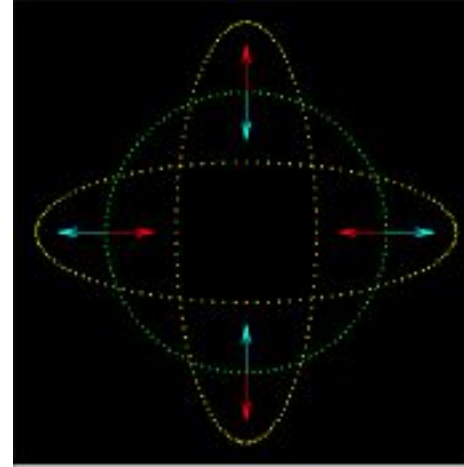
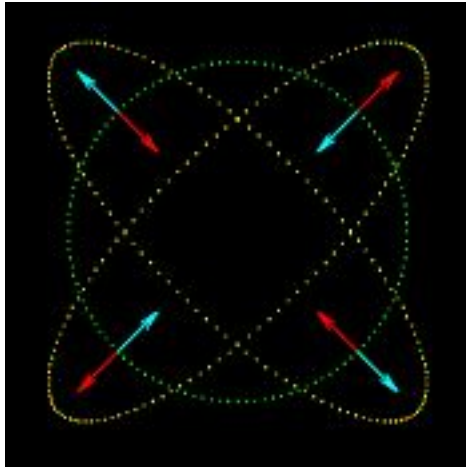


ΑΝΙΧΝΕΥΟΝΤΑΣ ΤΑ ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

ΣΥΦΥΚ
Ηράκλειο, 23 Απριλίου 2016

Ιωσήφ Παπαδάκης
Πανεπιστήμιο Κρήτης

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΩΜΑΤΑ

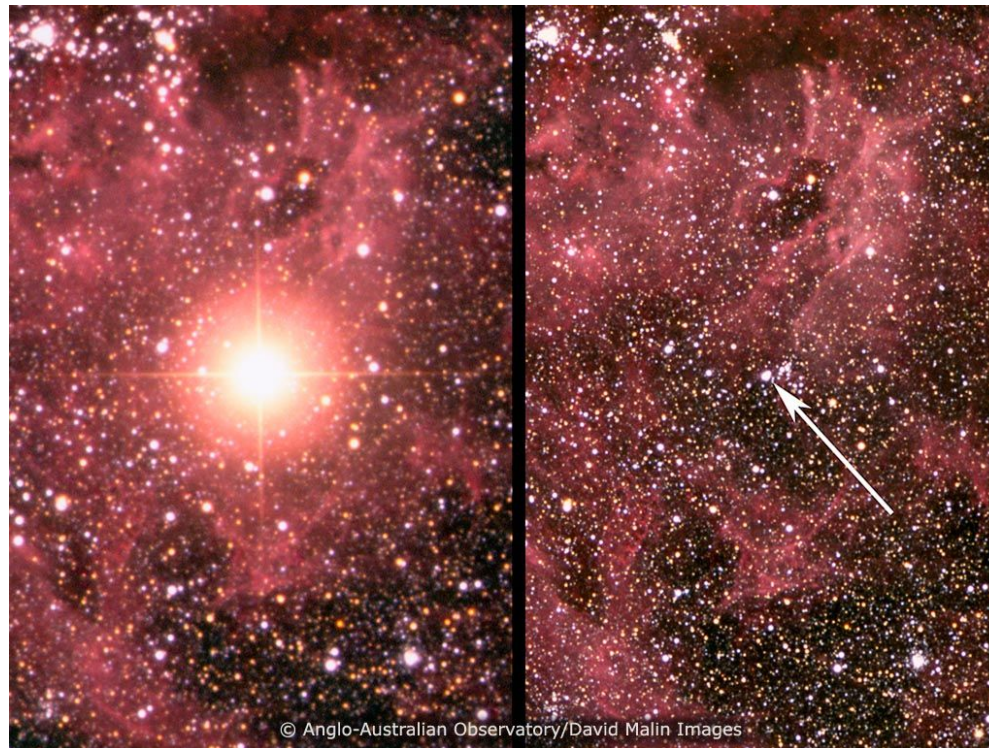


Η μελέτη της επίδρασης βαρυτικών κυμάτων είναι δύσκολη επειδή ένα προσπίπτον βαρυτικό κύμα θα επιδράσει με όλα τα σώματα που θα συναντήσει.

