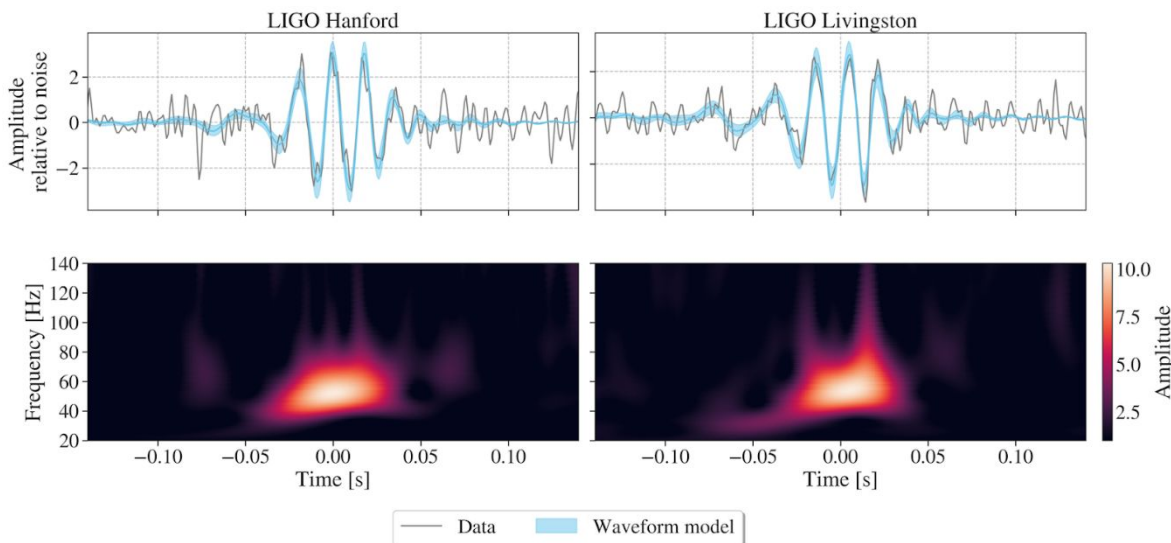


GW231123: ΤΟ ΠΙΟ ΜΑΖΙΚΟ ΖΕΥΓΟΣ ΜΕΛΑΝΩΝ ΟΠΩΝ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΕΙ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ ΜΕΣΩ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Στις 23 Νοεμβρίου 2023, στις 13:54:30 UTC, η κοινοπραξία των ανιχνευτών LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) κατέγραψε την ανίχνευση GW231123, ένα σήμα βαρυτικών κυμάτων που πιθανότατα προκλήθηκε από τη συγχώνευση δύο μελανών οπών με τη μεγαλύτερη συνολική μάζα που έχει παρατηρηθεί ποτέ από τη κοινοπραξία LVK. Εκτιμάται ότι αυτές οι μελανές οπές [περιστρέφονταν](#) εξαιρετικά γρήγορα, ενώ οι επιμέρους μάζες τους φαίνεται να εμπίπτουν σε μια περιοχή τιμών που θέτει προκλήσεις στις υπάρχουσες θεωρίες για την εξέλιξη και το τέλος της ζωής των πολύ μαζικών άστρων.

Η ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

Το βαρυτικό κύμα παρατηρήθηκε από τους δύο ανιχνευτές Advanced LIGO, στο Hanford και στο Livingston, κατά το πρώτο σκέλος της τέταρτης [παρατηρησιακής περιόδου](#) της κοινοπραξίας LVK (O4a). Η συμφωνία του σήματος στους δύο ανιχνευτές ήταν καθοριστική για την επιβεβαίωση της ανίχνευσης. Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**, το σήμα διήρκεσε περίπου ένα δέκατο του δευτερολέπτου, ωστόσο διακρίθηκε καθαρά, καθώς ήταν περίπου **20 φορές ισχυρότερο** από τον συνηθισμένο θόρυβο των ανιχνευτών. Για να βεβαιωθούμε ότι δεν επρόκειτο για μία τυχαία ανωμαλία στα δεδομένα, πραγματοποιήσαμε προσεκτικούς στατιστικούς ελέγχους. Χρησιμοποιώντας μεθόδους που προσομοιώνουν τεχνητά δεδομένα χιλιάδων ετών, υπολογίσαμε ότι η πιθανότητα ο συνηθισμένος θόρυβος των ανιχνευτών να παρήγαγε τυχαία ένα σήμα σαν το GW231123 είναι μικρότερη από μία φορά σε 10.000 χρόνια! Αυτό μας δίνει **εξαιρετική** βεβαιότητα ότι το σήμα δεν έχει γήινη προέλευση, και επομένως πρόκειται για ένα πραγματικό βαρυτικό κύμα.



