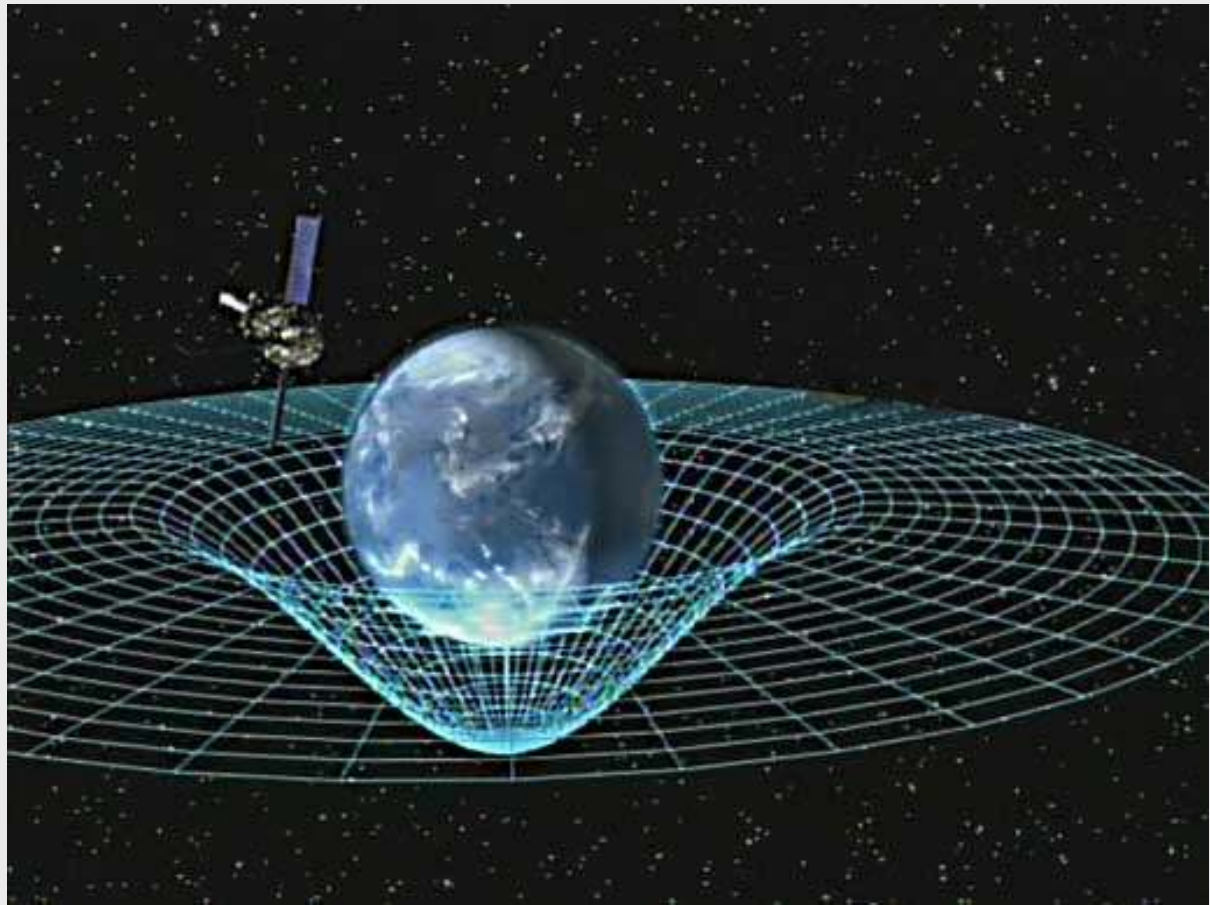


Ανακάλυψη βαρυτικών
κυμάτων από τη συγχώνευση
δύο μαύρων οπών

Σελίδα LIGO

Πεδίο Βαρύτητας στη Γενική Σχετικότητα.

- Πώς μία μάζα στο Σύμπαν στρεβλώνει τον χωροχρόνο (Credit: NASA)



Από την Επιτάχυνση Δημιουργούνται Βαρυτικά Κύματα

Το Βαρυτικό πεδίο διαδίδεται
με την ταχύτητα του φωτός.
Όταν μια μάζα επιταχύνεται, η
διαταραχή δεν φτάνει
συγχρόνως σε όλα τα σημεία
του χώρου και παράγονται
κύματα.

Βαρυτικά κύματα

Χωρόχρονος, συσωματούμενες

Μαύρες Τρύπες

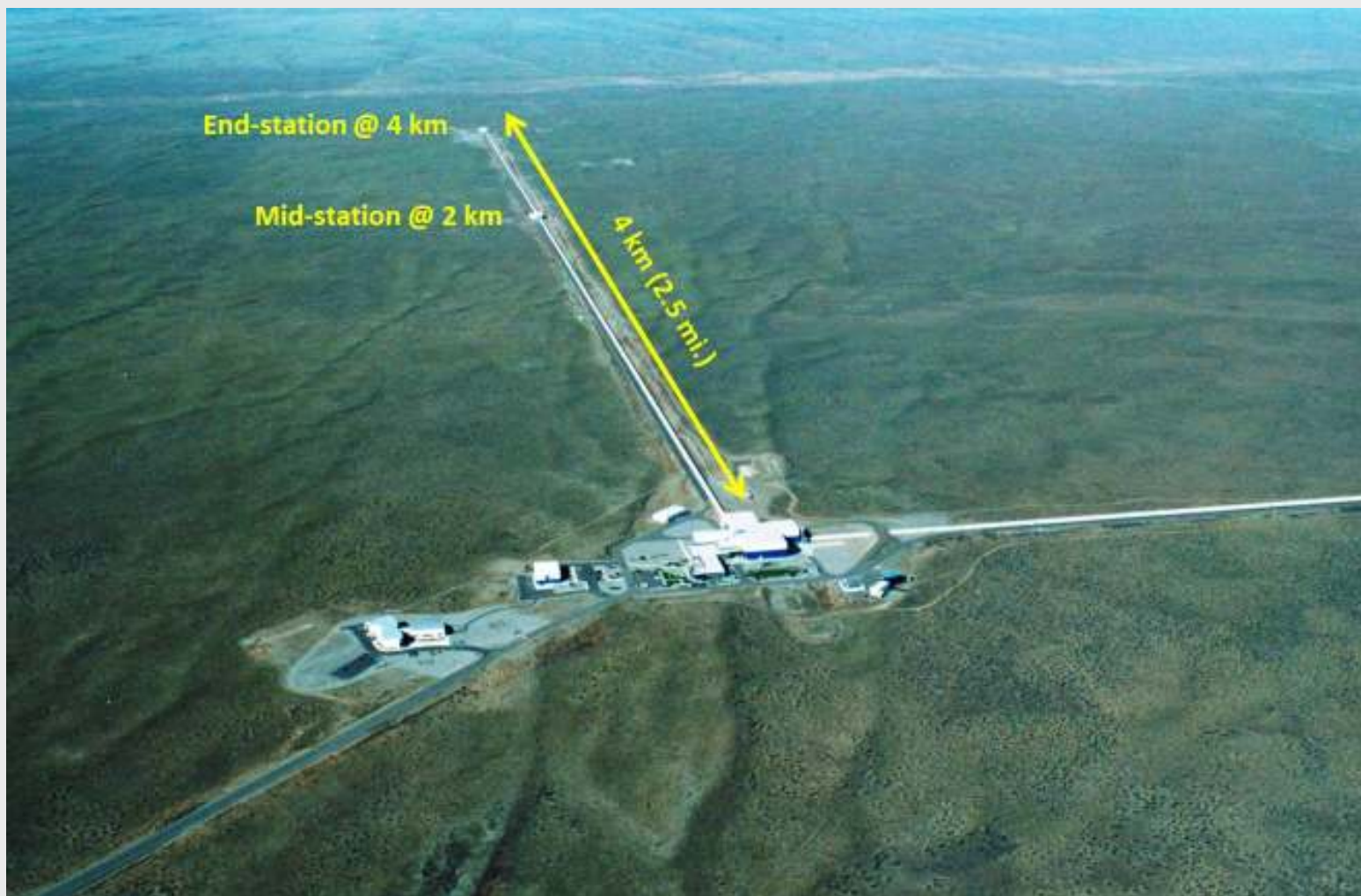
Πείραμα LIGO Ένα θαύμα τεχνολογίας. (Σταθμός Livingston)

Διακρίνονται τα τούνελ του
ανιχνευτή.



