

# Εξερευνώντας το Σύμπαν με τα Βαρυτικά Κύματα

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥΛΑΣ

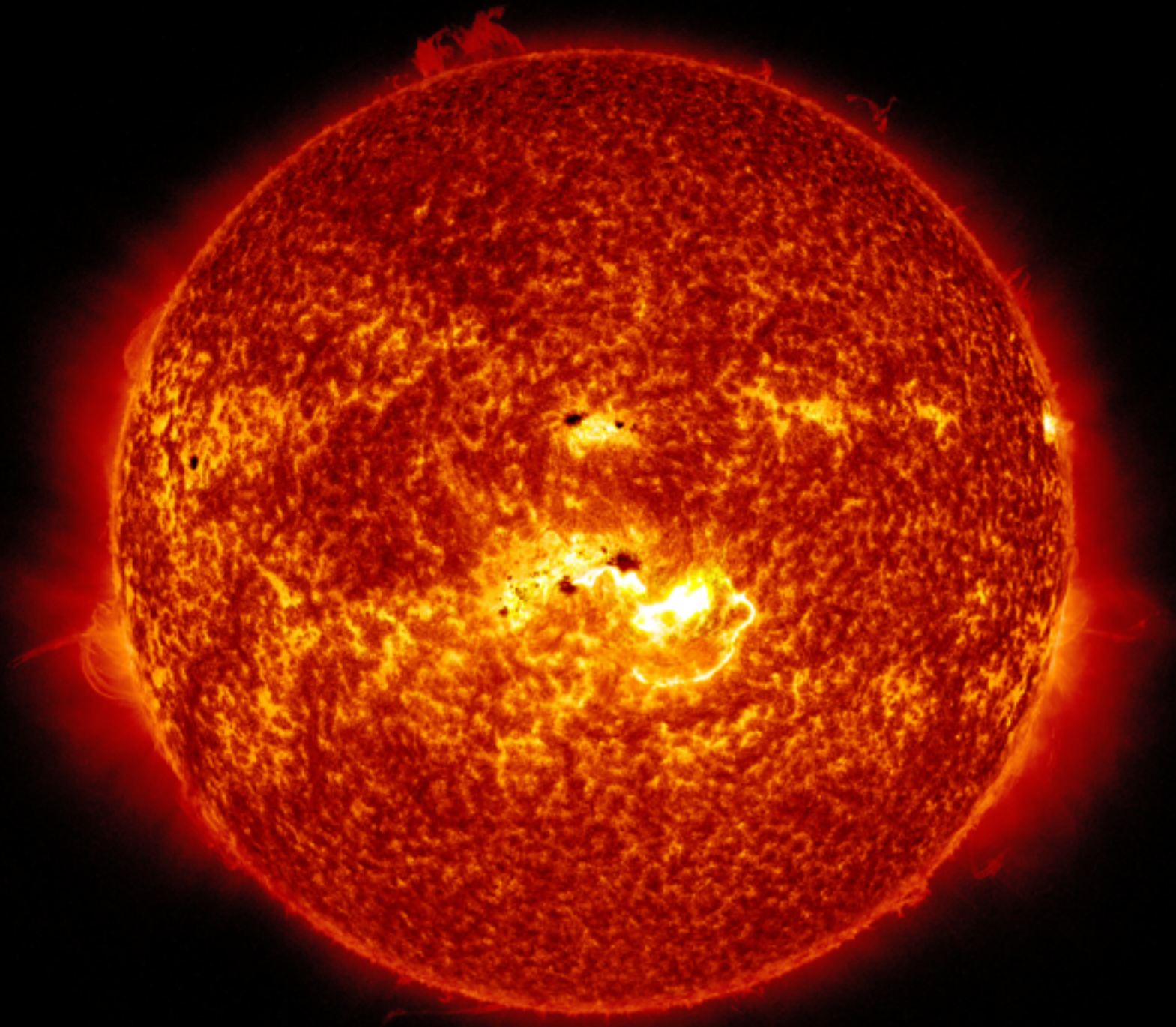
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ  
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