Σχήμα 1: Το σήμα GW231123 στα δεδομένα από τους ανιχνευτές LIGO Hanford (αριστερά) και Livingston (δεξιά). Τα επάνω διαγράμματα δείχνουν το πλάτος των δεδομένων σε συνάρτηση με τον χρόνο (γκρι καμπύλες) και την εκτίμησή μας για το πραγματικό σήμα (γαλάζια σκιασμένη περιοχή). Τα κάτω διαγράμματα είναι φασματογραφήματα, γνωστά και ως απεικονίσεις χρόνου-συχνότητας, τα οποία δείχνουν το πλάτος του σήματος συναρτήσει του χρόνου (οριζόντιος άξονας) και της συχνότητας (κατακόρυφος άξονας). Τα πιο φωτεινά χρώματα αντιστοιχούν σε ισχυρότερο σήμα.

Η ΠΗΓΗ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

Τα δεδομένα δείχνουν με μεγάλη βεβαιότητα ότι το σήμα προήλθε από τη βίαιη [συγχώνευση δύο μελανών οπών](#). Για να μάθουμε περισσότερα γι' αυτές, όπως π.χ. τη μάζα τους και την ταχύτητα περιστροφής τους, χρησιμοποιήσαμε διάφορα μοντέλα βασισμένα στη [γενική θεωρία σχετικότητας του Αϊνστάιν](#), ώστε να προσομοιώσουμε πώς θα έμοιαζε ένα τέτοιο σήμα για διαφορετικά ζεύγη μελανών οπών.

Συγκρίνοντας τα παρατηρησιακά δεδομένα με αυτά τα μοντέλα, διαπιστώσαμε ότι αυτές οι μελανές οπές είχαν μάζες περίπου 137 και 103 φορές τη [μάζα του Ήλιου](#), αντιστοίχως. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις αβεβαιότητες, η συνολική τους μάζα ήταν πιθανότατα μεταξύ 190 και 265 ηλιακών μαζών, καθιστώντας την πηγή αυτή το πιο μαζικό διπλό σύστημα μελανών οπών που έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα, ξεπερνώντας την πηγή του σήματος [GW190521](#).

ΑΝΑΚΑΛΥΨΤΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ:

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



Η εντυπωσιακή αυτή ανακάλυψη γίνεται ακόμα πιο αξιοσημείωτη, καθώς και οι δύο μελανές οπές φαίνεται πως περιστρέφονταν σχεδόν με τη μέγιστη ταχύτητα που είναι θεωρητικά δυνατή, **καθιστώντας την πηγή GW231123 όχι μόνο το πιο μαζικό, αλλά και το ταχύτερα περιστρεφόμενο ζεύγος μελανών οπών που έχει ανιχνευθεί με βεβαιότητα μέσω βαρυτικών κυμάτων μέχρι σήμερα.**

Η συγχώνευση παρήγαγε μια μελανή οπή με μάζα πιθανότατα μεταξύ 182 και 251 ηλιακών μαζών. Αυτό την κατατάσσει σε μια σπάνια κατηγορία μελανών οπών, γνωστών ως **μελανές οπές ενδιάμεσης μάζας**—βαρύτερες από εκείνες που σχηματίζονται μέσω της αστρικής κατάρρευσης, αλλά πολύ ελαφρύτερες από τις υπερμαζικές μελανές οπές που βρίσκονται στα κέντρα των γαλαξιών. Τα υπολείμματα της συγχώνευσης στις πηγές GW231123 και GW190521, ξεχωρίζουν ως οι πιο ξεκάθαρες ανιχνεύσεις μέσω βαρυτικών κυμάτων αυτών των δύσκολα παρατηρήσιμων, μεσαίου μεγέθους μελανών οπών.