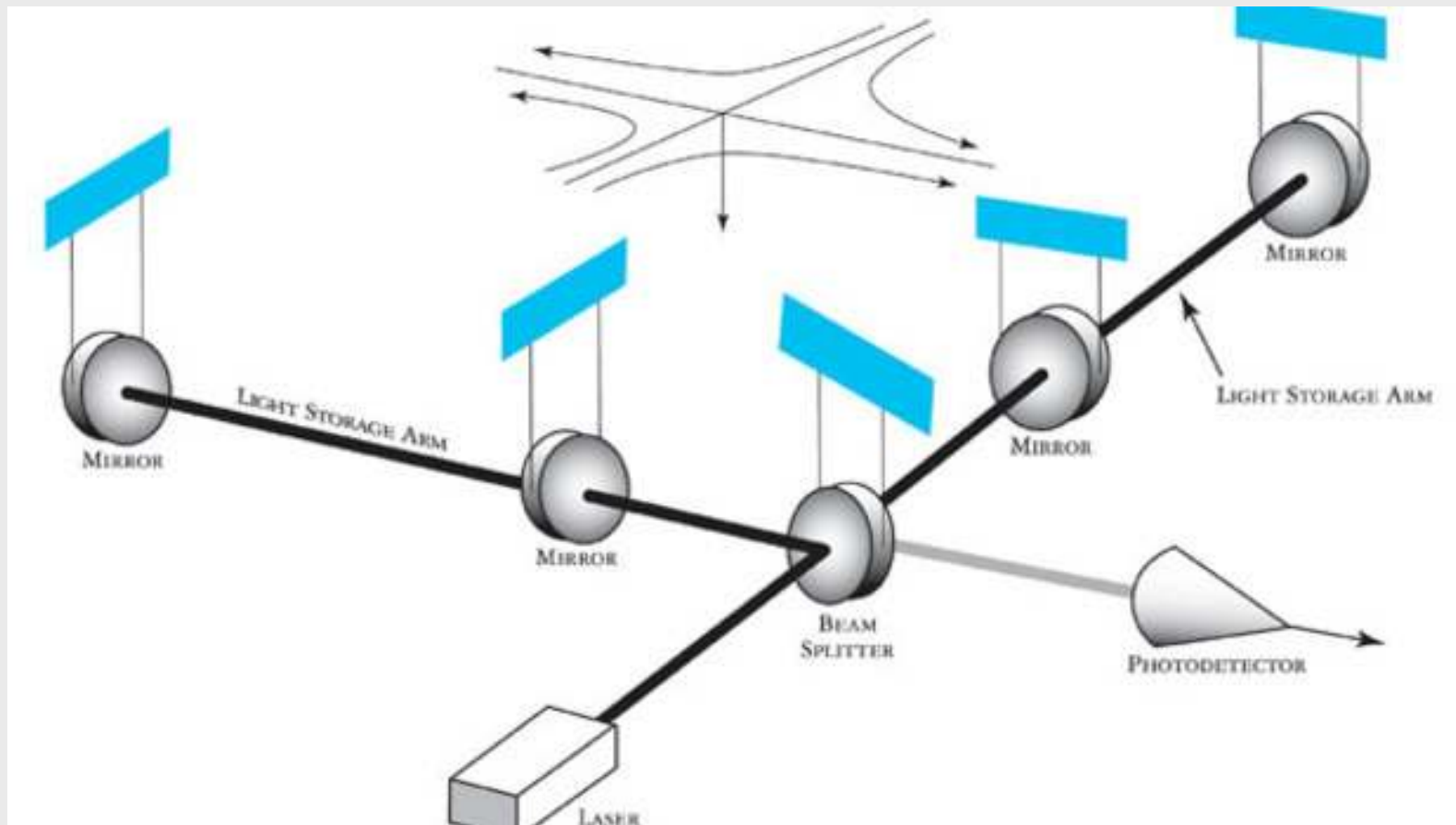
LIGO Hanford

Σταθμός Hanford



Βασική Ιδέα

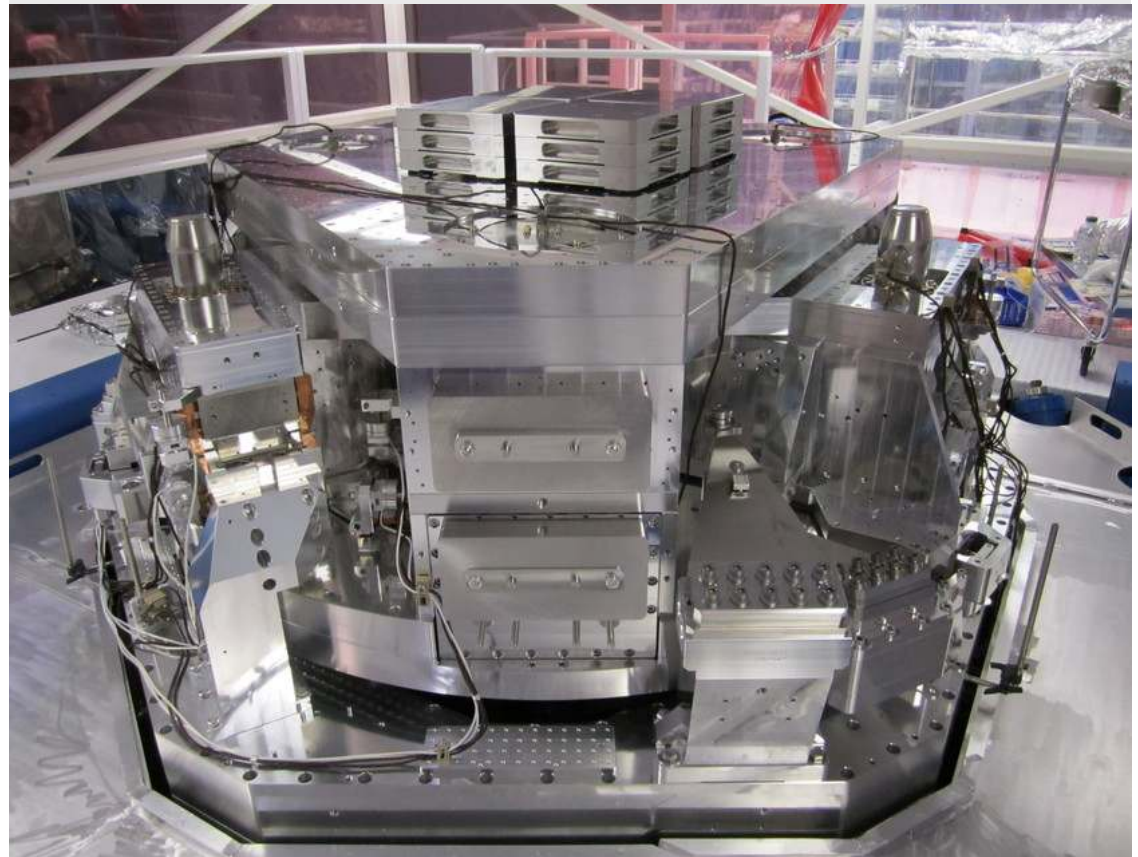
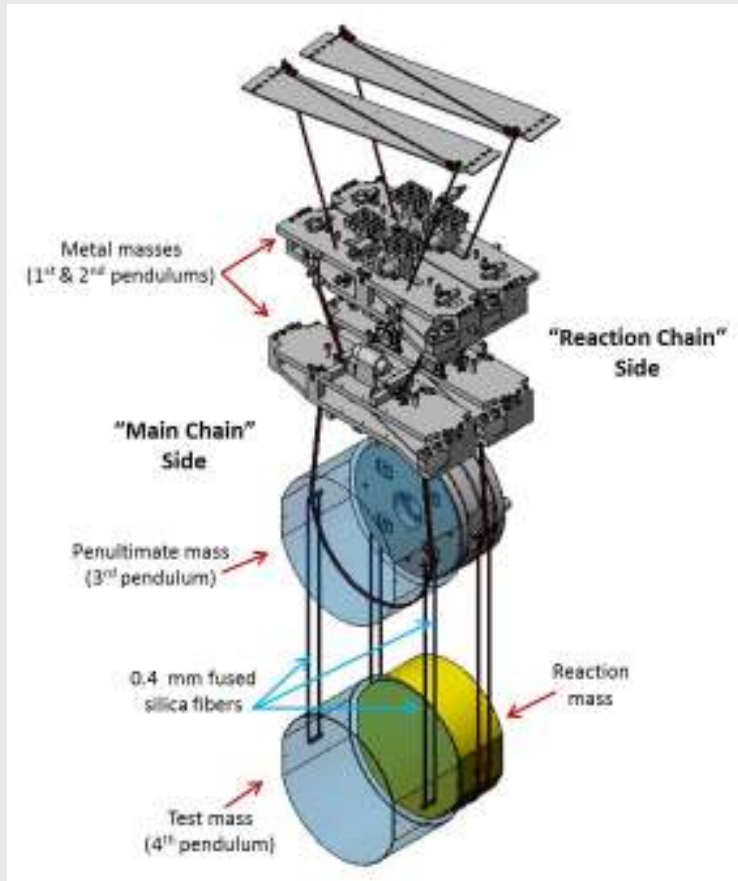
Συμβολόμετρο Michelson – Morley



