

Ποιος πετάει πέτρες στον ωκεανό του Σύμπαντος;

Ε. Χανιωτάκης, Φυσικός
Τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης, Ελληνογερμανική Αγωγή



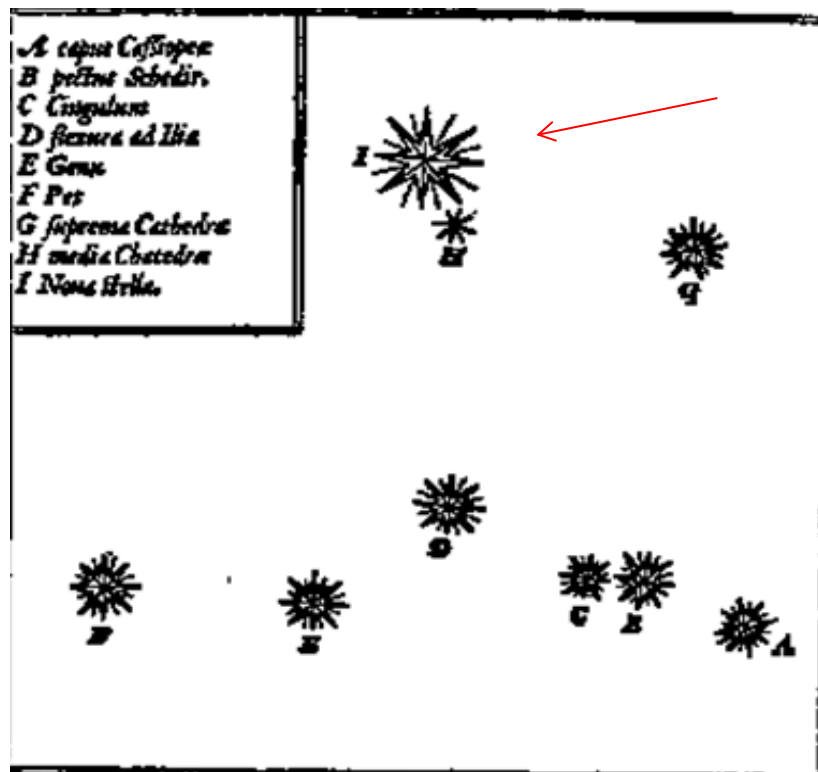
ΕΛΛΗΝΟΓΕΡΜΑΝΙΚΗ ΑΓΩΓΗ



Ο ουρανός όπως τον βλέπουμε..