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟΣΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΥΣΕΣ ΑΥΤΕΣ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ;

Οι υπάρχουσες θεωρίες αστρικής εξέλιξης υποστηρίζουν ότι μελανές οπές με μάζες μεταξύ περίπου 60 και 130 ηλιακών μαζών θα έπρεπε να είναι εξαιρετικά σπάνιες ή να μην υπάρχουν καν. Αυτή η «απαγορευμένη» περιοχή μαζών, γνωστή ως το **διάκενο μαζών των μελανών οπών**, θεωρείται ότι οφείλεται σε κάποια ειδικά είδη εκρήξεων που είτε διαλύουν πλήρως τα αστέρια μεγάλης μάζας (**υπερκαινοφανείς αστάθειας ζεύγους**), είτε εκτινάσσουν μεγάλο μέρος της αστρικής μάζας πριν την κατάρρευση (**παλλόμενοι υπερκαινοφανείς αστάθειας ζεύγους**), εμποδίζοντας έτσι τον σχηματισμό μιας βαριάς μαύρης τρύπας.

Ωστόσο, η ανίχνευση GW231123 φαίνεται να αμφισβητεί αυτή την πρόβλεψη. Η ελαφρύτερη από τις δύο μελανές οπές βρίσκεται σχεδόν σίγουρα εντός του διακένου μαζών, με πιθανότητα 83%, ενώ η βαρύτερη έχει πιθανότητα 26%. Αυτό υποδηλώνει ότι η κλασική θεωρία αστρικής εξέλιξης ίσως δεν επαρκεί για να εξηγήσει την προέλευσή τους.

Μία συναρπαστική πιθανότητα είναι ότι η μία ή και οι δύο από αυτές τις μελανές οπές σχηματίστηκαν ως αποτέλεσμα προηγούμενων συγχωνεύσεων μελανών οπών. Αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει τις υψηλές μάζες και τις ταχύτητες περιστροφής τους και θα υποδηλώνει ότι προήλθαν από ένα εξαιρετικά πυκνό αστροφυσικό περιβάλλον, όπως ένα **πυρηνικό αστρικό σμήνος** ή ένα **ενεργό γαλαξιακό πυρήνα**, όπου οι συγκρούσεις μεταξύ μελανών οπών είναι πιο πιθανές. Αυτά τα πυκνά περιβάλλοντα μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε πιο επιμηκυμένες ή **έκκεντρες** τροχιές μεταξύ των μελανών οπών. Ωστόσο, για να περιορίσουμε την πολυπλοκότητα, στα υπάρχοντα μοντέλα μας υποθέτουμε ότι οι μελανές οπές περιφέρονται σπειροειδώς η μία γύρω από την άλλη σε σχεδόν κυκλικές τροχιές, που βαθμιαία συρρικνώνονται καθώς εκπέμπουν βαρυτικά κύματα. Αν όμως οι τροχιές είναι έντονα έκκεντρες, ιδίως λίγο πριν από τη συγχώνευση, οι εκπεμπόμενες κυματομορφές θα μπορούσαν να επηρεαστούν με τρόπους που τα υπάρχοντα μοντέλα μας δεν είναι σε θέση να περιγράψουν. Για την πηγή GW231123, αυτή η πιθανότητα παραμένει ανοιχτή και απαιτεί πιο εξελιγμένα μοντέλα για να διερευνηθεί.