Θεσσαλονίκη, 19/4/2016

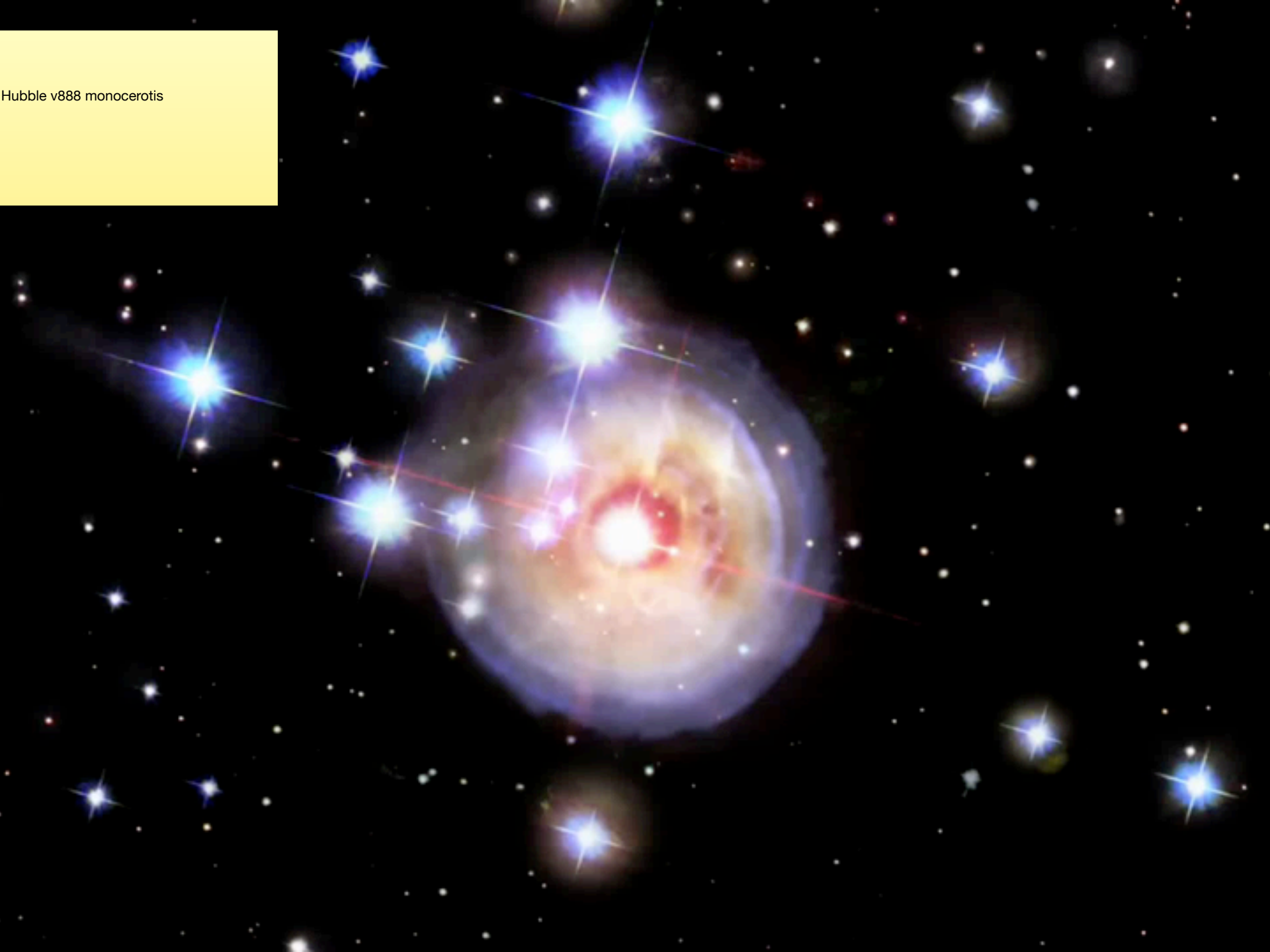




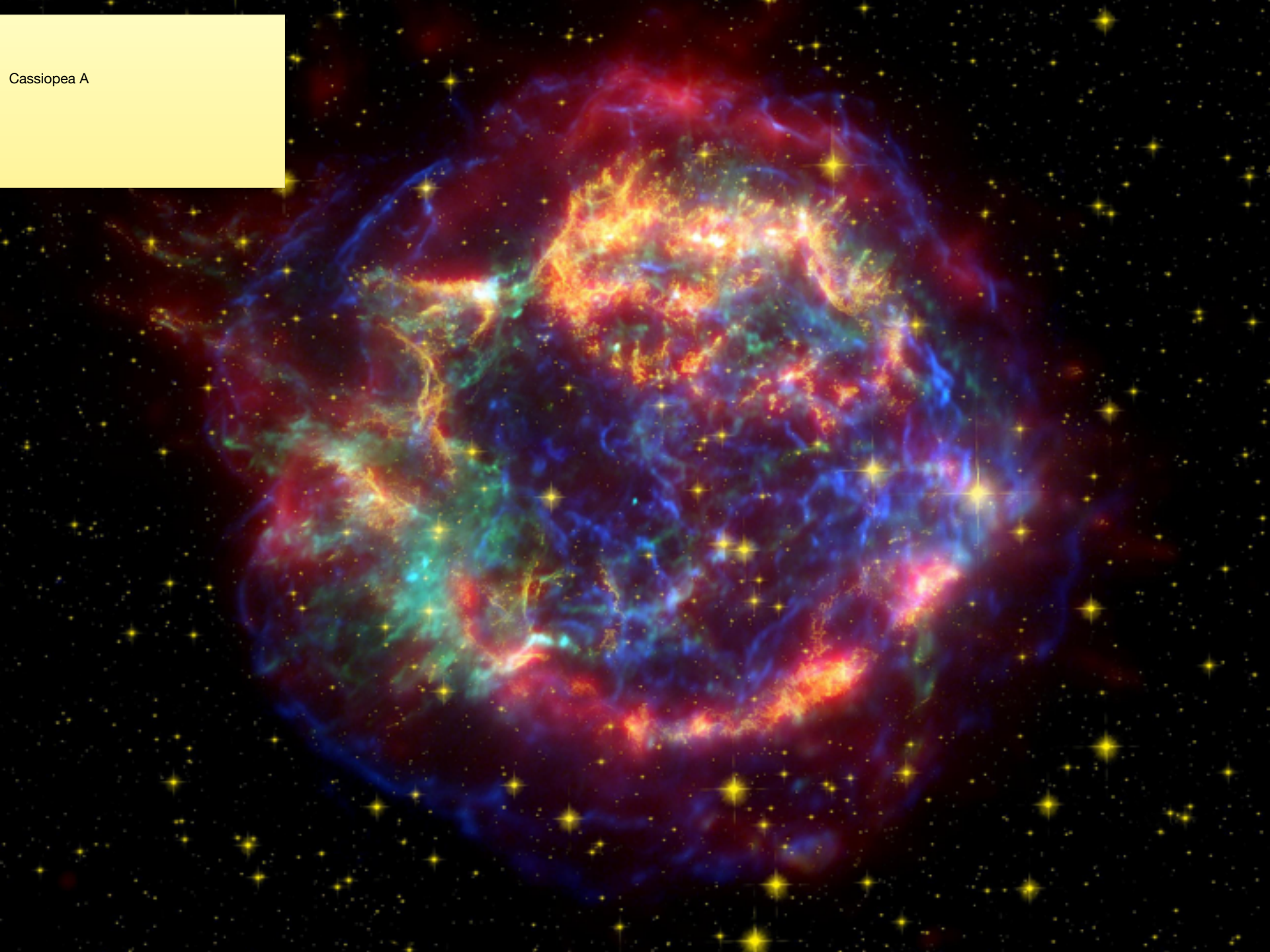




Hubble v888 monocerotis



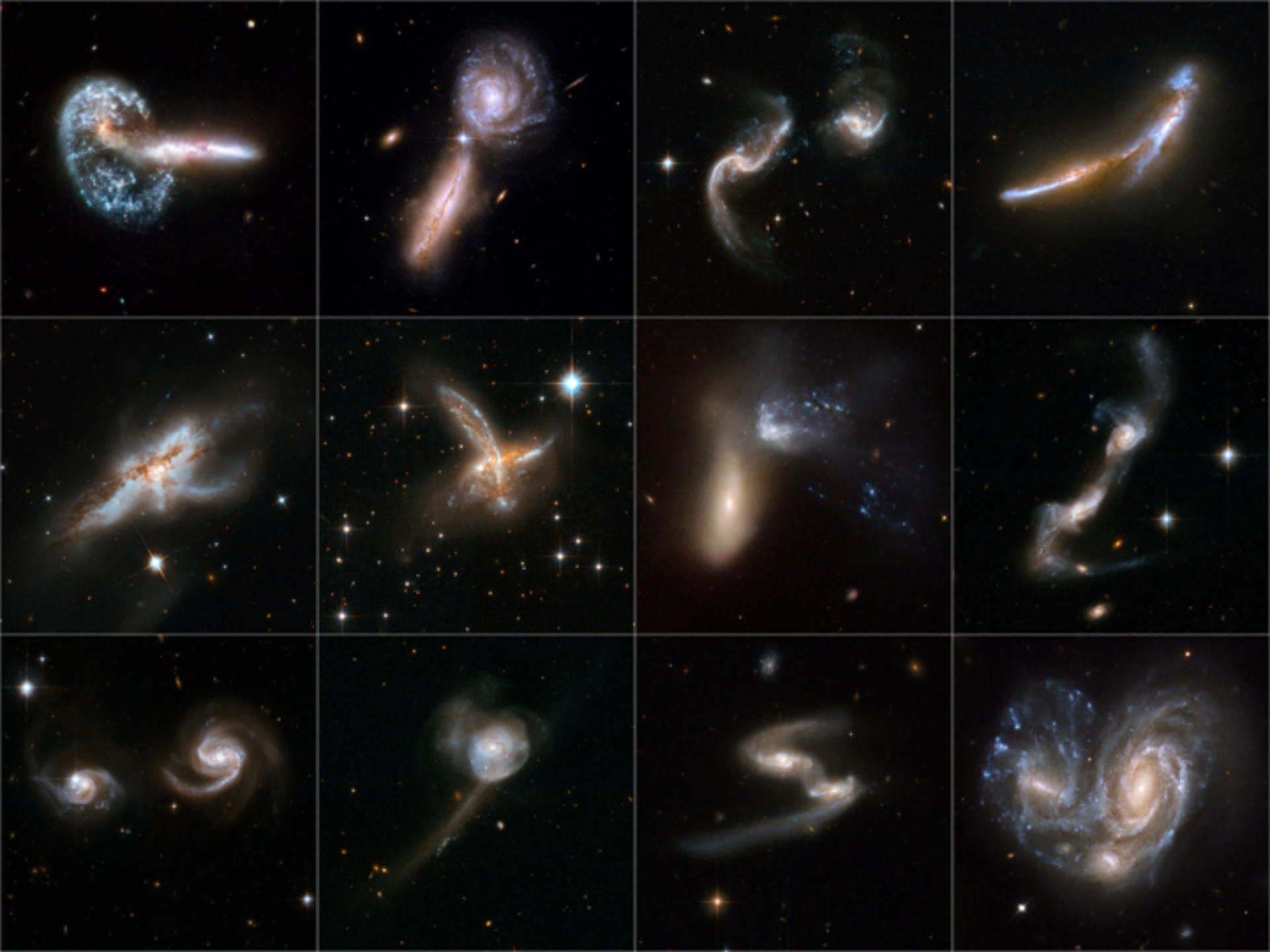
Cassiopeia A

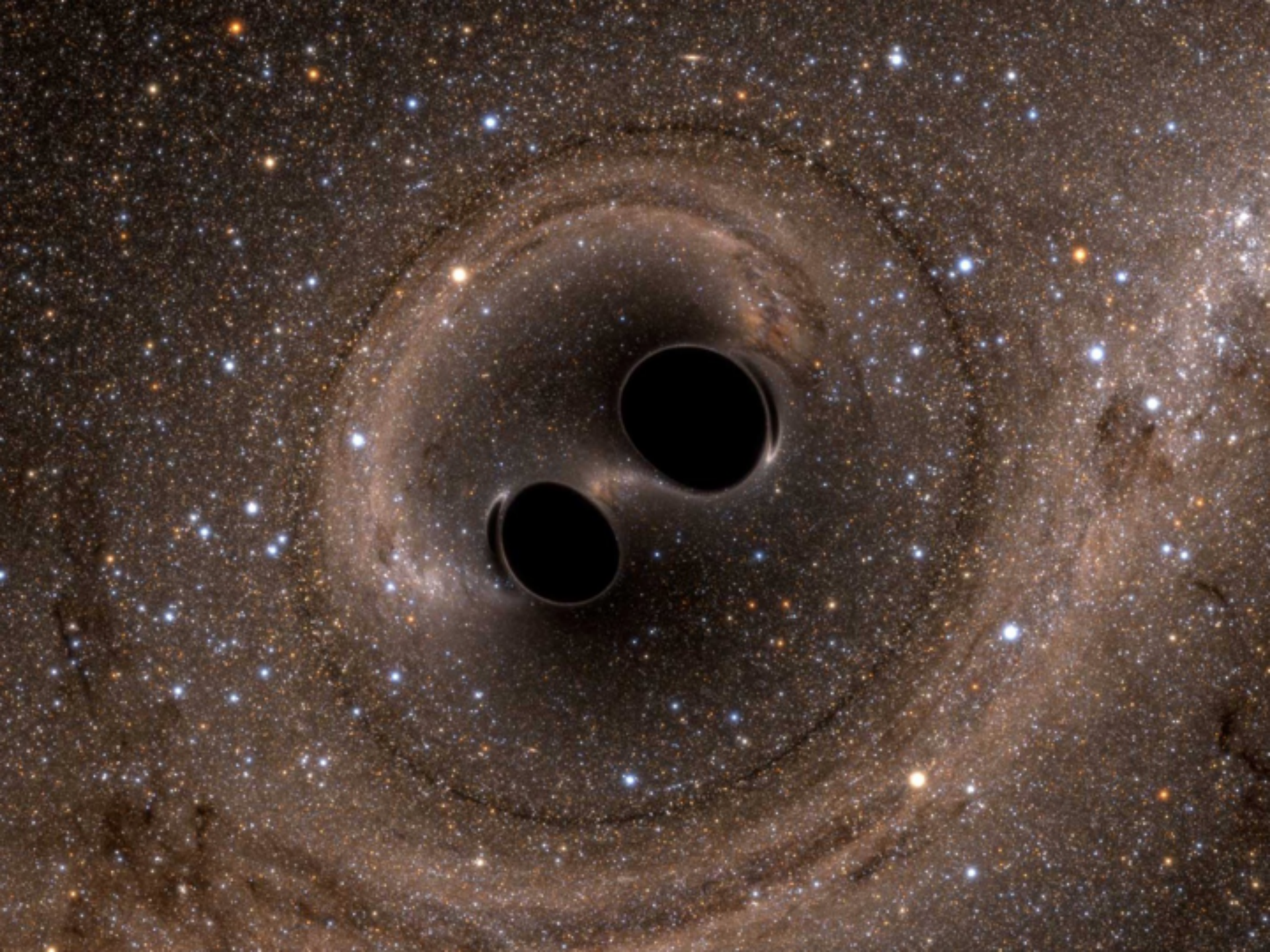


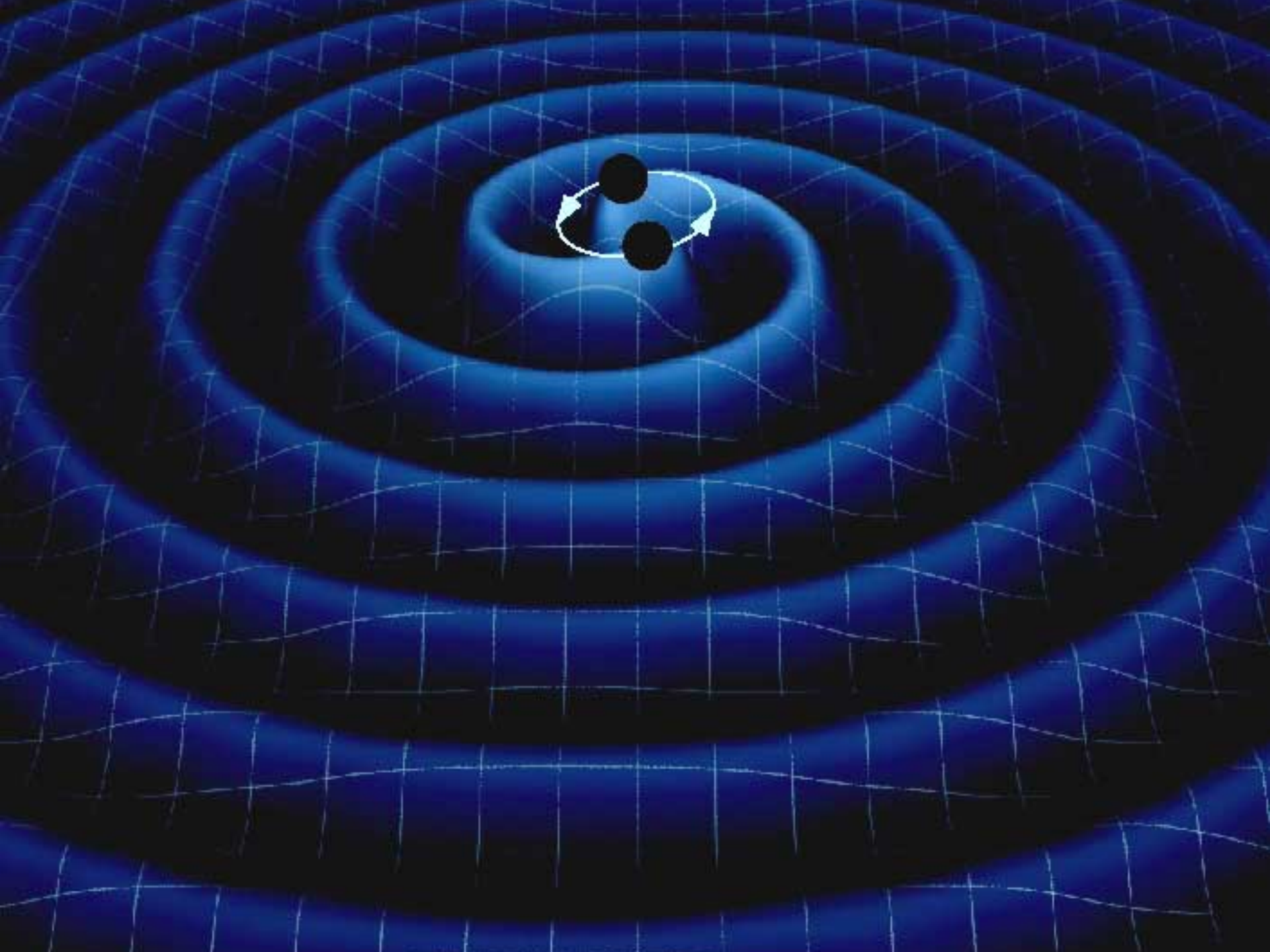












# Η Ειδική Θεωρία Σχετικότητας (ΕΘΣ)

1905: ο Einstein θεμελίωσε την ΕΘΣ με τα εξής δύο αξιώματα:



## 1. Δυναμικό αξίωμα (Αρχή της Ειδικής Σχετικότητας):

Όλοι οι νόμοι της φυσικής είναι ίδιοι για κάθε αδρανειακό παρατηρητή.

