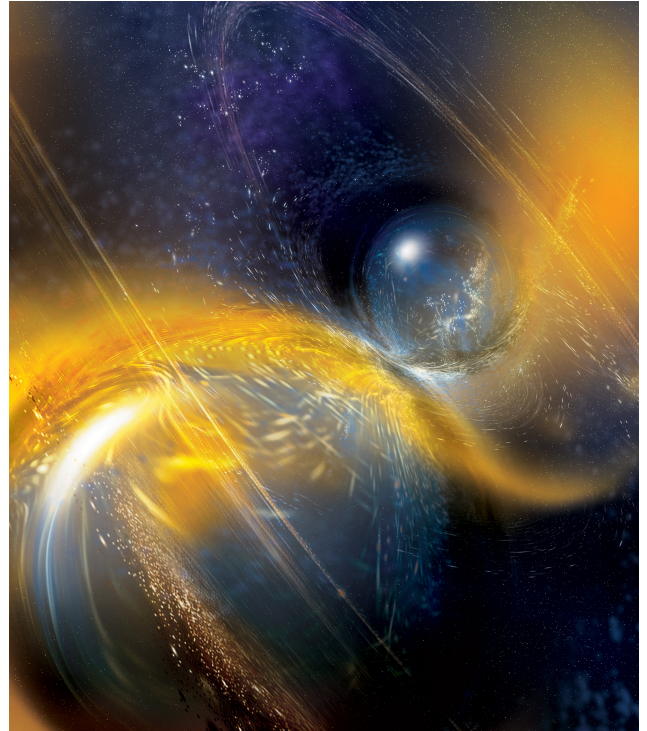


## GW190425: ΤΟ ΒΑΡΥΤΕΡΟ ΔΙΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΤΕΡΩΝ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΑΝΑΚΑΛΥΦΘΕΙ;

### ΤΙ ΑΝΑΚΑΛΥΨΑΜΕ

Η ερευνητική [συνεργασία LIGO](#) και [VIRGO](#) ανακοινώνει ότι στις 25 Απριλίου του 2019 ανιχνεύτηκαν βαρυτικά κύματα από την σύγκρουση δυο συμπαγών σωμάτων. Το σήμα ονομάστηκε GW190425. Το [παρατηρητήριο LIGO](#) αποτελείται από δυο ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων, ο ένας στο [Hanford, Washington](#), και ο άλλος στο [Livingston, Louisiana](#) των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Κατά την διάρκεια του σήματος GW190425, ο LIGO-Hanford ανιχνευτής ήταν προσωρινά εκτός λειτουργίας, αλλά το σήμα ήταν αρκετά δυνατό ώστε να φανεί ξεκάθαρα στον LIGO-Livingston ανιχνευτή. Ο [ανιχνευτής VIRGO](#) στην Cascina της Ιταλίας ήταν σε λειτουργία αλλά λόγω της διαφοράς ευαισθησίας μεταξύ των ανιχνευτών, το σήμα υπερέβη το κατώφλι ανίχνευσης μόνο στο Livingston. Παρ' όλα αυτά, τα δεδομένα από τον VIRGO ανιχνευτή χρησίμευσαν ώστε να προσδιοριστούν οι παράμετροι της αστροφυσικής πηγής του GW190425. Από αυτές τις παραμέτρους βρίσκουμε ότι η ολική μάζα του διπλού συστήματος αστέρων είναι μεταξύ 3.3 και 3.7 φορές η μάζα του Ηλίου. Δεδομένου αυτού του εύρους τιμών, η πιο πιθανή εξήγηση του σήματος είναι ότι δύο αστέρες νετρονίων συγχωνεύτηκαν/συγκρούστηκαν 520 εκατ. έτη φωτός μακριά. Η μάζα του συστήματος είναι σημαντικά μεγαλύτερη από οποιοδήποτε άλλο γνωστό διπλό σύστημα αστέρων νετρονίων.



Εικόνα 1: Καλλιτεχνική αναπαράσταση συγχώνευσης διπλού συστήματος αστέρων νετρονίων όπως το GW190425. Credit: National Science Foundation/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet.

### ΣΥΝΟΨΗ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΕΩΝ

Το σήμα ανιχνεύτηκε κατά την διάρκεια της τρίτης περιόδου παρατήρησης των παρατηρητίων Advanced LIGO και Virgo, επονομαζόμενη ως O3, η οποία ξεκίνησε την 1η Απριλίου του 2019 και θα ολοκληρωθεί στις 30 Απριλίου του 2020. Οι δύο πρώτες περίοδοι παρατήρησης ήταν η O1 (Σεπτέμβριος 2015-Ιανουάριος 2016) και η O2 (Νοέμβριος 2016 - Αύγουστος 2017). Δείτε [εδώ](#) για περισσότερες πληροφορίες. Όταν τα παρατηρητήρια δεν είναι ενεργά, αυτά αναβαθμίζονται με καινούργιες τεχνολογίες ώστε να αυξηθεί η ευαισθησία τους.