Είναι δύσκολο να βρούμε σώμα αναφοράς για να μελετήσουμε την αλληλεπίδραση.

Επίσης, το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης (μέγεθος μεταβολών διαστάσεων σώματος) είναι απίθανα μικρό.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την έκρηξη ενός υπερκαινοφανούς αστέρα (supernova).



© Anglo-Australian Observatory/David Malin Images

Ενέργεια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται $\sim 10^{43} - 10^{44}$ J.

Η ενέργεια που θα εκπεμφθεί σε βαρυτικά κύματα $< 2 \times 10^{45}$ J.

Ακόμα και αν η έκρηξη γίνει στο Γαλαξία μας,

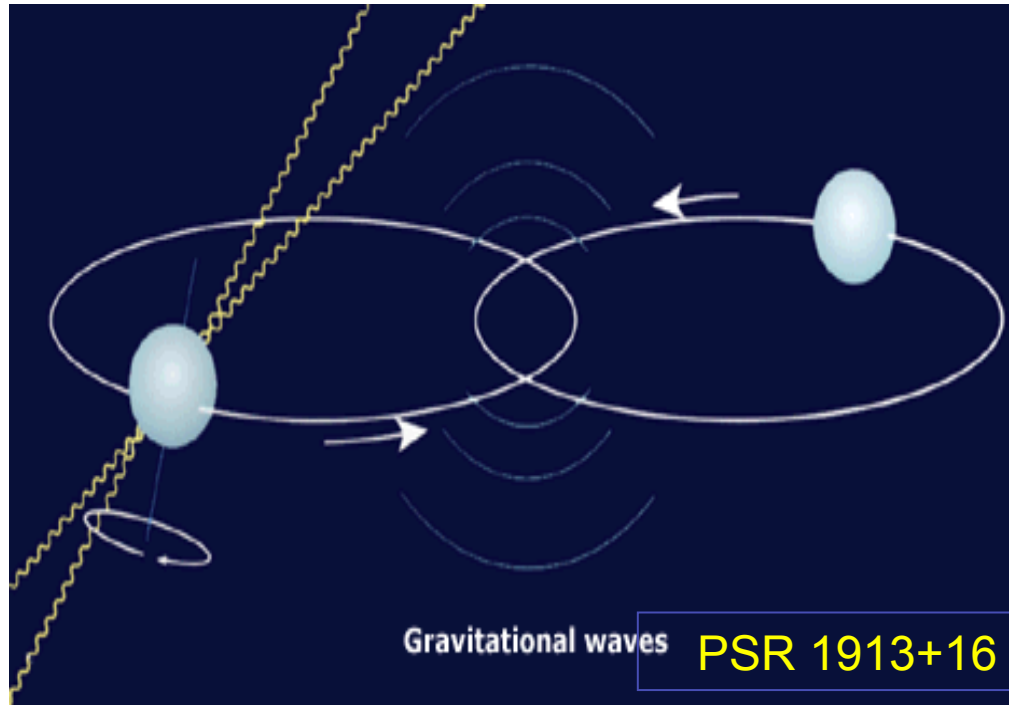
ένα δακτυλίδι ακτίνας 1 χλμ, θα παρουσιάσει ταλαντώσεις πλάτος ενός χιλιοστού της ακτίνας ενός ατομικού πυρήνα.

Η ασθενής βαρυτική αλληλεπίδραση με τα σώματα είναι ευχή και “κατάρα”:

α) βαρυτικά κύματα μπορούν να ταξιδέψουν κοσμολογικές αποστάσεις αναλλοίωτα.