## 2. Κινηματικό αξίωμα:

Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή και ίση με  $299.792.458 \text{ m/s}$  για όλους τους παρατηρητές.

# Πειραματικός Έλεγχος της ΕΘΣ

Έλεγχος της διαστολής του χρόνου. Σε πρόσφατο πείραμα του NIST (Chou et al. 2010), χρησιμοποιώντας “ρολόγια” ακτίνων laser, επιβεβαιώθηκε ακόμη και σε ταχύτητες της τάξης των 40 *km/h*.

Έλεγχος της αύξησης της σχετικιστικής μάζας με την ταχύτητα. Χρησιμοποιώντας επιταχυντές σωματιδίων επιβεβαιώθηκε ότι η σχετικιστική μάζα αυξάνει και τείνει στο άπειρο όταν η ταχύτητα τείνει στην ταχύτητα του φωτός (Greene et al. 1991).

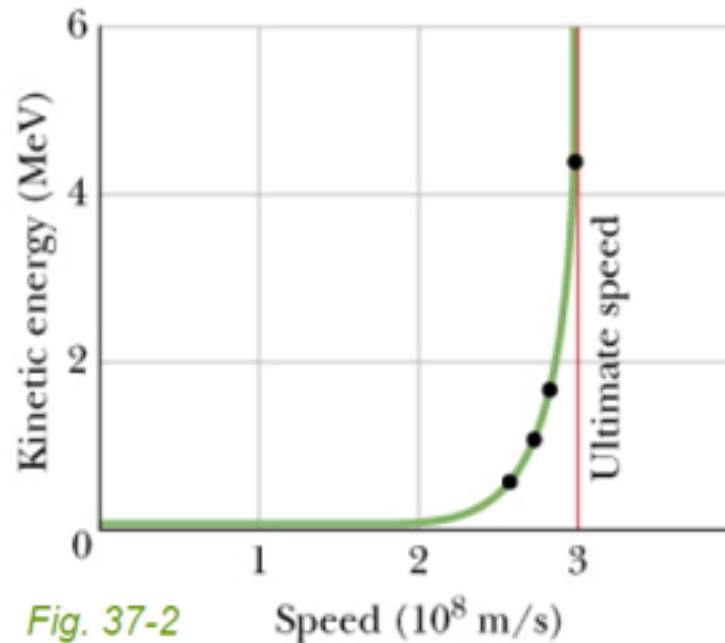


Fig. 37-2

Speed ( $10^8$  m/s)

(Bertozzi 1964)

# Η Αρχή της Ισοδυναμίας

6<sup>ος</sup> αιώνας: Ο Ιωάννης Φιλόπονος περιγράφει ότι

«αν αφήσει κανείς ταυτόχρονα δυο σώματα με διαφορετικές μάζες να πέσουν από το ίδιο ύψος, θα φτάσουν στο έδαφος στον ίδιο χρόνο»

17<sup>ος</sup> αιώνας: Γαλιλαίος: πειραματική επαλήθευση

Το πείραμα αυτό είναι **ισοδύναμο** με την υπόθεση ότι η **μάζα αδράνειας**  $m_\alpha$  είναι ίση με τη βαρυτική **μάζα**  $m_\beta$ .

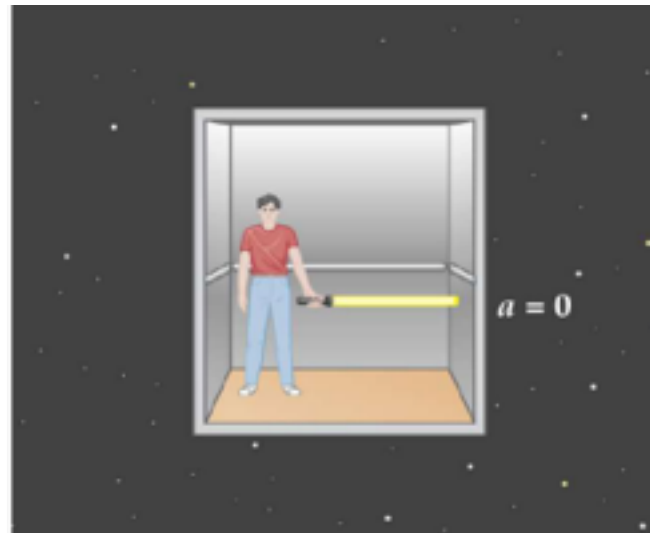
$$F = m_\alpha a = G \frac{m_\beta M}{r^2}$$

$$\Rightarrow a = \left( \frac{m_\beta}{m_\alpha} \right) \frac{G M}{r^2}$$

Αν  $m_\alpha = m_\beta$  τότε η επιτάχυνση είναι ανεξάρτητη της μάζας.

# Η Αρχή της Ισοδυναμίας

1907: Ο **Einstein** αποδεικνύει με βάση την αρχή της ισοδυναμίας ότι η τροχιά των φωτονίων καμπυλώνεται από το βαρυτικό πεδίο.





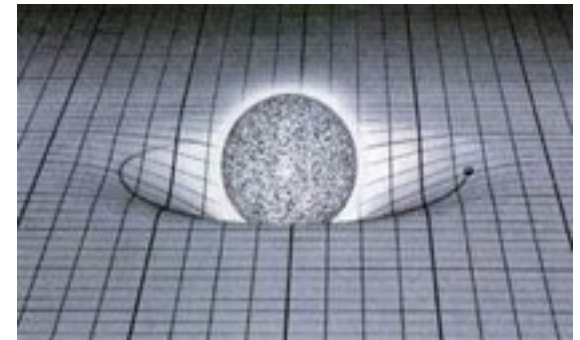
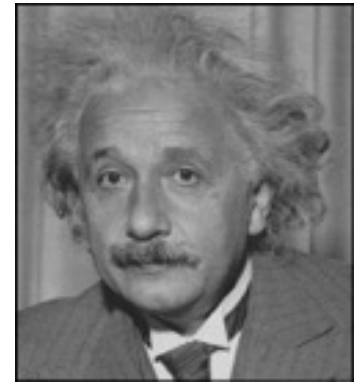
# Γενική Θεωρία Σχετικότητας

1915: Ο Einstein περιγράφει τη βαρύτητα ως μια **καμπύλωση** του 4-διάστατου **χωροχρόνου**.

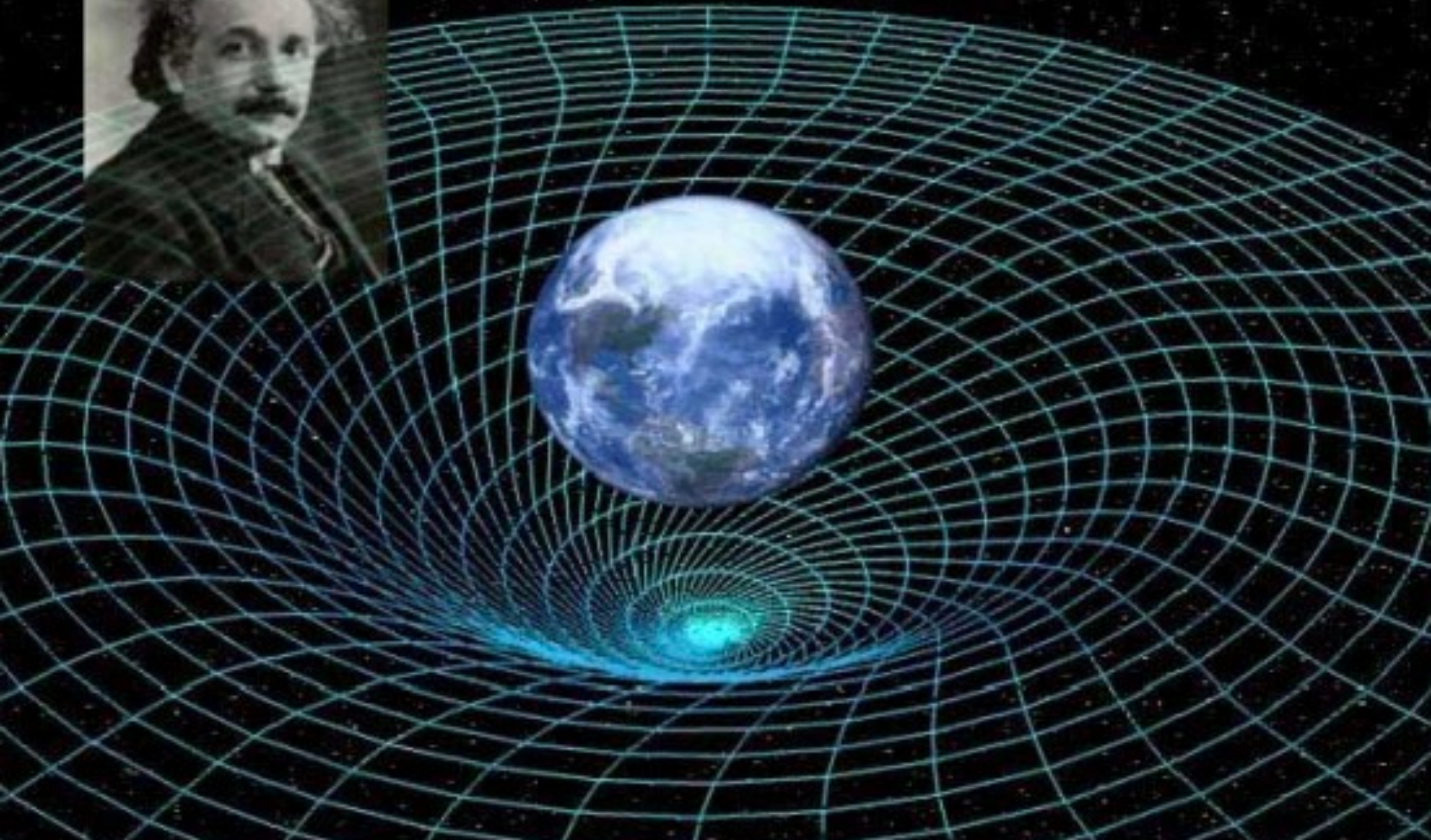
Οι φυσικές αποστάσεις μετρώνται με τη βοήθεια ενός **μετρικού τανυστή**.