Κατά την διάρκεια της O2 περιόδου, τα παρατηρητήρια LIGO και VIRGO έκαναν την πρώτη ανίχνευση βαρυτικών κυμάτων από την σύγκρουση δύο αστέρων νετρονίων, ονομαζόμενη [GW170817](#). Η συγκεκριμένη συγχώνευση συνοδεύτηκε από [ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλο το](#)

**φάσμα.** Το GW190425 ενδέχεται να είναι το δεύτερο σήμα από βαρυτικά κύματα από μια τέτοια σύγκρουση. Μέχρι σήμερα δεν έχει ανιχνευθεί η αντίστοιχη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ούτε ακτινοβολία από νεutrίνο από το GW190425. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο όμως, καθώς η πηγή του πρόσφατου σήματος βρίσκεται πολύ πιο μακριά σε σχέση με την πρώτη και έτσι οποιαδήποτε άλλη ακτινοβολία θα ήταν αρκετά αδύναμη. Ακόμα πιο σημαντικός λόγος είναι ότι τα δεδομένα δεν επέτρεψαν ακριβό προσδιορισμό της περιοχής του ουρανού από την οποία προήλθε το σήμα. Για την ακρίβεια, προσδιορίσαμε την πηγή του GW190425 σε μια περιοχή που καλύπτει το 16% του ουρανού. Τόσο ευρεία περιοχή είναι πολύ μεγάλη για να καλυφθεί από ηλεκτρομαγνητικά τηλεσκόπια.

## ΠΩΣ ΞΕΡΟΥΜΕ ΟΤΙ ΤΟ ΣΗΜΑ GW190425 ΕΧΕΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Τα δεδομένα από τους ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων αναλύονται με διάφορους αλγόριθμους αναζήτησης ειδικά σχεδιασμένους να βρίσκουν σήματα από συγκρούσεις συμπαγών σωμάτων. Οι αλγόριθμοι αναζήτησης συγκρίνουν τα δεδομένα με θεωρητικά σήματα όπως προβλέποντε από την θεωρία της [Γενικής Σχετικότητας](#), χρησιμοποιώντας την τεχνική [matched filtering](#). Το σήμα GW190425 βρέθηκε μέσα στα δεδομένα του LIGO-Livingston ανιχνευτή από τους αλγόριθμους. Το επόμενο βήμα είναι να εκτιμηθεί πόσο σημαντικό είναι το σήμα που ανιχνεύτηκε, δηλαδή θέλουμε να ξέρουμε πόσο συχνά ένα τέτοιο σήμα θα εκδηλωνόταν εντελώς τυχαία λόγω θορύβου στα δεδομένα. Αυτό ονομάζεται συχνότητα ψευδούς ανίχνευσης (false alarm rate). Για να τον υπολογίσουμε, χρειάζεται να συγκρίνουμε την δύναμη του GW190425 σήματος με μία κατανομή υπόβαθρου. Το υπόβαθρο δημιουργήθηκε μέσω της ανάλυσης 169.5 ημερών δεδομένων της O1 και O2, και 50 μέρες δεδομένων της O3, από το LIGO-Livingston, LIGO-Hanford, και Virgo. Βρήκαμε ότι η συχνότητα ψευδούς ανίχνευσης για το GW190425 είναι ένα τυχαίο σήμα σε 69,000 χρόνια. Η εικόνα 2 δείχνει ότι κατά τη διάρκεια 219.5 ημερών δεδομένων υπόβαθρου, το GW190425 ξεχωρίζει ξεκάθαρα από το υπόβαθρο, όπως και το προηγούμενο επιβεβαιωμένο σήμα του GW170817.