β) βαρυτικά κύματα είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευθούν.

ΕΜΜΕΣΗ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ (μέσω αστρονομικών παρατηρήσεων)



Οι Hulse & Taylor ανακάλυψαν
ραδιο-παλμούς, με περίοδο
 $T=59.02999792988$ ms.

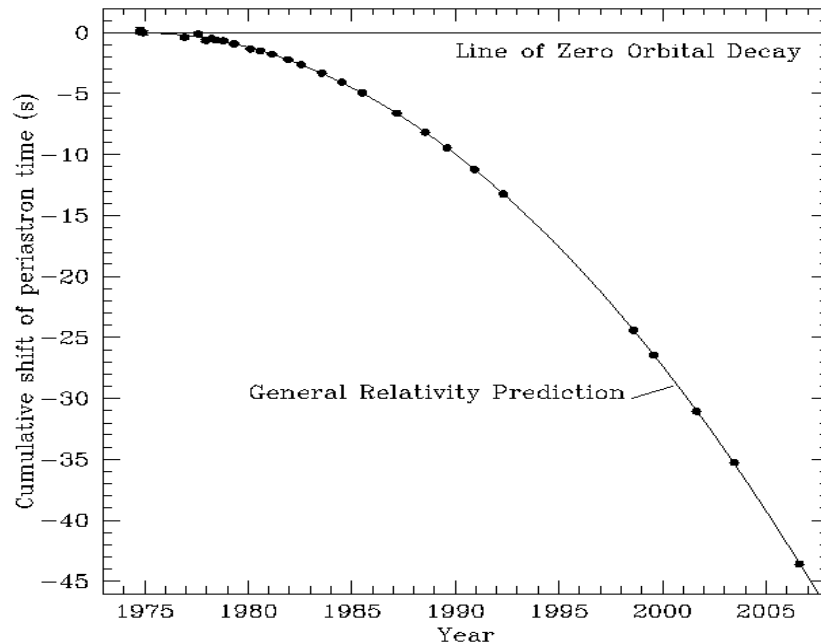
Στη συνέχεια πρόσεξαν ότι
υπήρχε μεταβλητότητα στην
άφιξη των παλμών: μερικές
φορές οι παλμοί έφταναν πιο
γρήγορα και άλλες φορές πιο
αργά απ' ότι τους περιμέναμε.
Αυτές οι μεταβολές ήταν περι-
οδικές:

=>

Ο πάλσαρ βρίσκεται σε διπλό
σύστημα. Συνολική μάζα συ-
στήματος: $2.828378(7) M_{\odot}$.



R. Hulse & J. Taylor (1974)



Η ανακάλυψη-κλειδί ήταν ότι η περίοδος περιστροφής του διπλού συστήματος ελλατώνεται με ρυθμό:

75 μ s/χρόνο

(το διάγραμμα δείχνει τη διαφορά στο χρόνο διάβασης από το περιήλιο, ανά έτος).

Το πηλίκο της παρατηρούμενης μείωσης της περιόδου περιστροφής ως προς την προβλεπόμενη είναι: 0.997 ± 0.002 .