$$G_{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\alpha\beta}$$

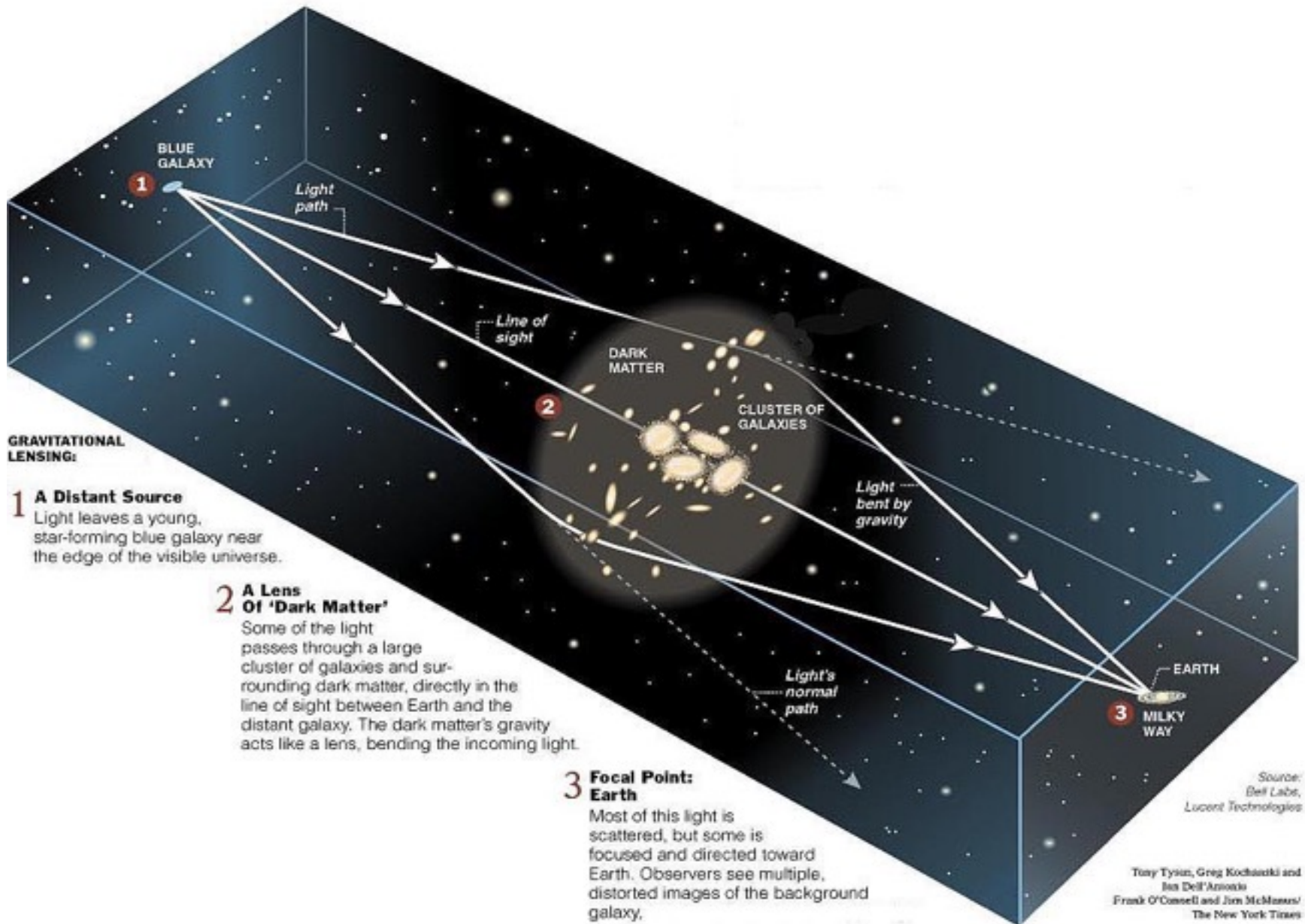
Στη Γενική Θεωρία Σχετικότητας η **τροχιά του φωτός καμπυλώνεται** όταν περνά κοντά από μεγάλες μάζες.