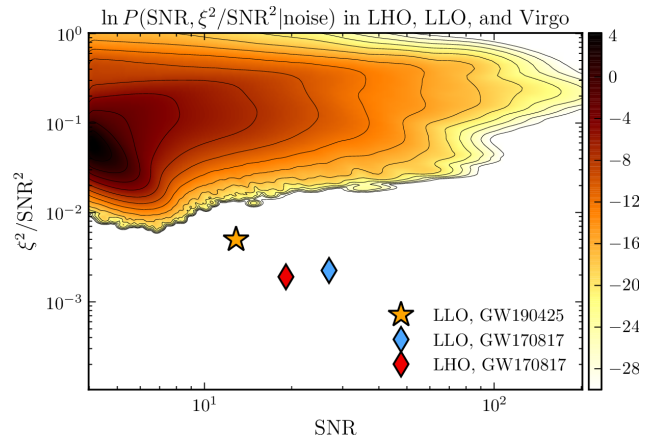
Εκτός των αλγόριθμων αναζήτησης, εκτελέσαμε παρόμοιες διαδικασίες ανίχνευσης στο GW190425 [όπως και σε προηγούμενα σήματα](#). Αυτοί οι επιπλέον έλεγχοι κοιτάνε να βρουν εάν κάποιος σπάνιος παροδικός πειραματικός θόρυβος στον LIGO-Livingston ανιχνευτή θα μπορούσε να εξηγήσει την παρουσία του σήματος GW190425. Καμία τέτοια περιβαλλοντολογική ή πειραματική διαταραχή δε βρέθηκε που να εξηγούσε το GW190425.

## ΓΙΑΤΙ ΤΟ GW190425 ΕΙΝΑΙ ΤΟΣΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ;

Βρήκαμε ότι η μάζα του βαρύτερου εκ των δύο συγκρουόμενων αστέρων είναι μεταξύ 1.61 και 2.52 φορές η μάζα του Ηλίου, και του δεύτερου αστέρα μεταξύ 1.12 και 1.68 φορές η μάζα του Ηλίου. Αυτές οι μάζες είναι συνεπείς με μάζες άλλων γνωστών αστέρων νετρονίων, καθώς επίσης και με τις προβλέψεις από εξομοιωμένες εκρήξεις [σούπερνοβα](#). Ο πιο βαρύς αστέρας νετρονίων που έχει ανακαλυφθεί μέσω ηλεκτρομαγνητικών παρατηρήσεων ([PSR J0740+6620](#)) έχει μάζα 2.05-2.24 φορές

## ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΟ ΑΡΘΡΟ

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις παρακάτω εικόνες, δείτε το πλήρες άρθρο [εδώ](#).



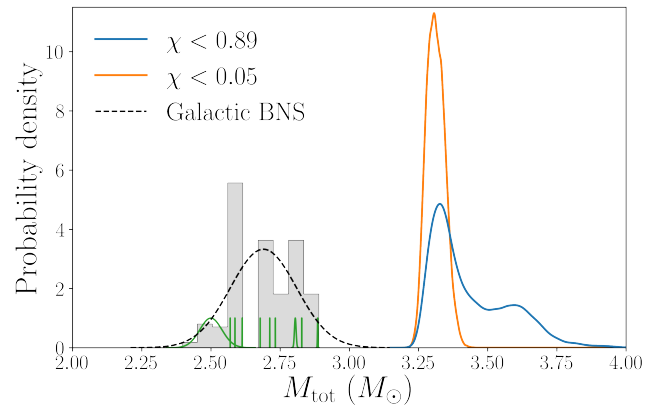
Εικόνα 2: Η εικόνα δείχνει την συνδυασμένη SNR- $\xi^2$  συνάρτηση πιθανότητας θορύβου για τα LIGO-Χάνφορντ (LHO), LIGO-Livingston (LLO) και Virgo. Το SNR (λόγος σήματος προς θόρυβο) ποσοτικοποιεί το πόσο δυνατό είναι το σήμα και το  $\xi^2$  ελέγχει πόσο καλά ταιριάζει η χρονική εξέλιξη του SNR με αυτή ενός πραγματικού σήματος από συγχώνευση διπλού συστήματος. Η εικόνα δείχνει το υπόβαθρο στην περιοχή σημάτων από διπλά συστήματα αστέρων νετρονίων. Αυτό το υπόβαθρο κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας 169,5 ημέρες από O1 και O2 και 50 ημέρες από O3. Δεν υπάρχει υπόβαθρο παρόν στη θέση του GW190425 (χρυσό αστέρι). Στέκεται πάνω από το υπόβαθρο. Για σύγκριση, το σήμα GW170817 καταγεγραμμένο στους ανιχνευτές LIGO-Hanford και LIGO-Livingston δείχνεται με μπλε και κόκκινα διαμάντια.