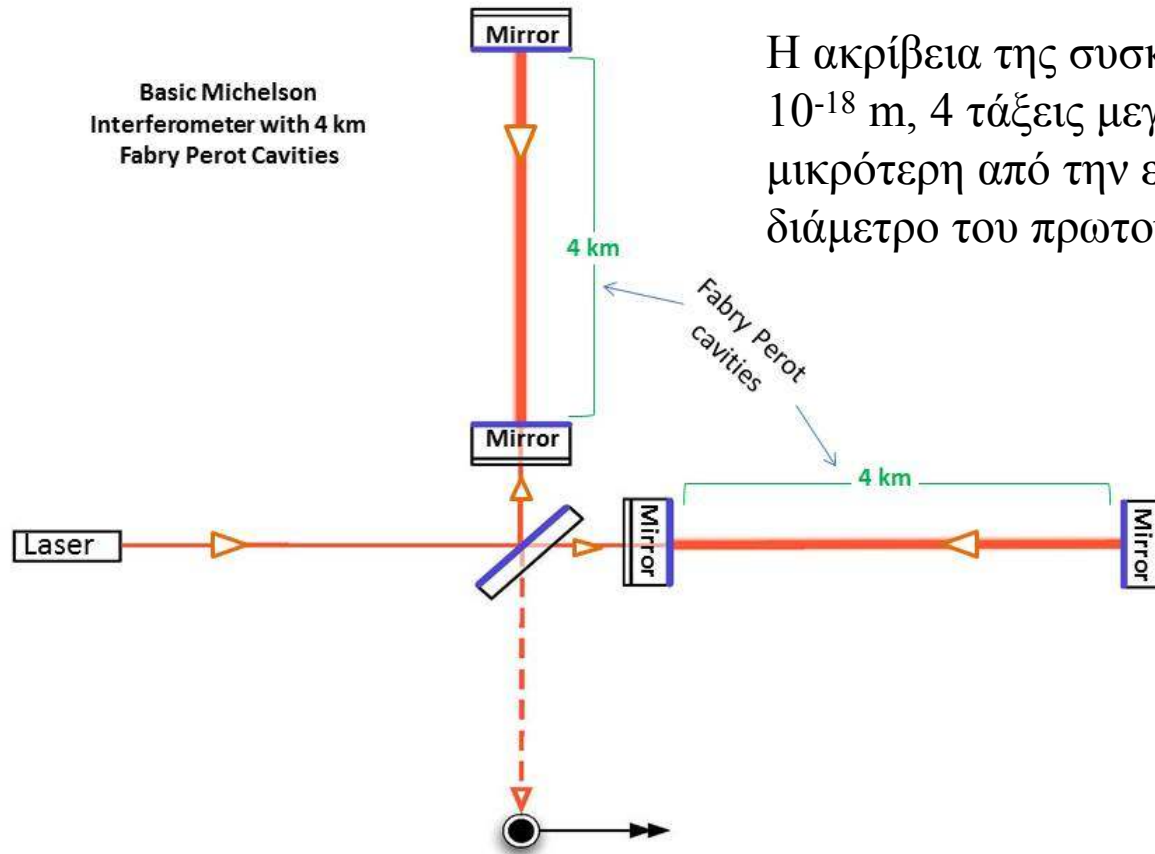
Τα κάτοπτρα χρησιμοποιούνται σαν δοκιμαστικές
μάζες.



Ένα πολύπλοκο σύστημα ανάρτησης των μαζών και σερβομηχανισμών, εμποδίζει τις περιβαλλοντικές ταλαντώσεις να μετατοπίσουν τις δοκιμαστικές μάζες.