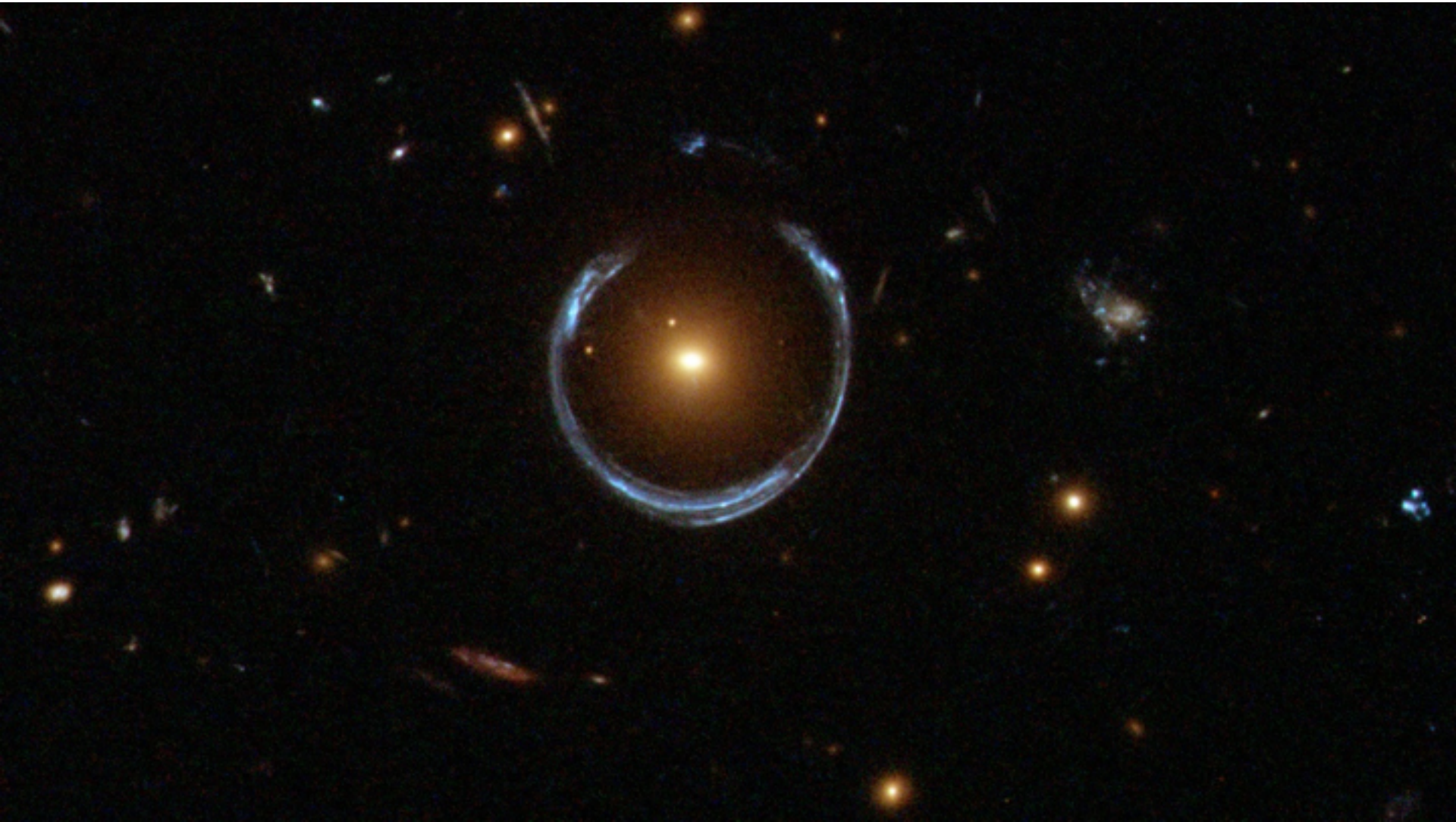
# Καμπύλωση του Χωροχρόνου



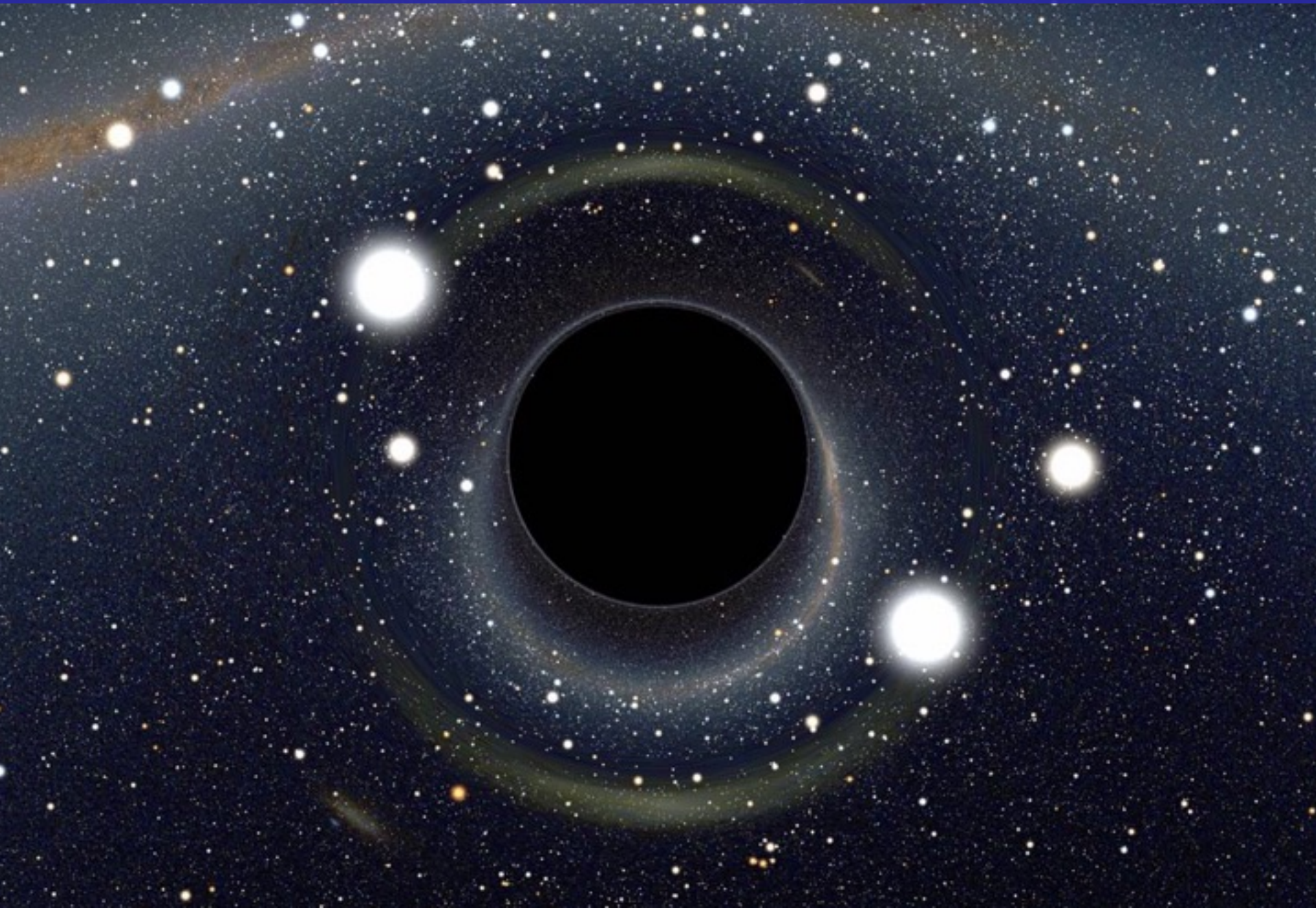
# Βαρυτικοί Φακοί



# «Δακτύλιος του Einstein»

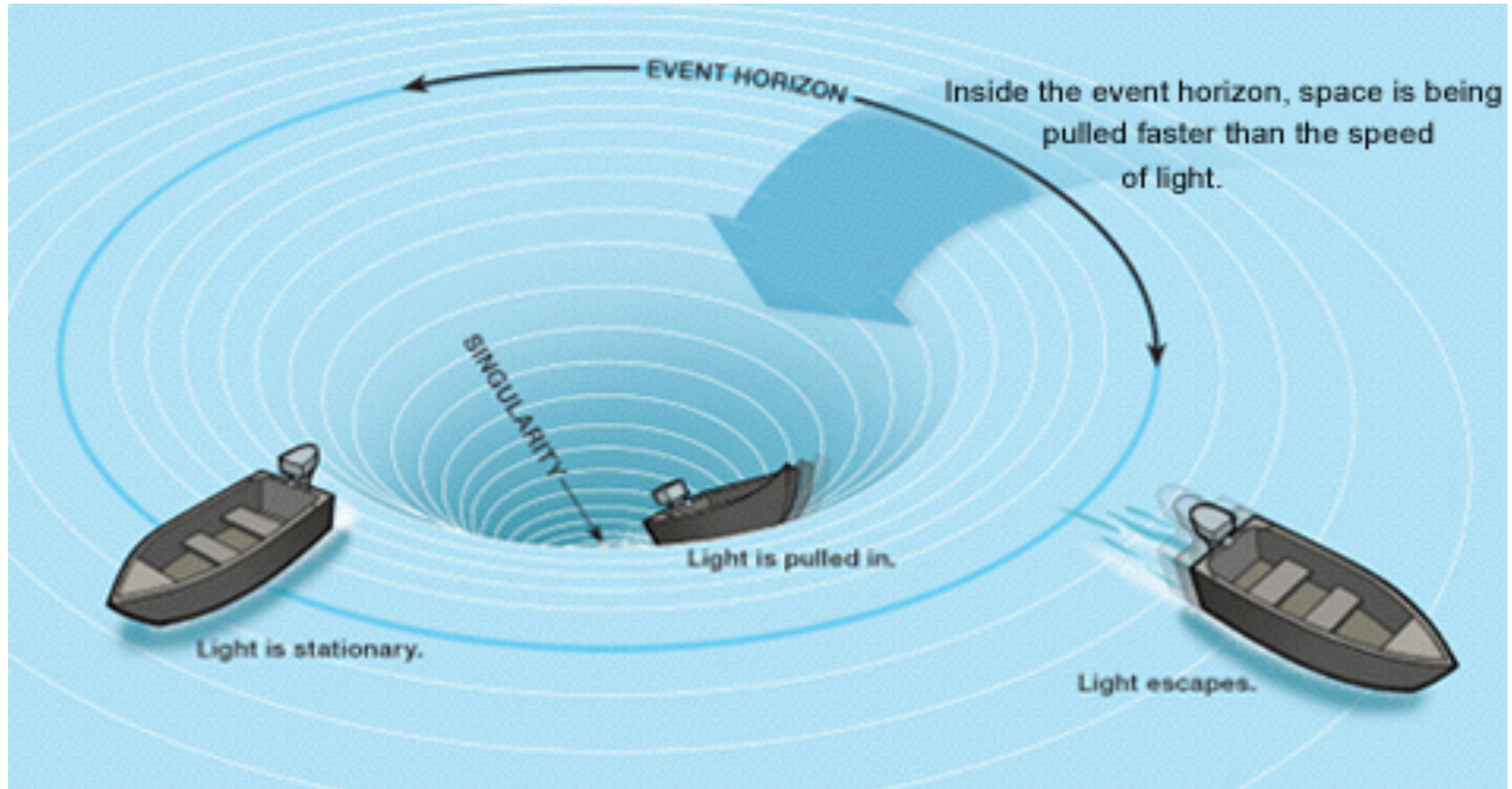


# Μια Μαύρη Τρύπα ως Βαρυτικός Φακός



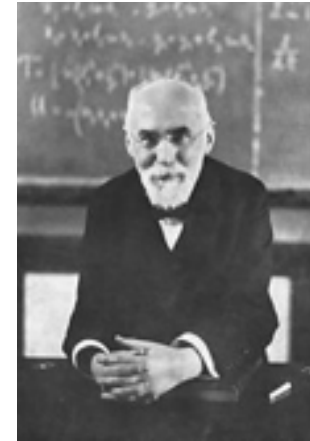
# Ορίζοντας Γεγονότων μιας Μελανής Οπής

Καμιά πληροφορία δεν μπορεί να **εξέλθει** από την ακτίνα Schwarzschild, κι έτσι αυτή αποτελεί έναν **ορίζοντα γεγονότων**.



# Πως διαδίδεται η βαρύτητα;

*1900:* ο **Lorentz** προτείνει ότι η δύναμη της βαρύτητας **δε μεταδίδεται ακαριαία** (όπως προβλέπει η Νευτώνεια θεωρία) αλλά με την **ταχύτητα του φωτός**.

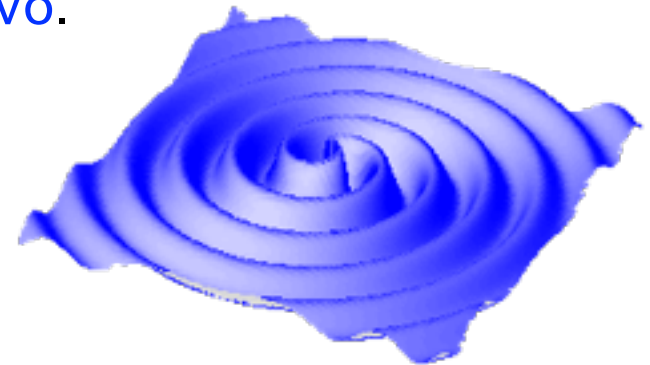


*1905:* ο **Poincaré** προτείνει την ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων.



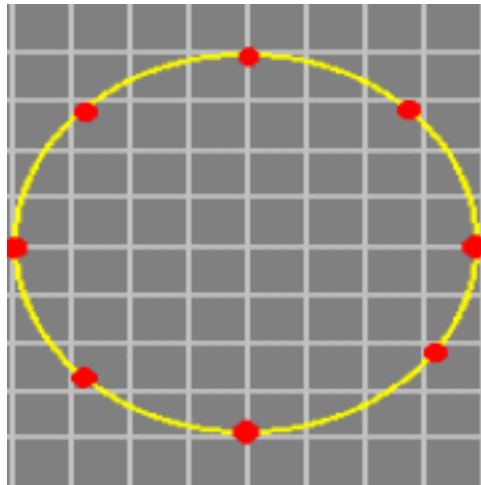
*1915:* Οι εξισώσεις του **Einstein** πράγματι περιγράφουν τη διάδοση της βαρύτητας ως **κύμα**, με **ταχύτητα ίση με αυτή του φωτός στο κενό**.

$$-\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla^2 \Phi = 4\pi G\rho$$

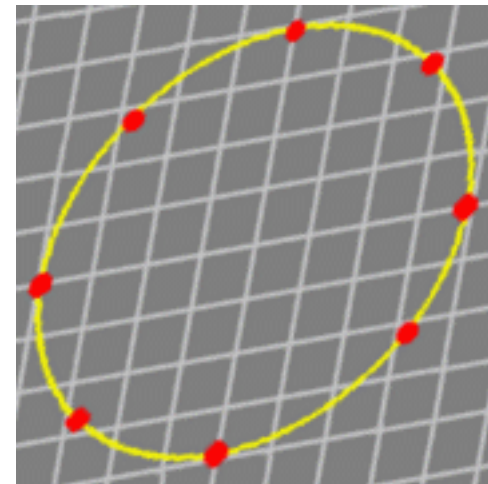


# Πόλωση Βαρυτικών Κυμάτων

Τα βαρυτικά κύματα είναι *εγκάρσια* και έχουν δύο ειδών *πολώσεις*:



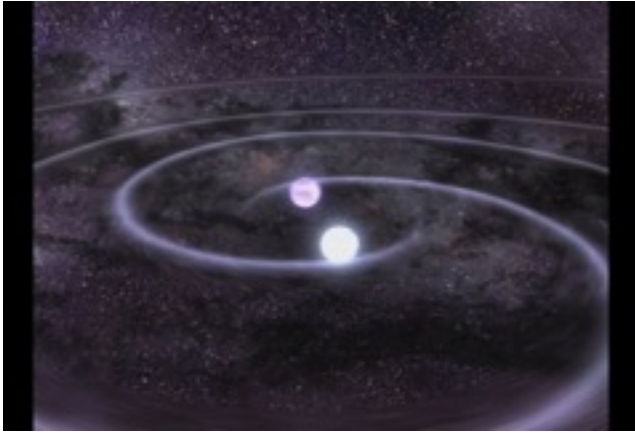
Πόλωση +



Πόλωση x



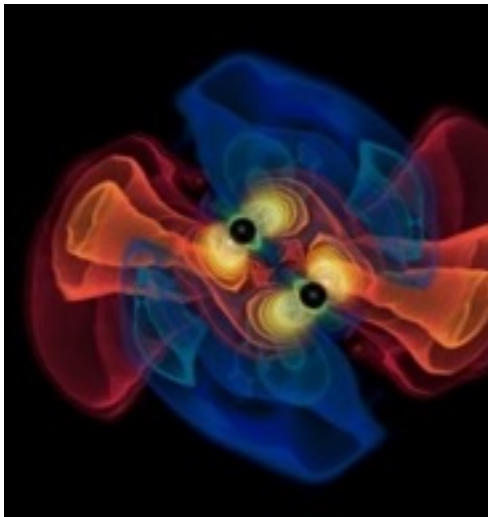
# Κύριες Πηγές Βαρυτικών Κυμάτων



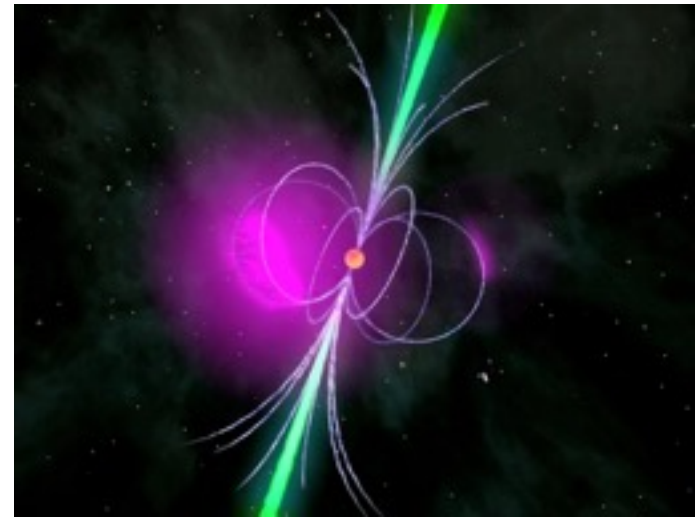
Συγχώνευση Αστέρων Νετρονίων



Κατάρρευση Αστέρων

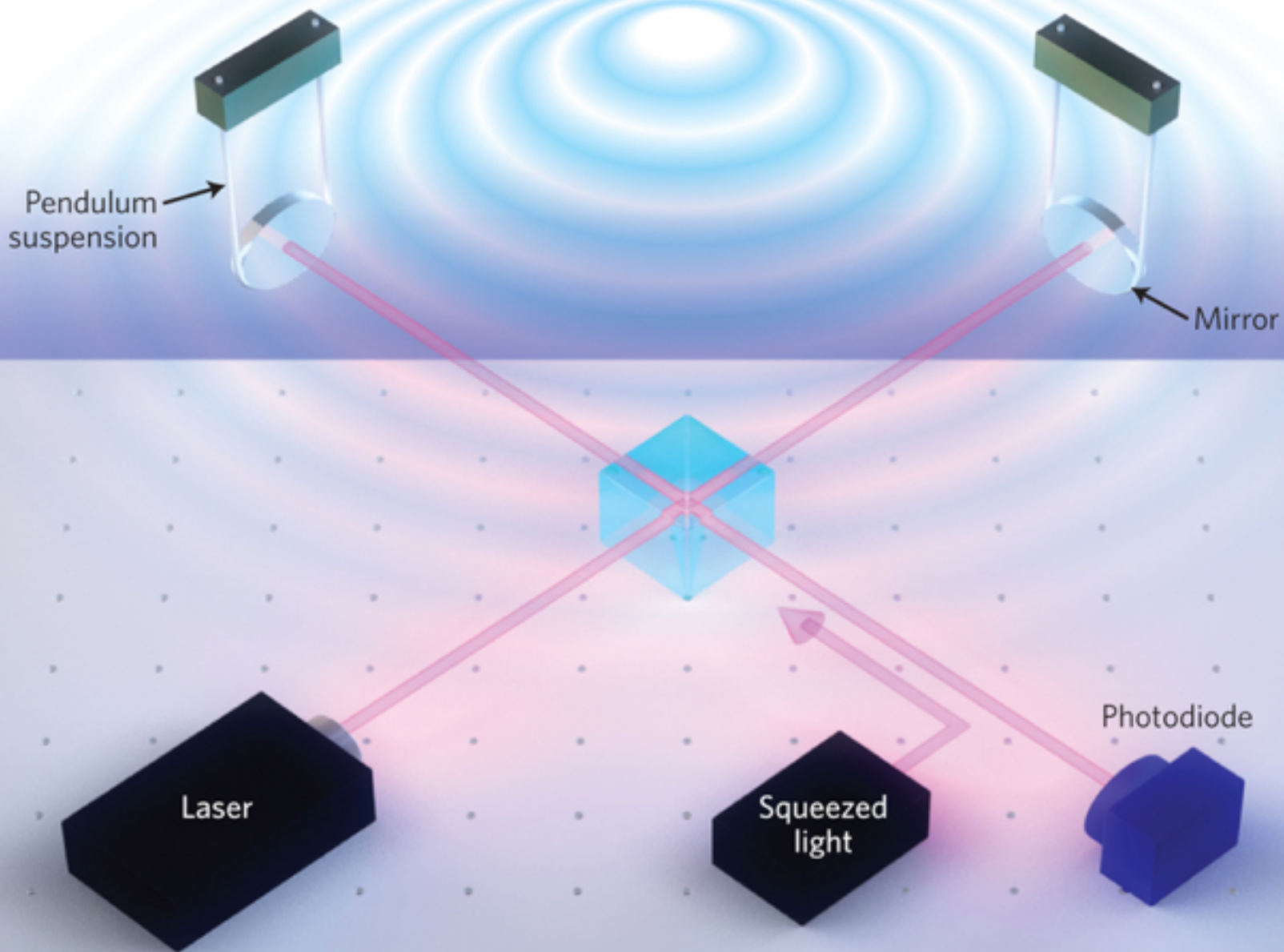


Συγχώνευση Μελανών Οπών

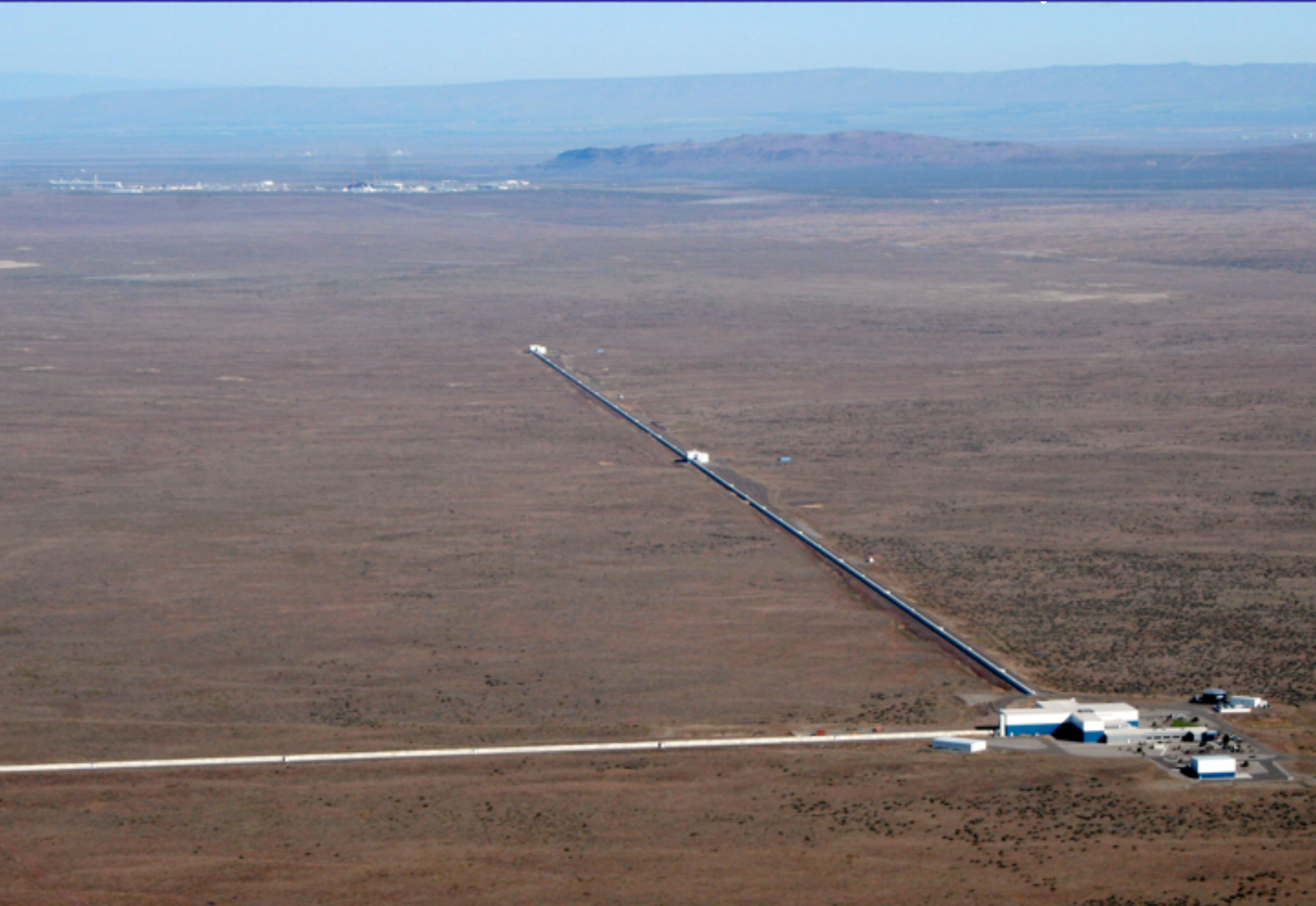


Περιστρεφόμενοι Αστέρες Νετρονίων

# Gravitational waves



# Ανιχνευτής Advanced LIGO (ΗΠΑ)





# Ανιχνευτής Advanced VIRGO (Πίζα, Ιταλία)



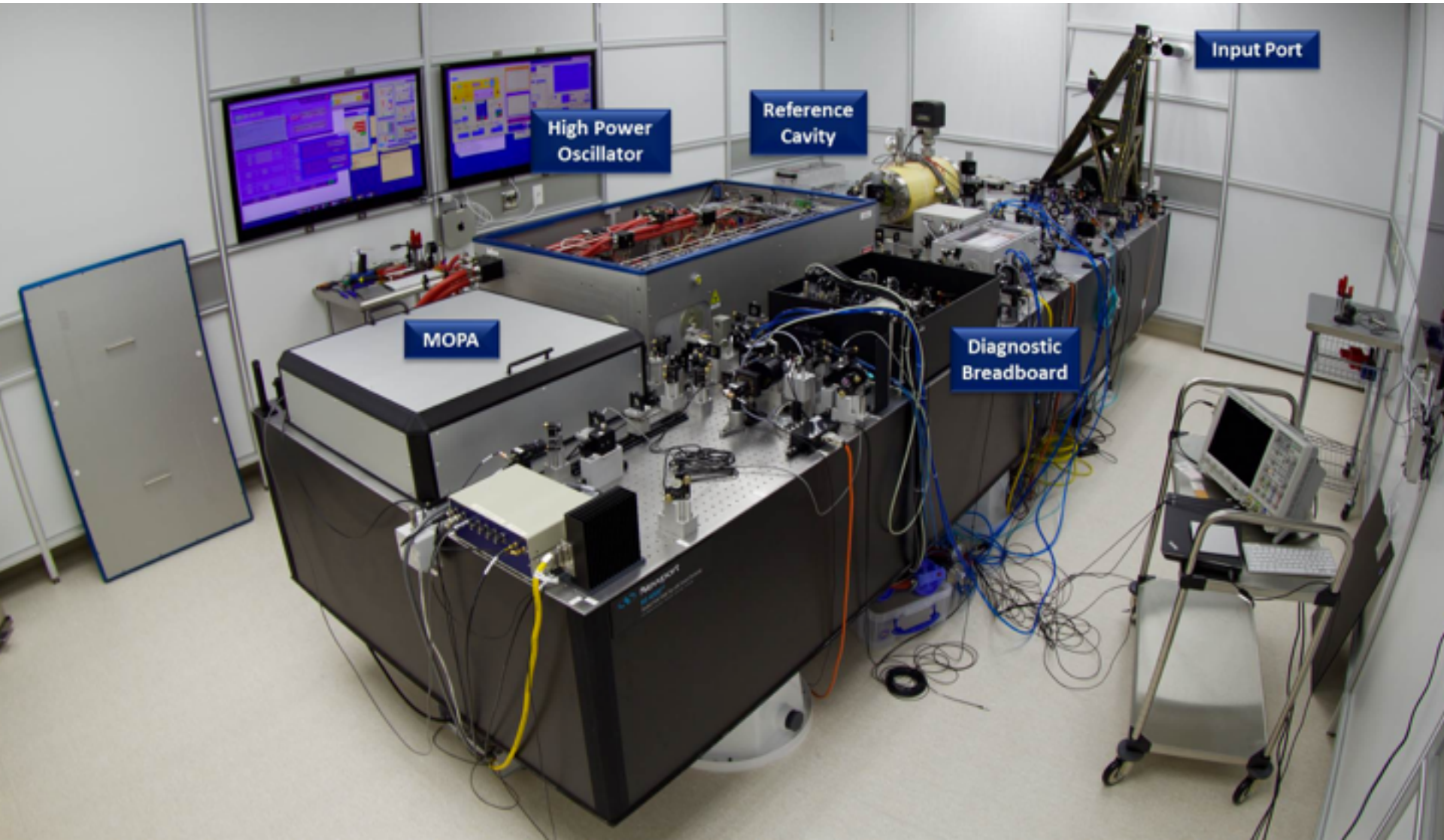
# Ολοκλήρωση Αναβάθμισης του Ανιχνευτή VIRGO