Εναλλακτικά σενάρια που θα μπορούσαν να έχουν παραγάγει ένα τέτοιο σήμα, όπως οι **βαρυτικοί φακοί**, οι **αρχέγονες μελανές οπές**, οι **υπερκαινοφανείς κατάρρευσης πυρήνα**, οι **συγχωνεύσεις αστέρων υποζονίων** και οι **κοσμικές χορδές**, είναι αστροφυσικά λιγότερο πιθανά από εκείνα που συζητήθηκαν παραπάνω.

ΟΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ ΤΗΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ

Στις περισσότερες συγχωνεύσεις μελανών οπών που έχει παρατηρήσει μέχρι στιγμής η κοινοπραξία LVC - σχεδόν 300 τη στιγμή που γράφεται αυτή η περίληψη - οι ανιχνευτές είναι πιο ευαίσθητοι στην αρχική φάση του φαινομένου, όταν οι μελανές οπές πλησιάζουν σπειροειδώς η μία την άλλη μέχρι τη συγχώνευση. Ωστόσο, η ανίχνευση GW231123, λόγω της μεγάλης μάζας, μας προσέφερε την πιο καθαρή εικόνα του εντυπωσιακού φινάλε: της συγχώνευσης και της **φάσης απόσβεσης**, κατά την οποία η νέα μελανή οπή που σχηματίστηκε εκπέμπει ενέργεια μέσω βαρυτικών κυμάτων, πάλαι και τελικά καταλήγει σε μία σταθερή κατάσταση, όπως σβήνει σταδιακά ο ήχος μιας καμπάνας που χτυπάει.

Συγκρίνοντας αυτήν την τελευταία φάση του σήματος με τις προβλέψεις της γενικής σχετικότητας για τον τρόπο με τον οποίο αποσβένονται οι ταλαντώσεις μιας μελανής οπής, διαπιστώσαμε ισχυρή συμφωνία μεταξύ της θεωρίας και των δεδομένων μας. Ωστόσο, οι ακραίες ιδιότητες της πηγής GW231123 φέρνουν τα μοντέλα μας στα όριά τους, αφήνοντας ορισμένα λεπτά χαρακτηριστικά ανεξήγητα και αναδεικνύοντας την ανάγκη περαιτέρω βελτίωσης των κυματομορφών μας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Μερικά χρόνια πριν, στην **περίληψη της ανίχνευσης GW190521**, είχαμε πει ότι τα ρεκόρ είναι για να καταρρίπτονται και η ανίχνευση GW231123 το επιβεβαιώνει. Με ιδιότητες που φαίνεται να περιλαμβάνουν μελανές οπές εντός του διακένου μάζας και ταχύτητες περιστροφής κοντά στο ανώτερο θεωρητικό όριο, η ανίχνευση αυτή είναι αναμφισβήτητη ξεχωριστή, αλλά και δύσκολο να ερμηνευθεί. Μας ωθεί να εξετάσουμε εναλλακτικούς μηχανισμούς σχηματισμού των μελανών οπών, πέρα από την κλασική αστρική εξέλιξη, και αναδεικνύει τους περιορισμούς των υπάρχοντων μοντέλων κυματομορφών. Καθώς συνεχίζουμε να «ακούμε» το Σύμπαν μέσω των βαρυτικών κυμάτων, η ανίχνευση GW231123 μας υπενθυμίζει με τον πιο emphaticό τρόπο ότι ο κόσμος γύρω μας είναι γεμάτος εκπλήξεις και ότι μόλις έχουμε αρχίσει να τις ανακαλύπτουμε.

ΑΝΑΚΑΛΥΨΤΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ:

Επισκεφθείτε τις σελίδες μας:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

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

Διαβάστε μία προδημοσίευση του πλήρους επιστημονικού άρθρου [εδώ](#).

Τα δεδομένα της ανίχνευσης GW231123 είναι διαθέσιμα μέσω του Gravitational-Wave Open Science Centre [εδώ](#).

Απόδοση στα Ελληνικά: Παναγιώτης Ιωσήφ, Νικόλαος Στεργιούλας (από το αγγλικό πρωτότυπο που είναι διαθέσιμο [εδώ](#)).