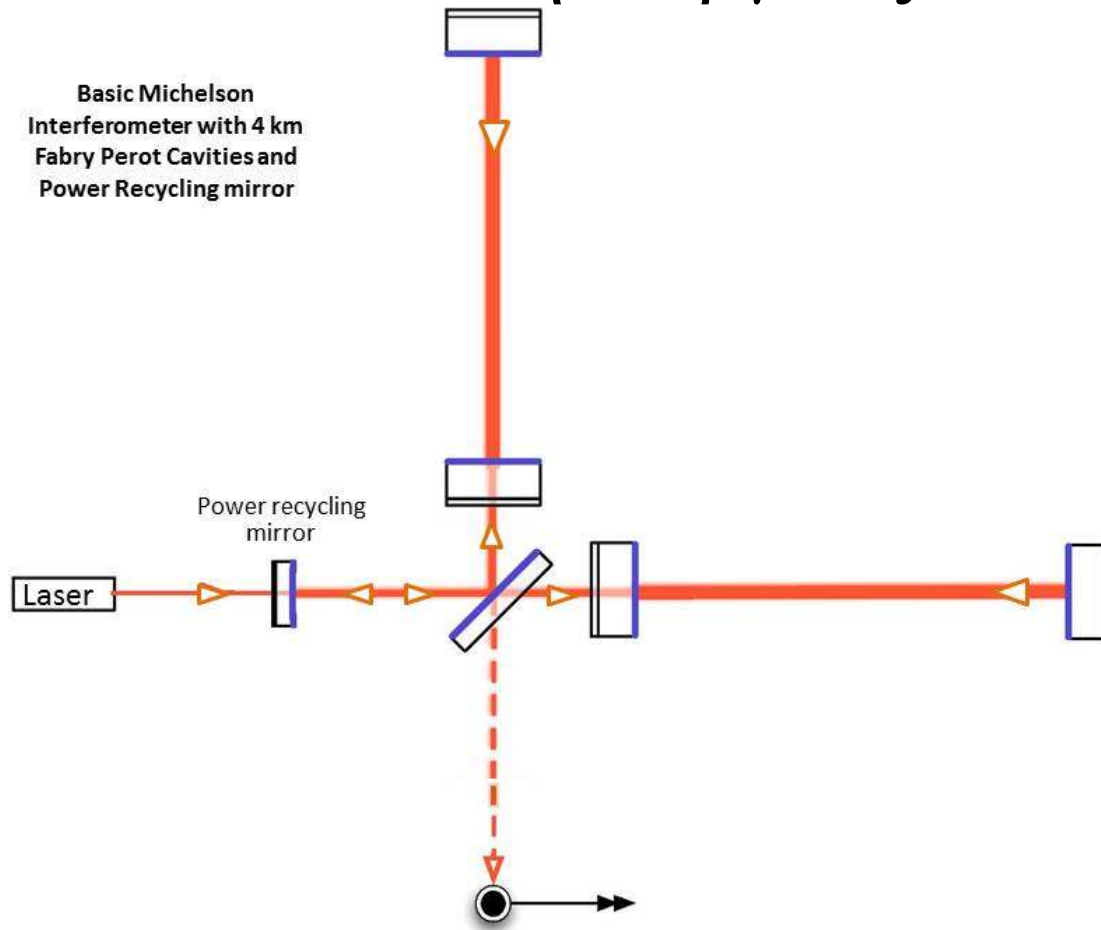
Διάταξη Fabry Perot



Η ακρίβεια της συσκευής είναι 10^{-18} m, 4 τάξεις μεγέθους μικρότερη από την εκτιμώμενη διάμετρο του πρωτονίου.

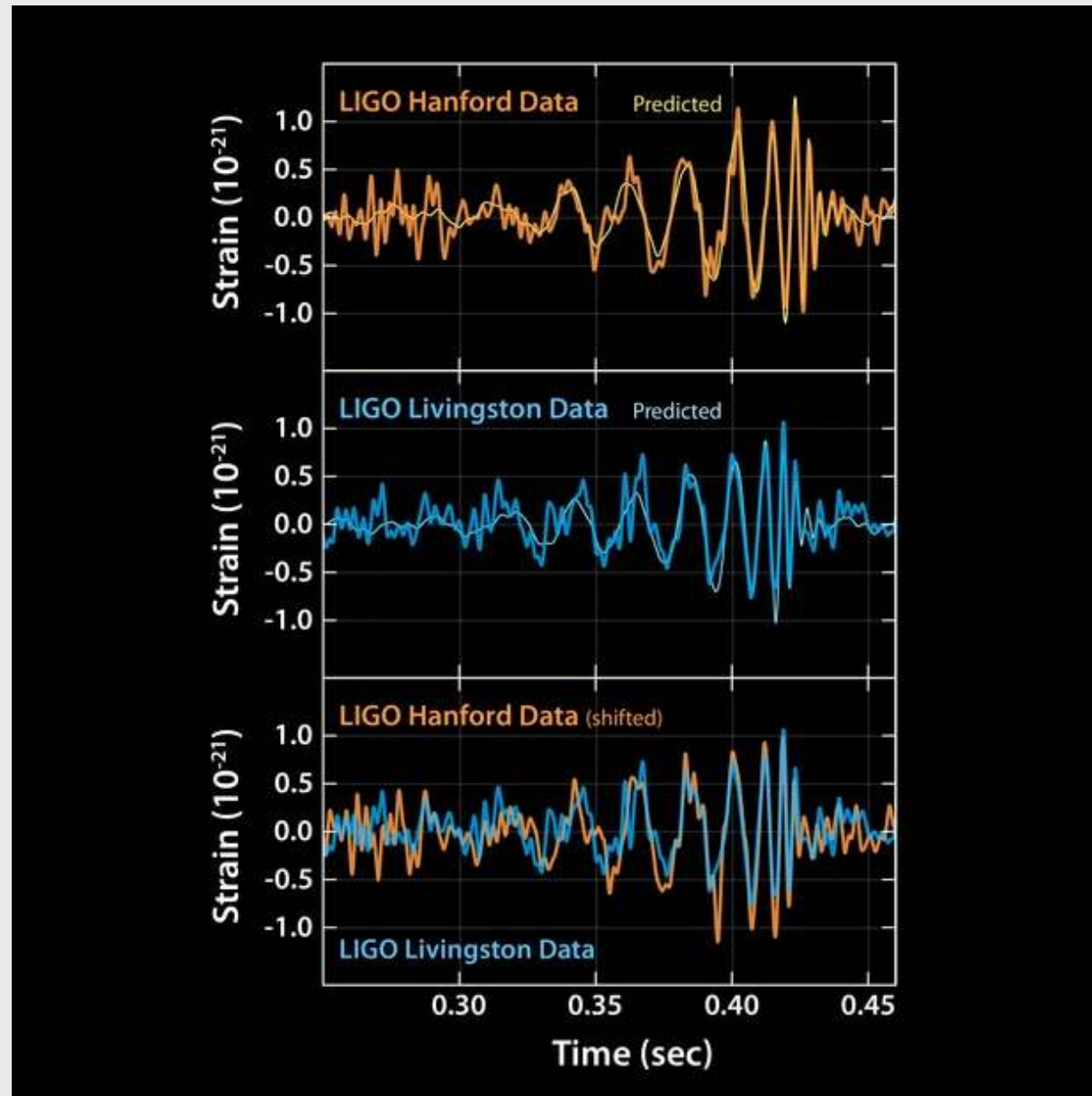
Το μήκος κάθε μπράτσου είναι 4 km. Οι επιπλέον καθρέφτες δημιουργούν διαδοχικές ανακλάσεις ώστε το ισοδύναμο μήκος να φθάνει τα 1.120 km.

Ανακύκλωση ενέργειας



- Με το κάτοπτρο η δέσμη ανακλάται και επιστρέφει στο συμβολόμετρο. Ξεκινώντας από 200 W αρχική ισχύ, παράγεται πυκνότητα ενέργειας ισοδύναμη με 750 kW.