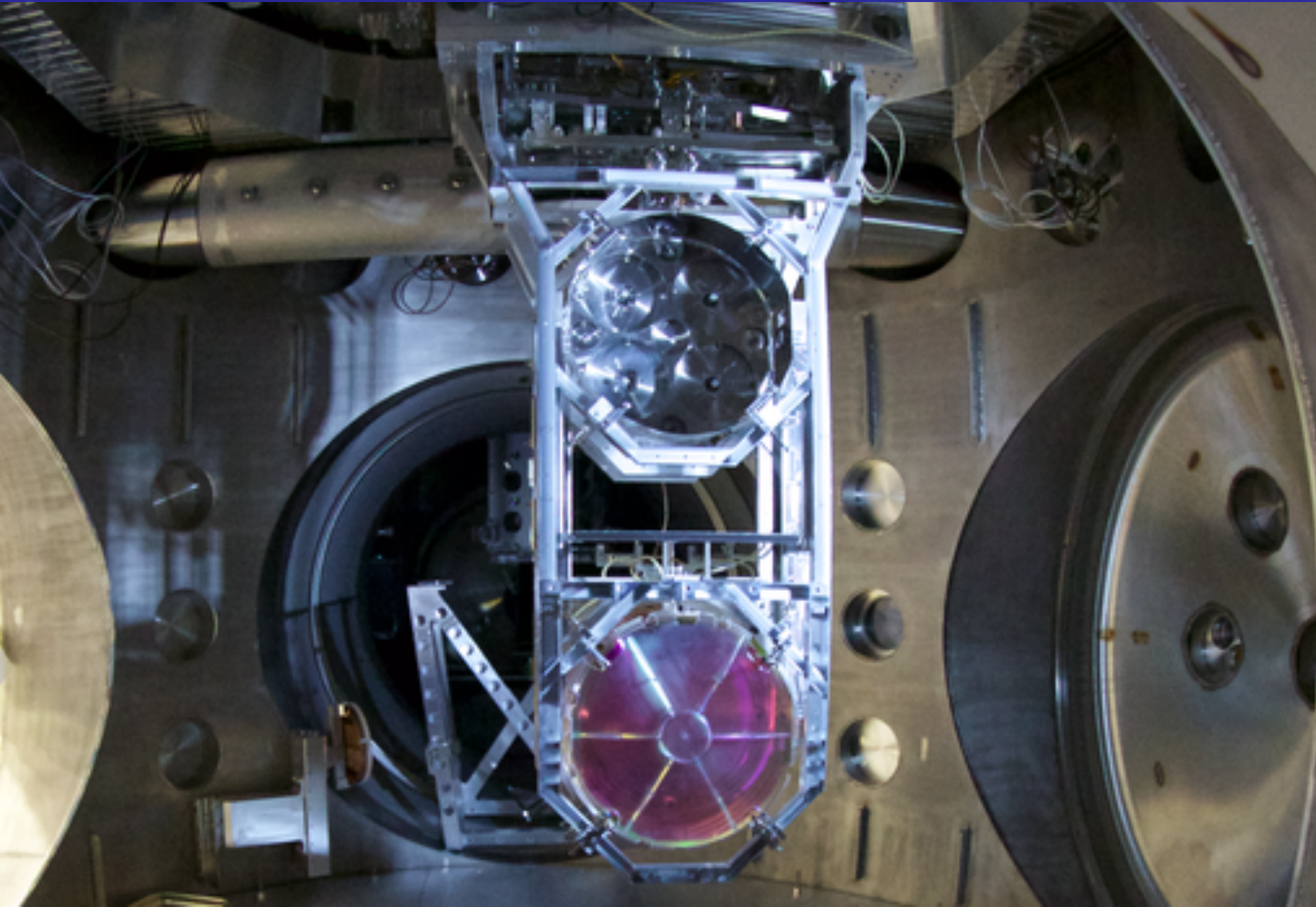
Συμμετοχή στο Επιστημονικό  
Συμβούλιο  
Virgo-Ego Scientific Forum (VESF)

# Πηγή Laser

**Nd:YAG** (neodymium-doped yttrium aluminium garnet,  $\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ) στο **υπέρυθρο**.

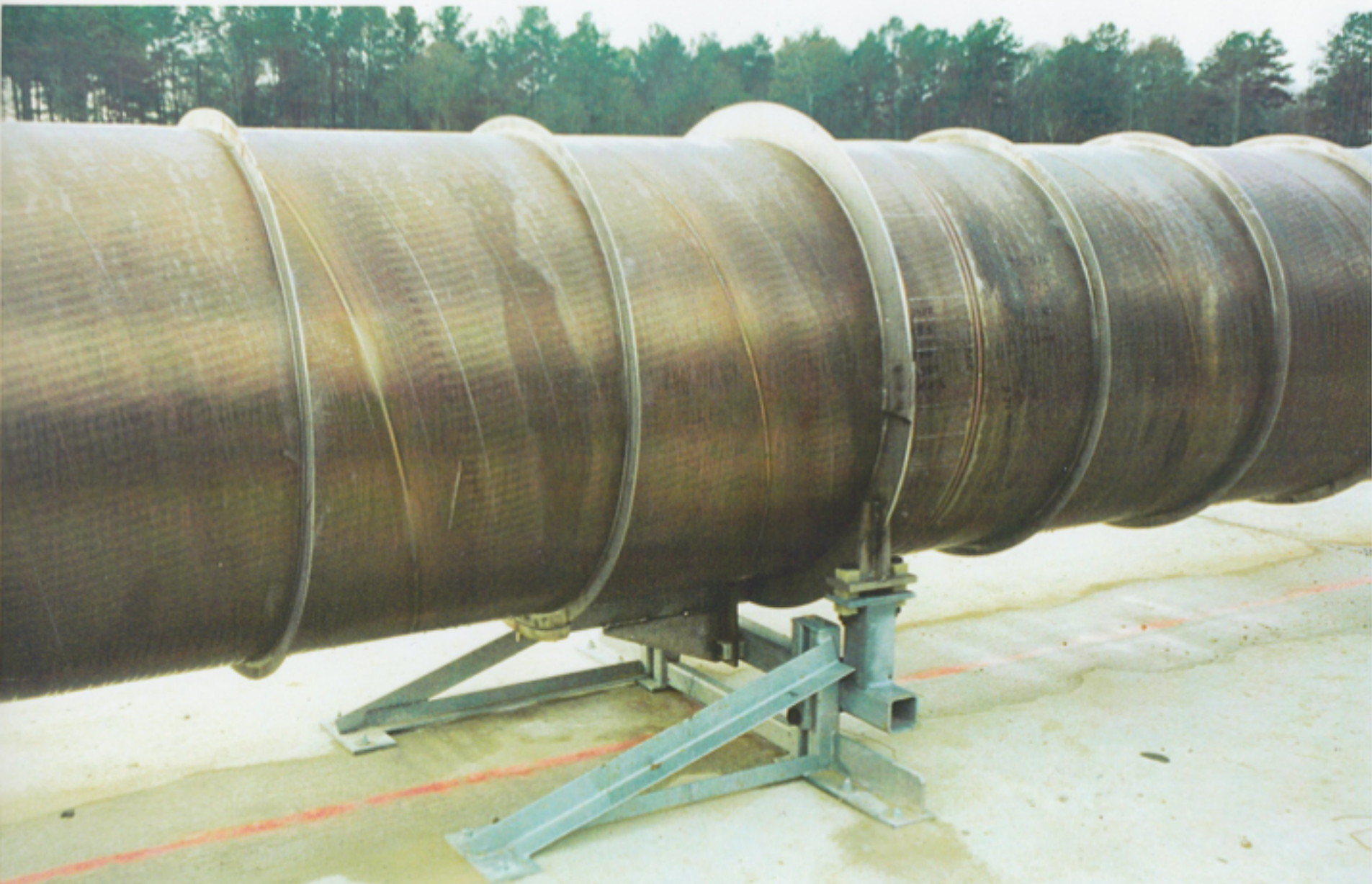


# Σύστημα απορρόφησης κραδασμών



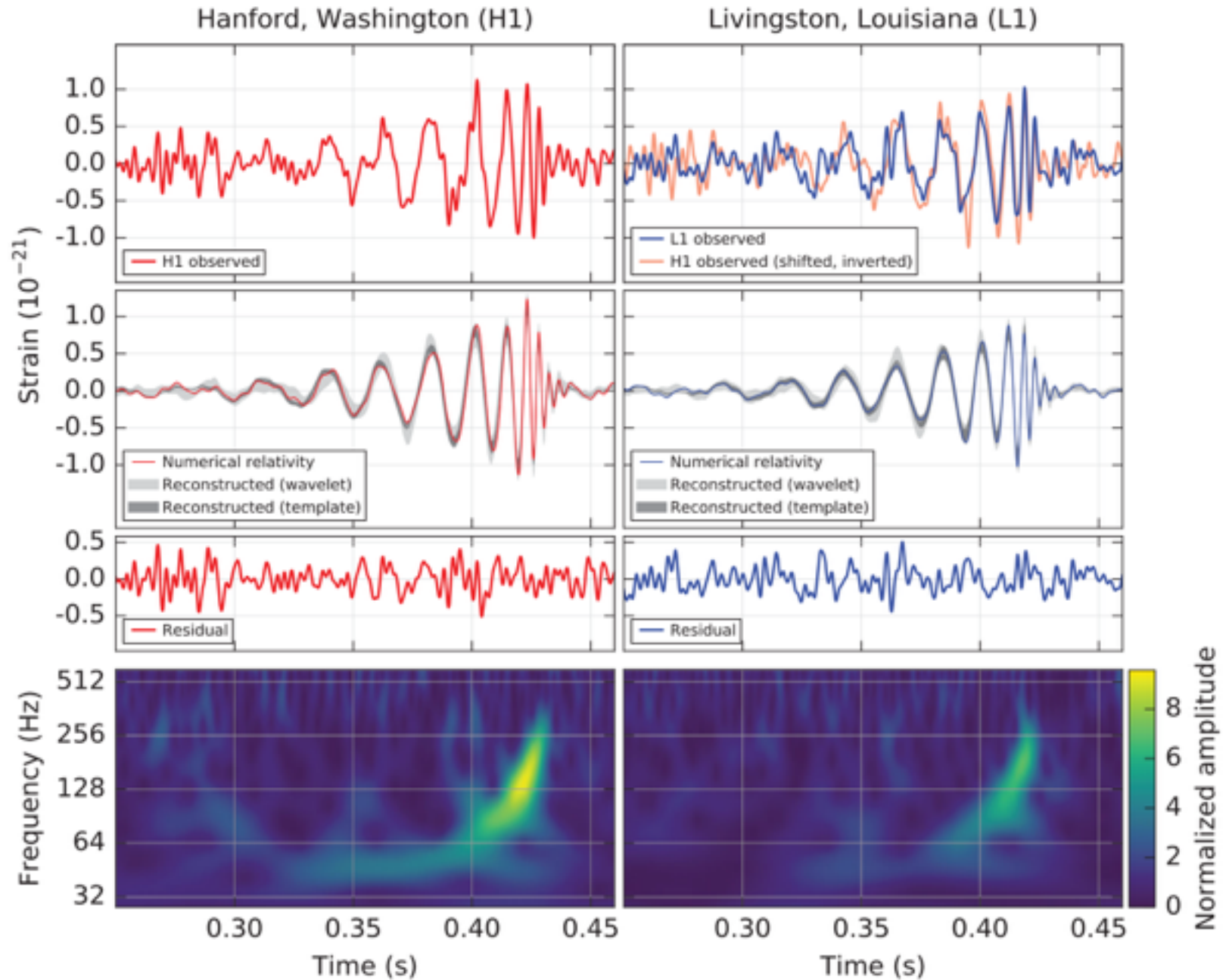


# Σωλήνες κενού 1 $\mu\text{Pa}$



# Η πρώτη πηγή βαρυτικών κυμάτων GW150914

Abbot et al. (2016)



A large, faint, circular nebula or galaxy core is centered in the image. It has a diffuse, glowing appearance with some internal structure. Two prominent dark spots are visible within the nebula, labeled with the numbers 29 and 36 in yellow. The background is a dense field of stars, with a concentration of stars forming a spiral-like pattern around the central nebula.

