LIGO Hanford (αριστερά) και LIGO Livingston (δεξιά). Τα διαγράμματα δείχνουν το βαρυτικό κύμα (**strain**) σε κάθε ανιχνευτή ως συνάρτηση του χρόνου (σε δευτερόλεπτα) και της συχνότητας (σε hertz, δηλαδή αριθμός ταλαντώσεων ανά δευτερόλεπτο). Η συχνότητα του GW250114 αυξάνεται απότομα, με μοτίβο που παρομοιάζουμε με «τιτίβισμα» (**chirp**), από περίπου 30 Hz έως 250 Hz μέσα σε δύο δέκατα του δευτερολέπτου.

Πριν από 50 χρόνια, ο Στίβεν Χόκινγκ και ο Τζέικομπ Μπέκενσταϊν διατύπωσαν την υπόθεση ότι [η επιφάνεια του οριζοντα γεγονότων μιας μελανής οπής](#) εκφράζει την [εντροπία](#) της. Η εντροπία είναι ένα μέτρο της αταξίας ή του χάους¹ ενός συστήματος, που μπορεί μόνο να αυξάνεται με τον χρόνο — κάτι που είναι γνωστό ήδη από την εποχή των ατμομηχανών. Αυτό σημαίνει ότι οι επιφάνειες των μελανών οπών μπορούν μόνο να μεγαλώνουν. Αυτή η υπόθεση έχει συναρπάσει τους φυσικούς, γιατί σύμφωνα με τη θεωρία της βαρύτητας του Αϊνστάιν, τη [Γενική Σχετικότητα](#), οι μελανές οπές είναι εξαιρετικά απλά αντικείμενα, που περιγράφονται μόνο από δύο αριθμούς: τη μάζα και την [περιστροφή](#)² τους. Κι όμως, τα ευρήματα των Χόκινγκ και Μπέκενσταϊν υποδηλώνουν ότι οι μελανές οπές είναι ταυτόχρονα απλές και ικανές να «αποθηκεύουν» τεράστιες ποσότητες χάους. Αυτή η δυαδικότητα θέτει την βάση της σύνδεσης ανάμεσα στον χωροχρόνο, την βαρύτητα, και τη κβαντική μηχανική.



Σχήμα 2: Απεικόνιση των δεδομένων (σε ανοιχτό γκρι) που παρατηρήθηκαν από τον ανιχνευτή LIGO Livingston τη στιγμή της ανίχνευσης GW250114 και του καλύτερου μοντέλου μας για τα βαρυτικά κύματα που παράχθηκαν από τη σύγκρουση των δύο μελανών οπών (σε σκούρο μπλε). Συμπεριλαμβάνεται επίσης η σκούρα γκρι ζώνη, η οποία δείχνει μια ανακατασκευή του κύματος χωρίς την υπόθεση ότι το σήμα παράχθηκε από δύο μελανές οπές. Το γεγονός ότι η σκούρα γκρι ζώνη συμφωνεί με τη σκούρα μπλε ζώνη υποδηλώνει ότι το μοντέλο μας περιγράφει με ακρίβεια το σήμα.

ΓΙΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ:

Επισκεφθείτε
τις σελίδες μας:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

1. Αυστηρά μιλώντας, στα μαθηματικά ο όρος χάος αναφέρεται σε μια διαφορετική έννοια, διακριτή από την έννοια της αταξίας. Ωστόσο οι δύο όροι συχνά συγχέονται.

2. Οι μελανές οπές μπορούν επίσης να έχουν ηλεκτρικό φορτίο, αλλά αυτό αναμένεται να είναι αμελητέο για μελανές οπές που σχηματίζονται από άστρα.



Το GW250114 μας δίνει την δυνατότητα να εξετάσουμε και τις δύο αυτές πτυχές των μελανών οπών: ότι είναι απλά αντικείμενα και ότι η εντροπία τους αυξάνεται πάντα. Επιπλέον, η καθαρότητα και η ισχύς του σήματος επιτρέπουν την πιο ακριβή μέχρι σήμερα μέτρηση του χαρακτηριστικού «ήχου» των μελανών οπών.

Όταν μια περιστρεφόμενη μελανή οπή διαταράσσεται (όπως όταν γεννιέται κατά τη συγχώνευση δύο αρχικών μελανών οπών), «δονείται» σαν καμπάνα, εκπέμποντας έναν μοναδικό βαρυτικό «ήχο» που σβήνει γρήγορα. Αυτή η δόνησή είναι χαρακτηριστική της μαθηματικής λύσης που προβλέφθηκε αρχικά από τον Roy Kerr, δηλαδή μια μελανή οπή που περιστρέφεται — γνωστή ως μελανή οπή Kerr. Για να ελέγξουν αυτή την υπόθεση, οι ερευνητές του LVK χρησιμοποίησαν το σήμα GW250114 για να απομονώσουν τον «ήχο» της μελανής οπής που προέκυψε από τη σύγκρουση (δηλαδή την εκπομπή βαρυτικών κυμάτων) και συμπέραναν ότι ταίριαζε με τους «ήχους» μιας μελανής οπής Kerr.