η μάζα του Ηλίου. Για το GW190425 δεν μπορούμε να αποκλείσουμε το ενδεχόμενο ότι ένα ή και τα δύο από τα σώματα είναι μαύρες τρύπες. Όμως η πιο απλή εξήγηση είναι ότι είναι πράγματι δύο αστέρες νετρονίων. Αν αυτό ισχύει, τι άλλο μπορούμε να συμπεράνουμε για το GW190425;

Κατά κάποιον τρόπο το GW190425 δεν μοιάζει με κανένα διπλό σύστημα νετρονίων στον Γαλαξία μας. Ενώ η μάζα του κάθε ένα αστέρα νετρονίων είναι παρόμοια με τη μάζα άλλων, η ολική μάζα του συστήματος είναι εντελώς διαφορετική. Η εικόνα 3 δείχνει την ολική μάζα δέκα γαλαξιακών διπλών συστημάτων αστέρων νετρονίων που αναμένεται ότι θα συγχωνευτούν εντός της διάρκειας της ζωής του σύμπαντος. Η [κανονική κατανομή](#) έχει προσαρμοστεί για να περιγράψει αυτά τα δέκα συστήματα. Από την κατανομή βρίσκουμε ότι η μέση ολική μάζα ενός γαλαξιακού διπλού συστήματος αστέρων νετρονίων είναι 2.69 φορές η μάζα του Ηλίου, ενώ η μάζα του GW190425 είναι 3.4 φορές. Πράγματι, είναι 5 [τυπικές αποκλίσεις](#) μακριά από την γαλαξιακή μέση τιμή. Αυτό υποδηλώνει ότι η πηγή του GW190425 σχηματίστηκε διαφορετικά από τα άλλα γνωστά γαλαξιακά διπλά συστήματα.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί μηχανισμοί για να σχηματιστεί ένα διπλό σύστημα αστέρων νετρονίων. Ο ένας λέγεται “μηχανισμός [κοινού φακέλου](#) απομονωμένου συστήματος” (common envelope isolated binary evolution channel), όπου οι δύο αστέρες νετρονίων σχηματίστηκαν όταν καθένα από τους δύο αστέρες ενός διπλού συστήματος έγινε σουπερνοβα αλλά απομονωμένο από άλλα συμπαγώσιμα σώματα. Ο δεύτερος μηχανισμός λέγεται “μηχανισμός δυναμικού σχηματισμού” (dynamical formation channel). Σε αυτό το σενάριο, ένα διπλό σύστημα αστέρων υπάρχει ήδη, στο οποίο και τα δύο είναι αστέρες νετρονίων ή το ένα είναι αστέρας νετρονίων και ο άλλος ένας αστέρας [κύριας ακολουθίας](#) (main sequence) για παράδειγμα. Κάποια στιγμή ένας άλλος αστέρας νετρονίων προστίθεται στο διπλό σύστημα και διώχνει τον αστέρα με την χαμηλότερη μάζα, καταλήγοντας έτσι σε ένα διπλό σύστημα αστέρων νετρονίων. Ο δυναμικός σχηματισμός είναι απίθανος ως ο γεννήτορας μηχανισμός του GW190425 επειδή γενικά δεν θεωρείται να συνεισφέρει σημαντικά στον ρυθμό συγχωνεύσεων αστέρων νετρονίων. Αν το σύστημα του GW190425 σχηματίστηκε σε απομόνωση, αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι συγκεκριμένοι αστέρες νετρονίων σχηματίστηκαν από αστέρες χαμηλής [μεταλλικότητας](#) (low-metallicity stars). Ή μπορεί να υποδεικνύει ότι όταν συνέβη η πρώτη έκρηξη σουπερνοβα και δημιουργήθηκε ο πρώτος αστέρας νετρονίων του διπλού συστήματος, μάζα από τον δεύτερο αστέρα (που δεν είχε γίνει σουπερνοβα ακόμα) μεταφέρθηκε στον πρώτο αστέρα και του αύξησε την μάζα. Σε κάθε περίπτωση, η ανακάλυψη του GW190425 μπορεί να σημαίνει ότι υπάρχει ένας πληθυσμός διπλών συστημάτων αστέρων νετρονίων με περιόδους τροχιάς λιγότερες από μία ώρα, ο οποίος δεν είναι ανιχνεύσιμος με παρόντες ηλεκτρομαγνητικές αστρονομικές αναζητήσεις.

Εξετάσαμε επίσης να δούμε αν θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε πόσο γρήγορα περιστρέφονται οι αστέρες νετρονίων (σπιν). Δυστυχώς, τα αποτελέσματά μας δεν μπορούν να προσδιορίσουν το σπιν τους. Τα σπιν τους όμως είναι συνεπής με τις περιστροφές των δύο ταχύτερα περιστρεφόμενων αστέρων νετρονίων που αναμένεται να συγχωνευθούν κατά την διάρκεια της ζωής του σύμπαντος, PSR J0737-3039A/B και PSR J1946+2052. Αυτό το τελευταίο σύστημα περιέχει ένα πάλσαρ το οποίο περιστρέφεται μία φορά κάθε 17 ms.