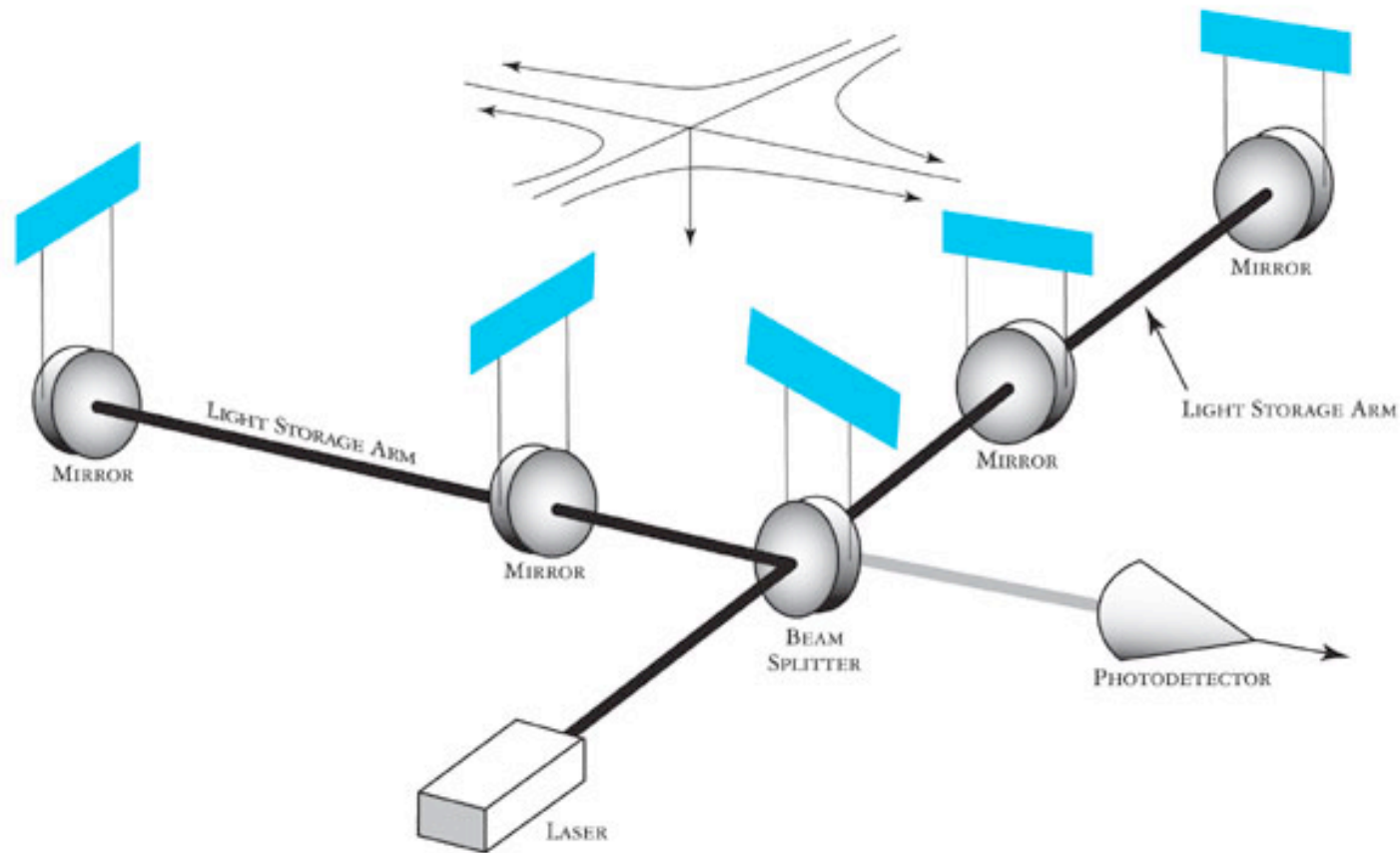
Η συνολική ισχύς των βαρυτικών κυμάτων που εκπέμπονται από το σύστημα είναι: 7.4×10^{24} Watt (~1.9% της Ηλιακής Λαμπρότητας)

Σύγκριση: η κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο παράγει βαρυτικά κύματα ισχύος 5000 Watt.