Συγχώνευση δύο οπών

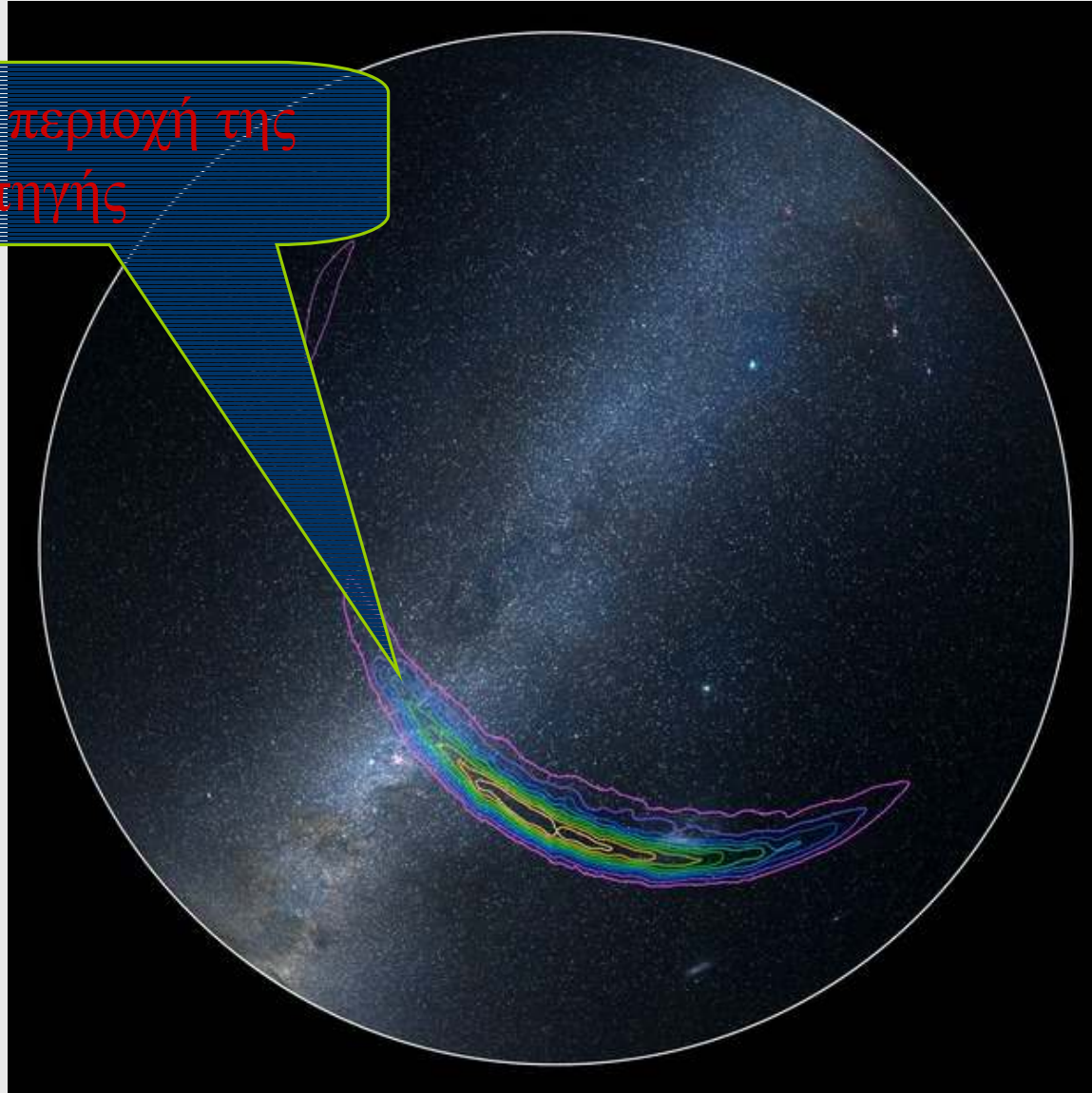


Πρώτη ανίχνευση

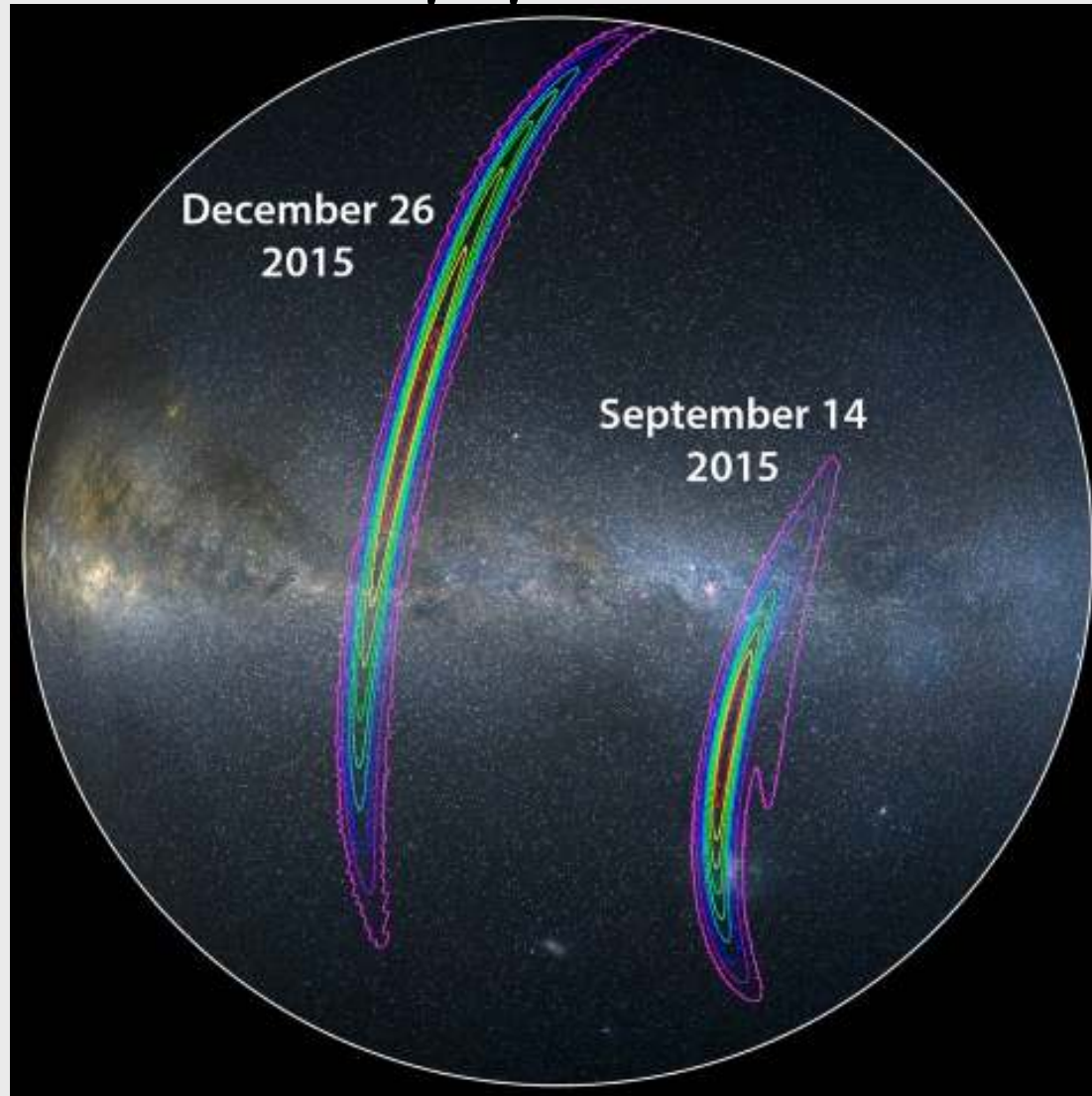
- Με βάση τα παρατηρούμενα σήματα, οι επιστήμονες του LIGO εκτιμούν ότι οι μαύρες τρύπες για το γεγονός αυτό, ήταν περίπου 29 και 36 φορές τη μάζα του ήλιου, και το γεγονός πραγματοποιήθηκε 1.300 εκατομμύρια χρόνια πριν. Περίπου 3 φορές η μάζα του ήλιου, μετατράπηκε σε κύματα βαρύτητας, σε ένα κλάσμα του δευτερολέπτου, με μέγιστη ισχύ εξόδου περίπου 50 φορές μεγαλύτερη της ολικής ορατής ισχύος του σύμπαντος. Ο ανιχνευτής στο Livingston κατέγραψε το συμβάν 7 χιλιοστά του δευτερολέπτου πριν από τον ανιχνευτή στο Χάνφορντ. Από το χρόνο άφιξης των σημάτων, οι επιστήμονες συμπεραίνουν ότι η πηγή βρισκόταν στο νότιο ημισφαίριο. (Κοντά στο κέντρο του Γαλαξία)