Για να κατανοήσουμε τη δόνηση μιας μελανής οπής, φανταστείτε μουσικά όργανα. Κάθε όργανο έχει μοναδικό ήχο που καθορίζεται από το σχήμα και τα υλικά του — μια καμπάνα ακούγεται διαφορετικά από ένα τύμπανο ή μια κιθάρα. Αλλά ο ήχος εξαρτάται επίσης από τον τρόπο που διαταράσσεται το όργανο: ο ήχος που βγάζει ένα τύμπανο όταν χτυπηθεί με ξύλο είναι διαφορετικός από το αν χτυπηθεί με βούρτσα. Οι μελανές οπές Kerr μπορούν να εκπέμπουν βαρυτικούς «ήχους» μόνο σε συγκεκριμένες συχνότητες και διάρκειες, καθορισμένες από τη μάζα και την ταχύτητα περιστροφής τους. Μια δόνηση προκαλεί την εκπομπή κάποιων, αλλά συνήθως όχι όλων, αυτών των ήχων. Αν μετρηθούν περισσότεροι από ένας, μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους: αντιστοιχούν στην ίδια μελανή οπή Kerr; Οι ερευνητές του LVK κατάφεραν για πρώτη φορά με υψηλή βεβαιότητα να προσδιορίσουν ότι τουλάχιστον δύο από τους προβλεπόμενους ήχους μιας μελανής οπής εκπέμφθηκαν από την τελική μελανή οπή, και οι συχνότητες και οι χρόνοι απόσβεσής τους συμφωνούσαν με μια μελανή οπή Kerr. Η τελική μελανή οπή του GW250114 είναι πράγματι μια απλή μελανή οπή που περιγράφεται μόνο από τη μάζα και την περιστροφή της.

Ταυτόχρονα, οι ερευνητές του LVK επιβεβαίωσαν ότι η επιφάνεια της τελικής μελανής οπής είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των επιφανειών των δύο αρχικών μελανών οπών (βλ. Σχήμα 3). Η δόνηση της τελικής μελανής οπής φέρει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για να μετρηθεί η επιφάνειά της. Οι αρχικές μελανές οπές, αν και δεν δονούνται, εκπέμπουν επίσης το δικό τους βαρυτικό σήμα. Καθώς περιστρέφονται η μία γύρω από την άλλη, χάνουν ενέργεια μέσω βαρυτικών κυμάτων και «προσεγγίζουν» η μία την άλλη. Οι ερευνητές του LVK χρησιμοποίησαν το σήμα GW250114 πριν συγκρουστούν οι μελανές οπές για να μετρήσουν τις επιφάνειες των αρχικών μελανών οπών. Αυτές οι εντελώς ανεξάρτητες μετρήσεις επιβεβαίωσαν ότι η συγχώνευση του GW250114 αύξησε πράγματι την εντροπία του Σύμπαντος!

Η ανίχνευση του GW250114 επιτεύχθηκε χάρη σε δεκαετίες δουλειάς χιλιάδων επιστημόνων για τη βελτίωση των ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων, την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι μελανές οπές «ηχούν» και την ανάπτυξη μεθόδων για να «ακούσουν» αυτή τη δόνηση από τα δεδομένα. Στηνδέκατη επέτειο της, η επιστήμη των βαρυτικών κυμάτων ανθίζει και συνεχίζει να προσφέρει έναν εντελώς νέο τρόπο εξερεύνησης του Σύμπαντός μας — με πολλά ακόμα εκπληκτικά ευρήματα πιθανώς να έρχονται.

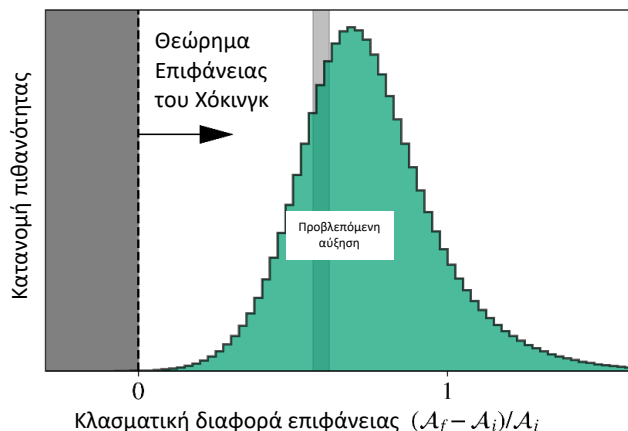
ΓΙΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ:

Επισκεφθείτε www.ligo.org
τις σελίδες μας: www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Διαβάστε το πλήρες επιστημονικό άρθρο [εδώ](#).

Τα δεδομένα της ανίχνευσης GW250114 είναι διαθέσιμα μέσω του Gravitational-Wave Open Science Center [εδώ](#).

Απόδοση – επιμέλεια στα Ελληνικά: Κατερίνα Χατζηγιάννου, Νικόλαος Στεργιούλας.



Σχήμα 3: (Προσαρμοσμένο από το Σχήμα 5 της [δημοσίευσής](#).) Κατανομή πιθανότητας για τη διαφορά των επιφανειών (ως κλάσμα), ίση με την επιφάνεια της τελικής μελανής οπής A_f με τον άθροισμα των επιφανειών των αρχικών μελανών οπών A_i , διαιρεμένη με την επιφάνεια του Χόκινγκ, η κλασματική διαφορά επιφάνειας θα πρέπει να βρίσκεται δεξιά από τη σκούρα γκρι περιοχή — δηλαδή δεξιά από την κατακόρυφη διακεκομμένη γραμμή που αντιστοιχεί σε κλασματική διαφορά μηδέν, όταν οι επιφάνειες είναι ίσες. Η κατανομή πιθανότητας απορρίπτει τιμές της κλασματικής διαφοράς επιφάνειας μικρότερες του μηδενός, που είναι συνεπές με το θεώρημα. Η κατανομή πιθανότητας βρίσκεται επίσης σε συμφωνία με τη γκρι κατακόρυφη ζώνη με την ένδειξη «Προβλεπόμενη αύξηση», η οποία δείχνει την κλασματική διαφορά επιφάνειας που προβλέπεται από τη Γενική Σχετικότητα, και αντιστοιχεί σε αύξηση επιφάνειας περίπου 65%.