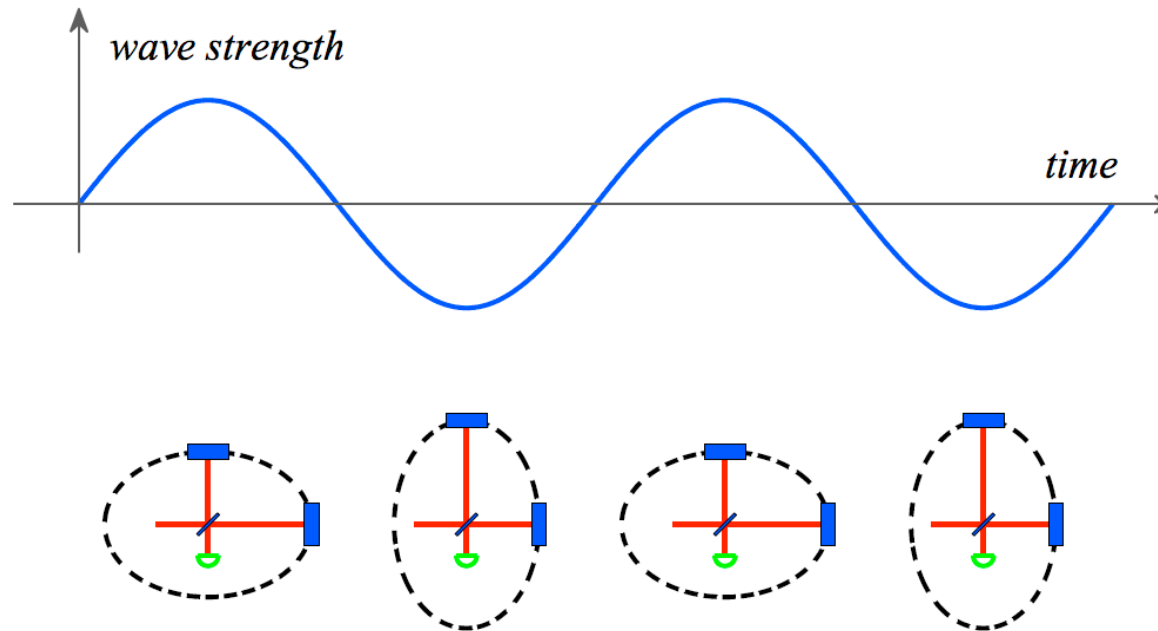
Χρόνος μέχρι τη βαρυτική συγχώνευση των αστέρων: ~ 300 εκατ. χρόνια.

ΑΜΕΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ: ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΑ ΛΕΙΖΕΡ

LIGO: $L=4\text{km}$



Τι συμβαίνει όταν ένα βαρυτικό κύμα «προσπίπτει» στους ανιχνευτές του LIGO?