Θέση Πηγής

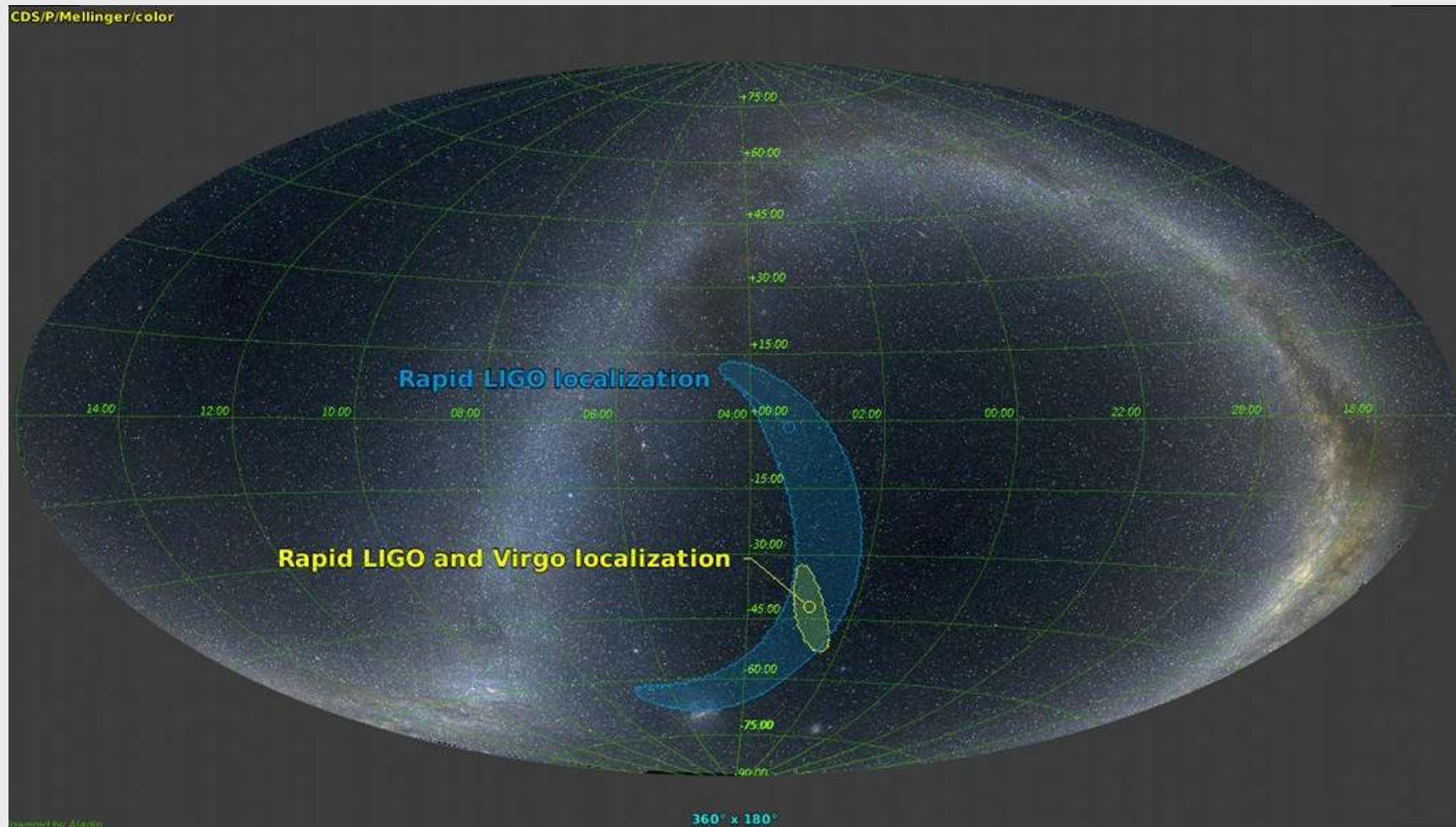
Πιθανή περιοχή της
πηγής



Η περιοχή του γαλαξία που προήλθαν τα
δύο γεγονότα.



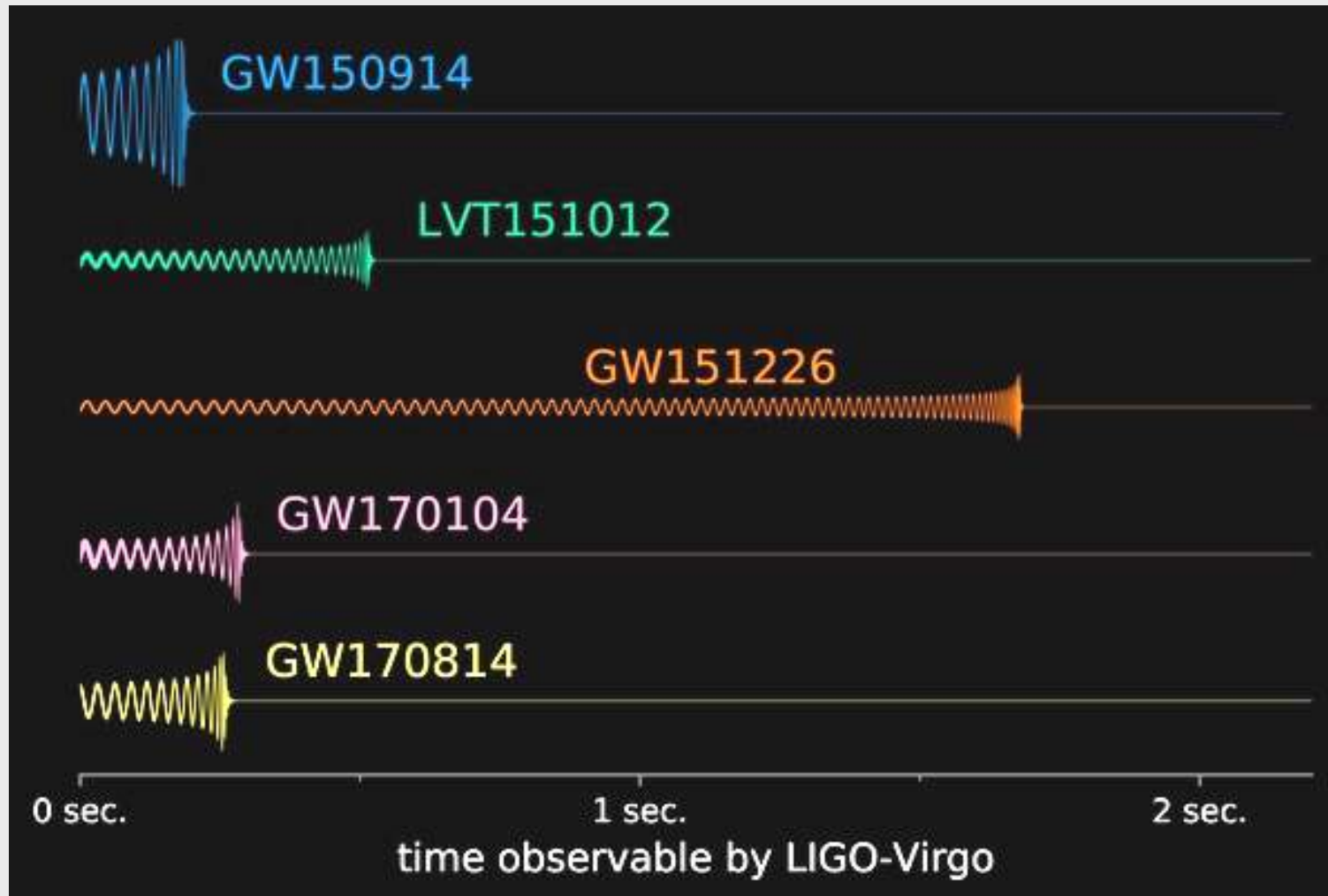
Ανίχνευση με τον ανιχνευτή VIRGO. Το 4^ο γεγονός.



Ανιχνευτής VIRGO



Διάρκεια και πλάτος των σημάτων



Η πρώτη έμμεση ανακάλυψη κυμάτων βαρύτητας.