Εικόνα 3: Η εικόνα δείχνει την κατανομή των πιθανών ολικών μάζων για το GW190425 υπό διαφορετικές παραδοχές σχετικά με τα μεμονωμένα σπιν των δύο συμπαγών σωμάτων (μπλε και πορτοκαλί καμπύλες). Επίσης, παρουσιάζονται οι ολικές μάζες για 10 γαλαξιακά διπλά συστήματα αστέρων νετρονίων που αναμένεται να συγχωνευθούν κατά την διάρκεια της ζωής του Σύμπαντος. Η κατανομή των δέκα γαλαξιακών συστημάτων περιγράφεται χρησιμοποιώντας μια [κανονική κατανομή](#) απεικονισμένη ως διακεκομμένη μαύρη καμπύλη. Οι πράσινες καμπύλες είναι για μεμονωμένα γαλαξιακά διπλά συστήματα αστέρων νετρονίων, αναπροσαρμόστηκαν στο ίδιο ύψος με το 1 του κάθετου άξονα.



Αν τώρα θεωρήσουμε την ανακάλυψη του GW190425 ως ένα διπλό σύστημα αστέρων νετρονίων και συνδυάσουμε αυτό το αποτέλεσμα με το άλλο σύστημα αστέρων νετρονίων που έχουμε παρατηρήσει (GW170817), μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό αστέρων νετρονίων που συγκρούονται σε δεδομένο όγκο του σύμπαντος κάθε χρόνο. Συμπεραίνουμε ότι η συχνότητα συγχωνεύσεων αστέρων νετρονίων είναι μεταξύ 250 και 2810 ανά κυβικό gigaparsec ανά έτος.

Το GW190425 είναι ενδεχομένως η δεύτερη ανίχνευση ενός διπλού συστήματος αστέρων νετρονίων, και μας έχει προσφέρει περισσότερες μοναδικές πληροφορίες σχετικά με αυτά τα παράξενα αντικείμενα.

## ΜΑΘΕΤΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ:

Επισκεφτείτε τις ιστοσελίδες μας: [www.ligo.org](http://www.ligo.org), [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu).

Διαβάστε το δελτίο Τύπου LIGO για αυτή την ανακάλυψη: [ligo.caltech.edu/news/ligo20200106](http://ligo.caltech.edu/news/ligo20200106)

Μπορείτε να διαβάσετε το πλήρες επιστημονικό άρθρο [εδώ](#).

## ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

- **Συμπαγές σώμα:** Ένα γενικό όνομα για πολύ πυκνά, πολύ μικρά αστρικά σώματα, όπως οι αστέρες νετρονίων και οι μαύρες τρύπες. Αλλά όταν λέμε μικρά, εννοούμε με την αστρονομική έννοια! Τα αντικείμενα αυτά έχουν τουλάχιστον τη μάζα του Ήλιου μας, συμπυκνωμένα σε μια διάμετρο μερικών χιλιομέτρων έως και μερικών δεκάδων χιλιομέτρων.
- **Διπλό Σύστημα:** Ένα σύστημα με δύο αντικείμενα σε τροχιά το ένα γύρω από το άλλο.
- **Αστέρας νετρονίων:** Εξαιρετικά πυκνό σώμα, προϊόν της κατάρρευσης ενός τεράστιου αστέρα.
- **Μαύρη τρύπα:** Μια περιοχή του χωροχρόνου γύρω από μια εξαιρετικά συμπαγή μάζα, όπου η βαρύτητα είναι τόσο έντονη που τίποτα δεν μπορεί να ξεφύγει, συμπεριλαμβανομένου του φωτός.
- **Σπιν:** Ποσότητα που μετρά πόσο γρήγορα περιστρέφεται ένα αντικείμενο. Για παράδειγμα, η Γη περιστρέφεται με ρυθμό μια φορά ανά 24 ώρες.
- **Πάλσαρ:** Αστέρες νετρονίων που έχουν παρατηρηθεί μέσω των παλμών της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (συνήθως στη ραδιοφωνική ζώνη του φάσματος) που εκπέμπουν. Ένα μεγάλο μέρος των άστρων νετρονίων που νομίζουμε ότι υπάρχουν, δεν μπορεί να παρατηρηθεί ως πάλσαρ, είτε επειδή δεν εκπέμπει αρκετά ισχυρή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, είτε επειδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία τους δεν εκπέμπεται προς την κατεύθυνση της Γης.