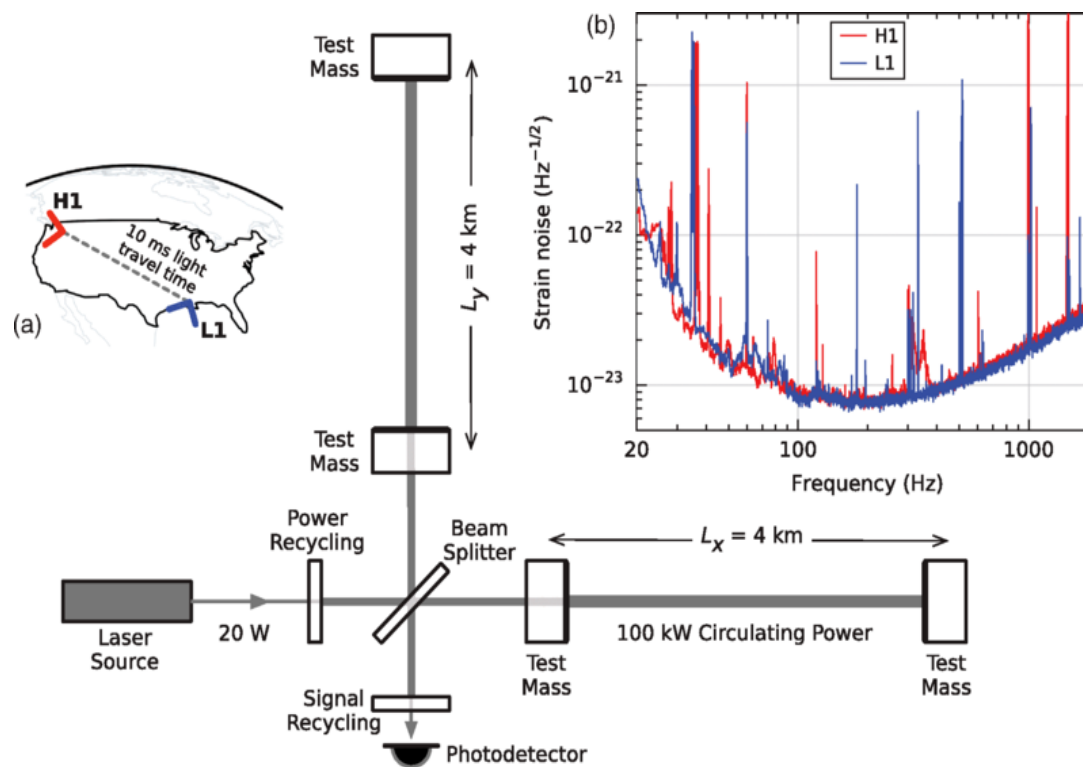


Συμπιέζει και επιμηκώνει τους «βραχίονες» του οργάνου, με αποτέλεσμα η απόσταση μεταξύ των καθρεπτών και του beam splitter να μεταβάλεται περιοδικά, και η φωτοδίοδος να καταγράφει φαινόμενα συμβολής.

Χαρακτηριστικά των βαρυτικών κυμάτων:

Πλάτος (h): ανάλογο του ποσοστό μεταβολής μήκους του βραχίονα του ανιχνευτή (μέγιστα πλάτη των Βαρυτικών κυμάτων που φθάνουν στη Γη: $h \approx 10^{-20}$ - 10^{-21}).

Συχνότητα: 1 προς το χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών επιμηκύνσεων ή συμπίεσεων.

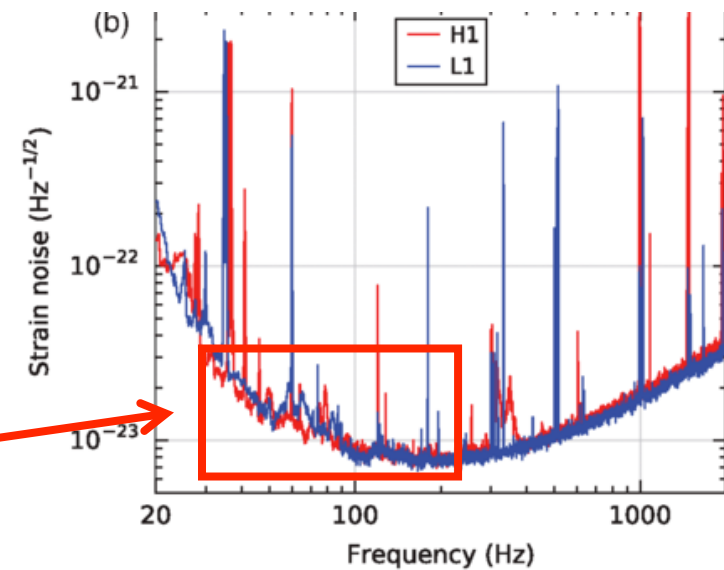
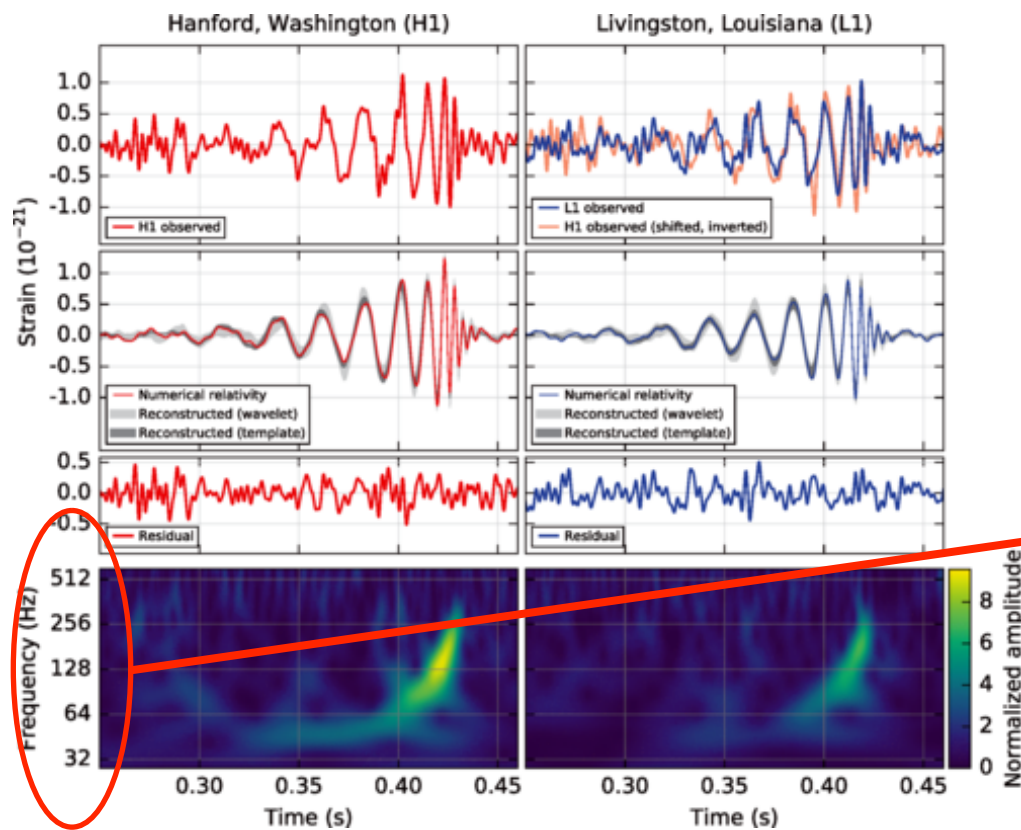