Αν και τα κύματα βαρύτητας έχουν προβλεφθεί το 1916 από τον Αϊνστάιν, η πραγματική απόδειξη της ύπαρξής τους θα γίνει το 1974, 20 χρόνια μετά το θάνατο του Αϊνστάιν. Εκείνο το έτος, δύο αστρονόμοι που εργάζονται στο Αστεροσκοπείο Arecibo Radio στο Πουέρτο Ρίκο, ανακάλυψαν ένα δυαδικό πάλσαρ –(δύο εξαιρετικά πυκνά και βαριά αστέρια σε τροχιά γύρω από το άλλο). Αυτό ήταν ακριβώς το είδος του συστήματος, που σύμφωνα με τη γενική σχετικότητα, θα πρέπει να εκπέμπει κύματα βαρύτητας. Γνωρίζοντας ότι αυτή η ανακάλυψη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή της τολμηρής πρόβλεψης του Αϊνστάιν, οι αστρονόμοι άρχισαν να μετρούν πόσο η περίοδος των τροχιών των άστρων έχει αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Μετά από οκτώ χρόνια παρατηρήσεων, διαπίστωσαν ότι τα αστέρια πλησίαζαν το ένα στο άλλο, ακριβώς στο ποσοστό που προβλέπεται από τη Γενική Σχετικότητα. Αυτό το σύστημα παρακολουθείται για πάνω από 40 χρόνια και οι παρατηρούμενες μεταβολές στην τροχιά, συμφωνούν τόσο καλά με τη Γενική Σχετικότητα, ώστε δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι εκπέμπει κύματα βαρύτητας.

Ανακάλυψη του PSR1913+16

- Το 1974 από τους Joseph Taylor and Russell Hulse, που χρησιμοποιούσαν το ραδιο-τηλεσκόπιο του Arecibo.

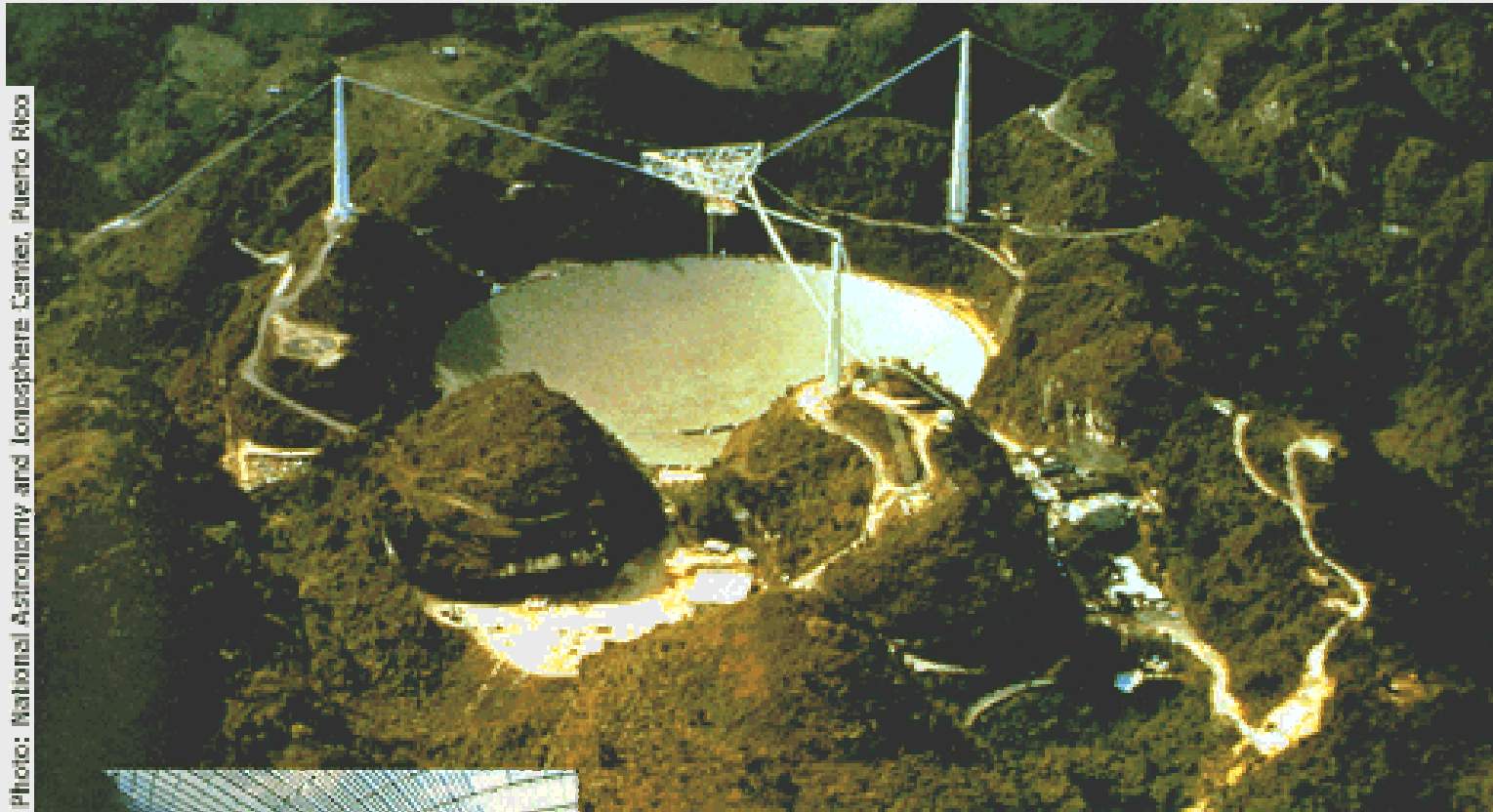
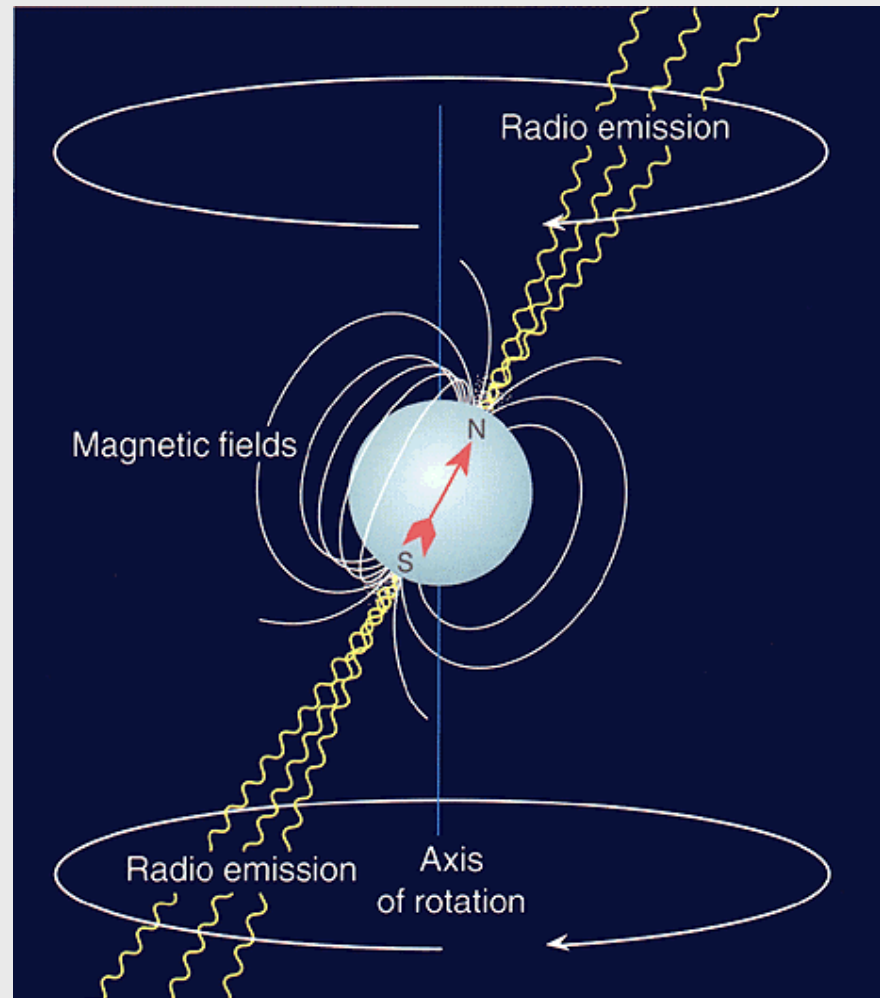
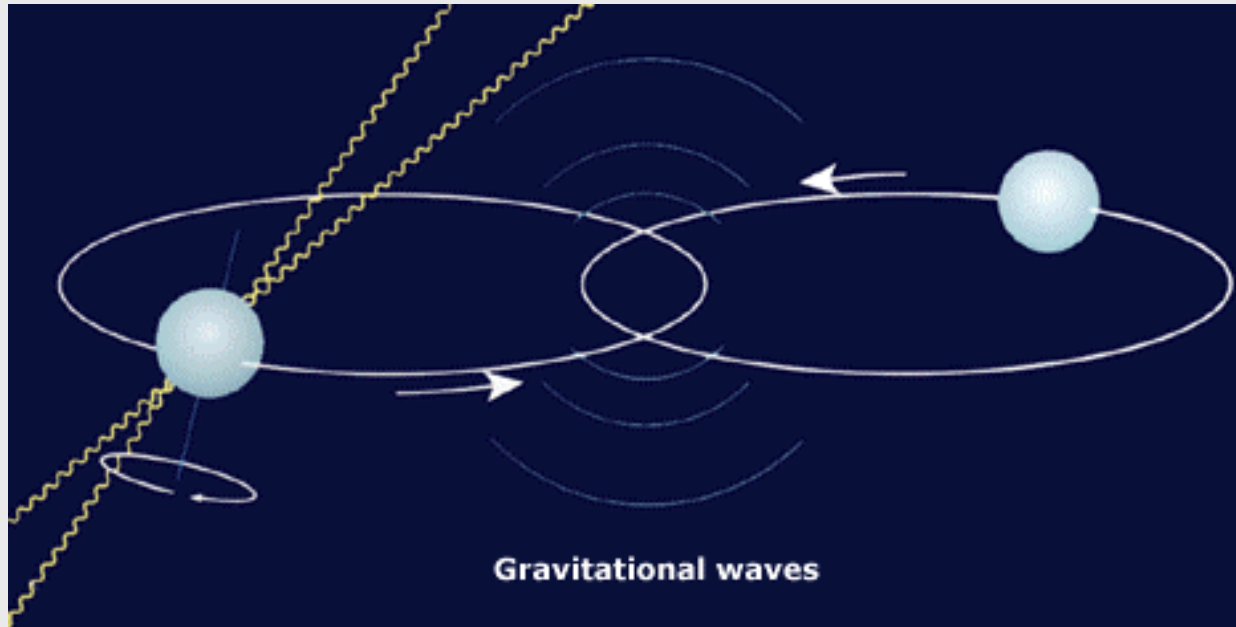