29

36

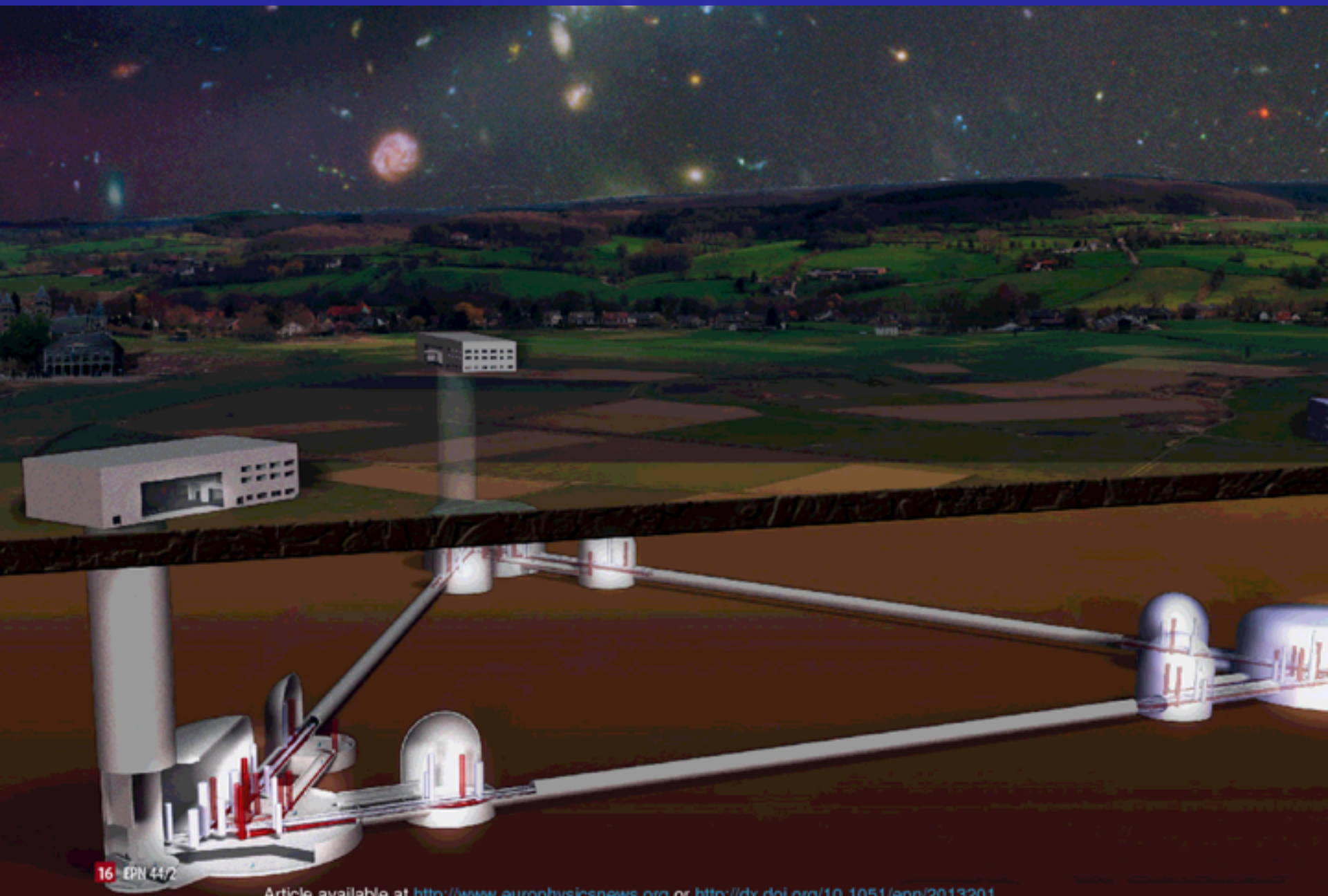
Απόσταση από εμάς:  
1 δισεκατομμύρια έτη φωτός

# Παγκόσμιο δίκτυο ανιχνευτών

Σύντομα, όλοι οι συμβολομετρικοί ανιχνευτές θα λειτουργούν ως ένα *ενιαίο πείραμα*, το οποίο θα επιτρέπει τον *εντοπισμό θέσης* των διαφόρων πηγών.

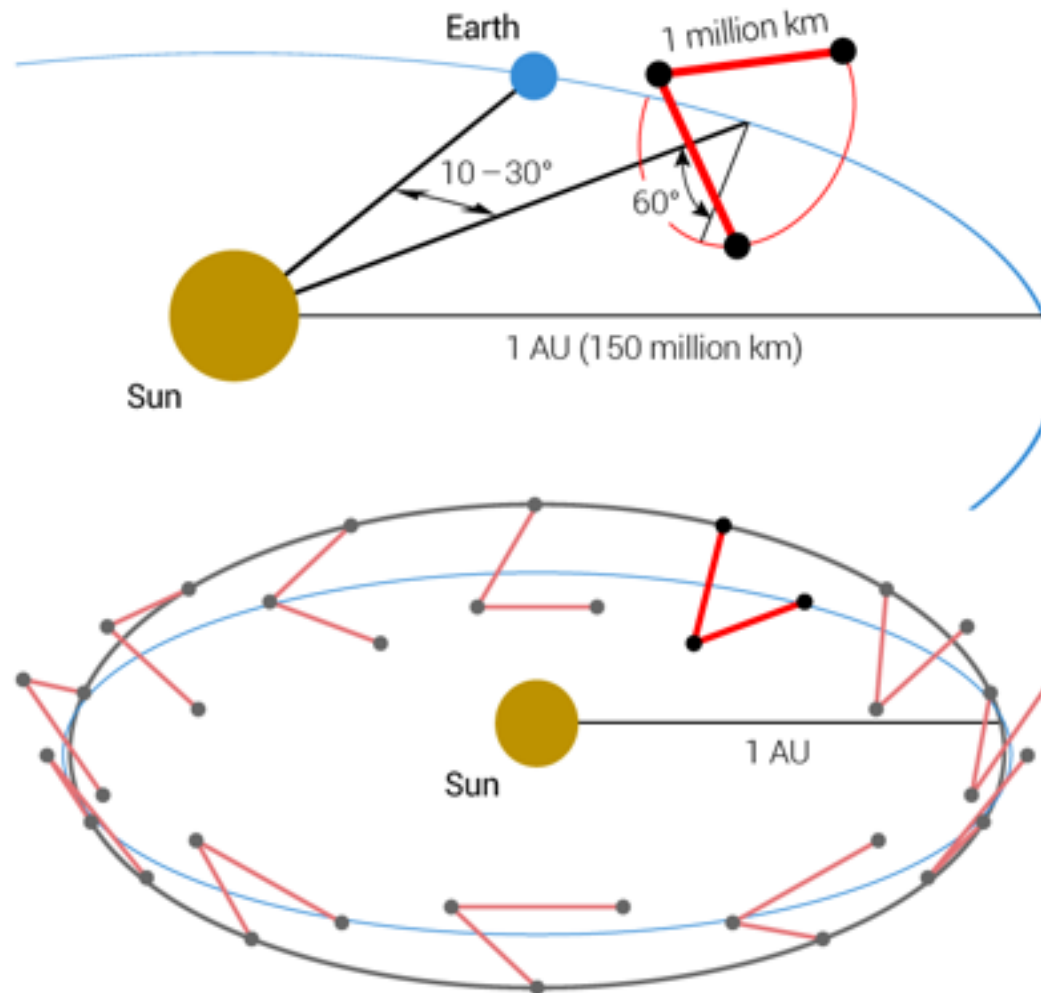


# Einstein Telescope

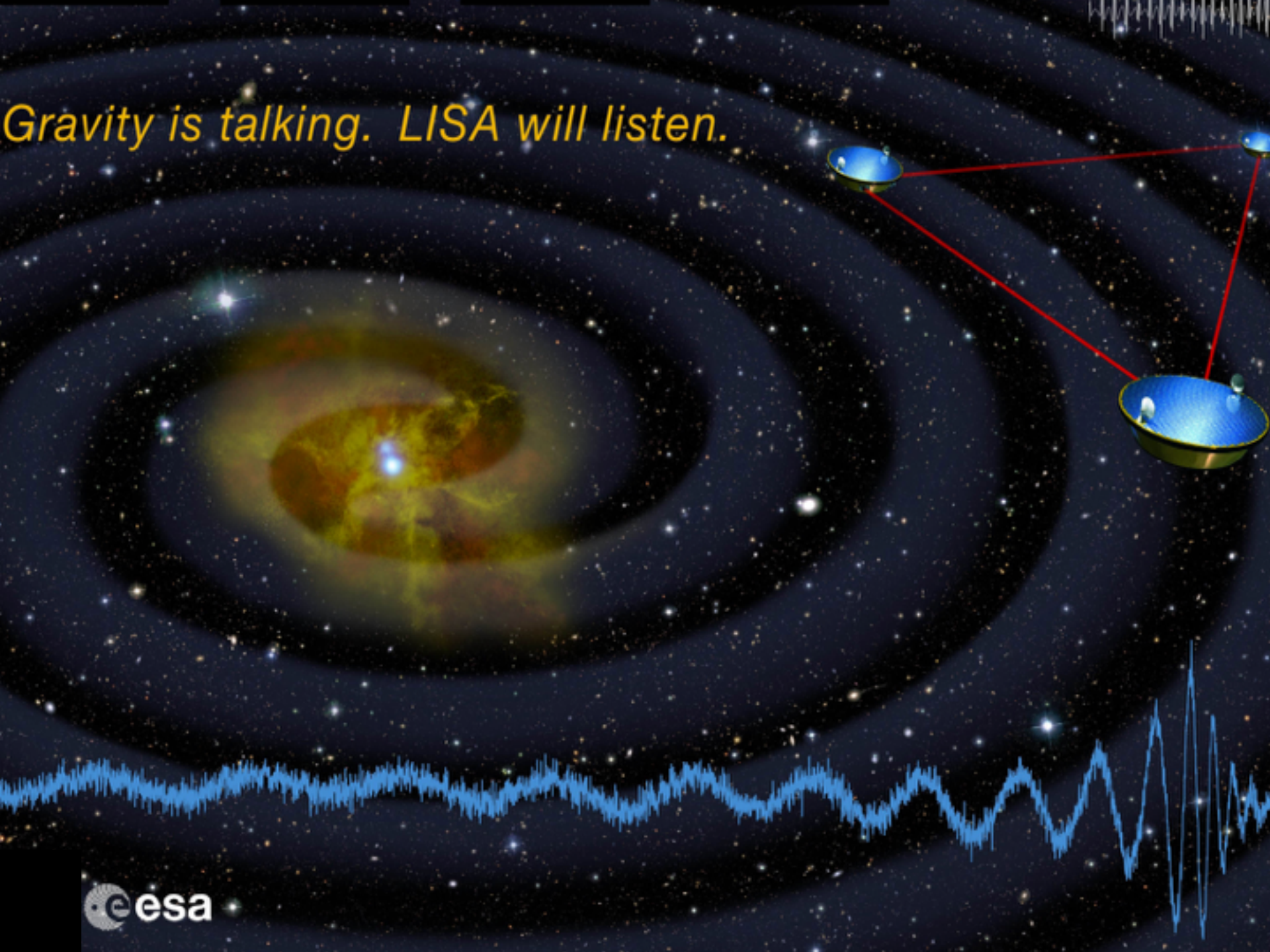


# Διαστημικός Ανιχνευτής eLISA

Για πηγές πολύ χαμηλών συχνοτήτων, χρειάζεται πολύ μεγάλο μήκος των ακτίνων laser.



*Gravity is talking. LISA will listen.*



ΤΕΛΟΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!

<http://www.astro.auth.gr/~niksterg>