Το LIGO μπορεί να «δει» βαρυτικά κύματα με συχνότητες: 20-2000 Hz.

Χαμηλότερες συχνότητες: σεισμοί, ρωγμές στα μηχανικά μέρη του πειράματος, ηλεκτρικός θόρυβος, καιρικά φαινόμενα.

Υψηλές συχνότητες: φωτονικός θόρυβος.

ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΣΗΜΑ «ΑΛΗΘΙΝΟ»;



Πιθανότητα το σήμα να οφείλεται σε «θόρυβο»:
0.0000006

ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΕΝΑ
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΓΕΓΟΝΟΣ;

ΝΑΙ

- ✓ ΑΠΟΔΕΙΚΝΥΕΙ ΤΗΝ ΟΡΘΟΤΗΤΑ ΤΗΣ Γ. Θ. Σ. ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ «ΙΣΧΥΡΟΥ ΠΕΔΙΟΥ» (το σήμα που ανιχνεύσαμε – διάρκεια, μεταβολή συχνότητας - είναι σύμφωνο με τις προβλέψεις της θεωρίας).
- ✓ ΑΠΟΔΕΙΚΝΥΕΙ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΜΕΛΑΝΩΝ ΟΠΩΝ (το σήμα – μορφή σήματος στο μέγιστο και ελάττωση του πλάτους - είναι όπως ακριβώς προβλέπεται στην περίπτωση μελανών οπών Kerr).
- ✓ ΑΠΟΔΕΙΚΝΥΕΙ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΜΕΛΑΝΩΝ ΟΠΩΝ ΜΕΓΑΛΗΣ ΜΑΖΑΣ (αν προέρχονται από την εξέλιξη μεμονομένων αστέρων, τότε μιλάμε για αστέρια με πολύ ασθενής αστρικούς ανέμους, και άρα σε περιβάλλοντα με πολύ μικρή μεταλλικότητα).

Τι μπορούμε να (θα) «δούμε» στα 20-2000 Hz;