Photo: National Astronomy and Ionosphere Center, Puerto Rico

Τι είναι το Πάλσαρ



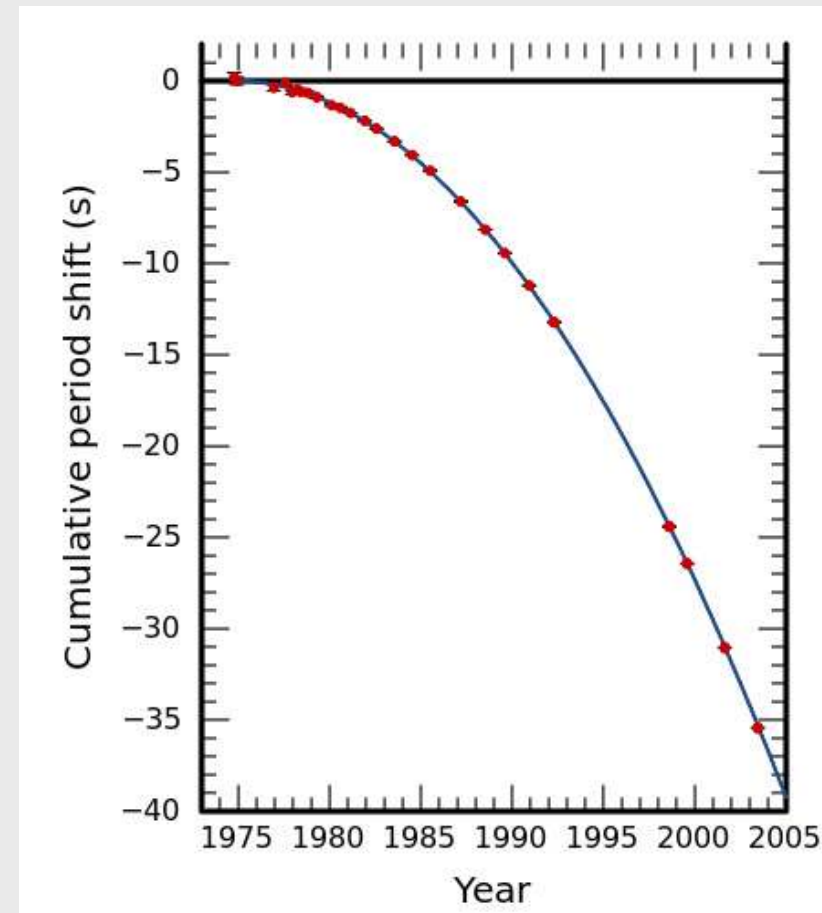
Δυαδικό πάλσαρ PSR1913+16



- Σχηματική εικόνα του δυαδικού πάλσαρ PSR1913 + 16. Δύο αστέρια νετρονίων περιστρέφονται ο ένας γύρω από τον άλλο σε ελλειπτικές τροχιές. Η μέση απόσταση τους, είναι μόνο μερικές φορές μεγαλύτερη από εκείνη της Γης και της Σελήνης. Η περιστροφή διαρκεί μόνο περίπου οκτώ ώρες. Όταν τα αστέρια περνούν κοντά το ένα στο άλλο, εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες βαρυτικής ακτινοβολίας. Οι μελέτες των αλλαγών στην τροχιακή κίνηση έχουν δείξει ότι αυτό πράγματι συμβαίνει.

Μεταβολή του περιόδου

Τροχιακή μείωση του PSR B1913 + 16. Τα σημεία δεδομένων υποδεικνύουν την παρατηρούμενη μεταβολή στον χρόνο του περιόδου σαν συνάρτηση του χρόνου, ενώ η παραβολή απεικονίζει την θεωρητικά αναμενόμενη μεταβολή στον χρόνο σύμφωνα με τη γενική σχετικότητα.



Διαβάστε

- [Nobel Φυσικής 2017.](#)
- *Astroparticle Physics* D.Perkins ch. 9.19 p. 264
- [Βαρυτικά κύματα.](#)

Βαρυτική ακτινοβολία.

Ισχύς P που ακτινοβολείται από ένα σύστημα διπλού αστέρα.

Η γη, κατά την περιστροφή της γύρω απ' τον ήλιο, ακτινοβολεί περίπου 200 W !

$$P = \left(\frac{32}{5}\right) \omega^6 G \mu^2 \frac{D^4}{c^5}$$

ω είναι η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής, μ η ανηγμένη μάζα των δύο αστέρων, D η ακτίνα περιστροφής.