Οι σπόροι της πρώτης επιστημονικής επανάστασης



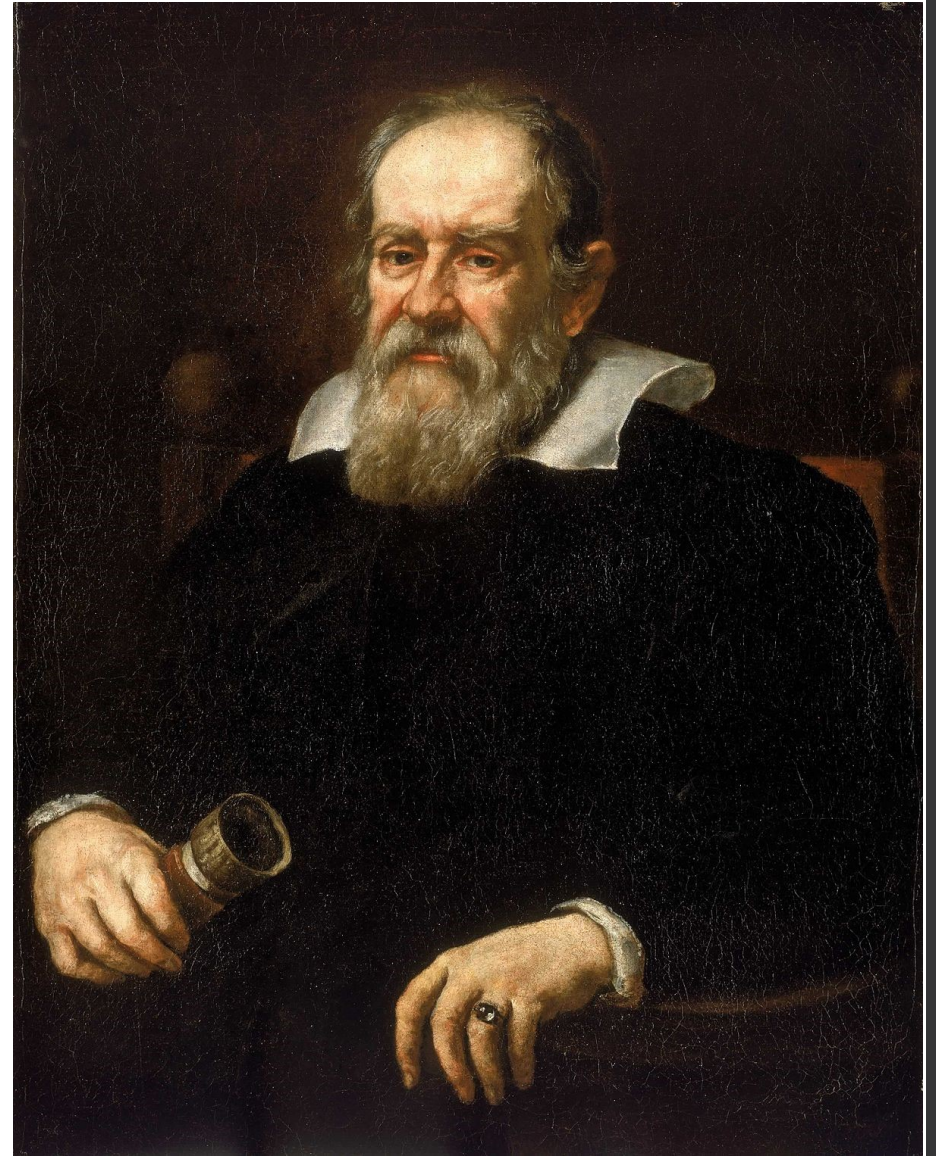
Tycho Brahe (1546 – 1601)



Το 1572 ο Δανός Αστρονόμος Τύχο Μπράχε παρατηρεί για πρώτη φορά ένα «νέο αστέρι» πάνω από τον αστερισμό της Κασσιόπειας . Πρόκειται για μια έκρηξη Supernova όπως ξέρουμε πλέον η οποία άλλαξε την τότε επικρατούσα κοσμολογική αντίληψη ότι οι ουρανοί είναι αιώνιοι και αμετάβλητοι



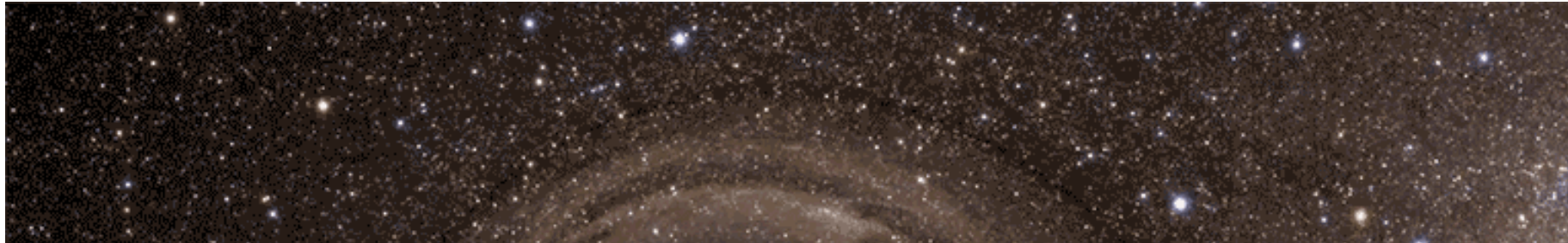
Galileo Galilei (1564 – 1642)



Το 1609 ο Γαλιλαίος στρέφει το τηλεσκόπιό του για πρώτη φορά στον ουρανό, σηματοδοτώντας την πρώτη επιστημονική επανάσταση. Παρατηρεί τα φεγγάρια του Δία, τις φάσεις της Αφροδίτης, την επιφάνεια του Ήλιου και της Σελήνης, τον Γαλαξία..

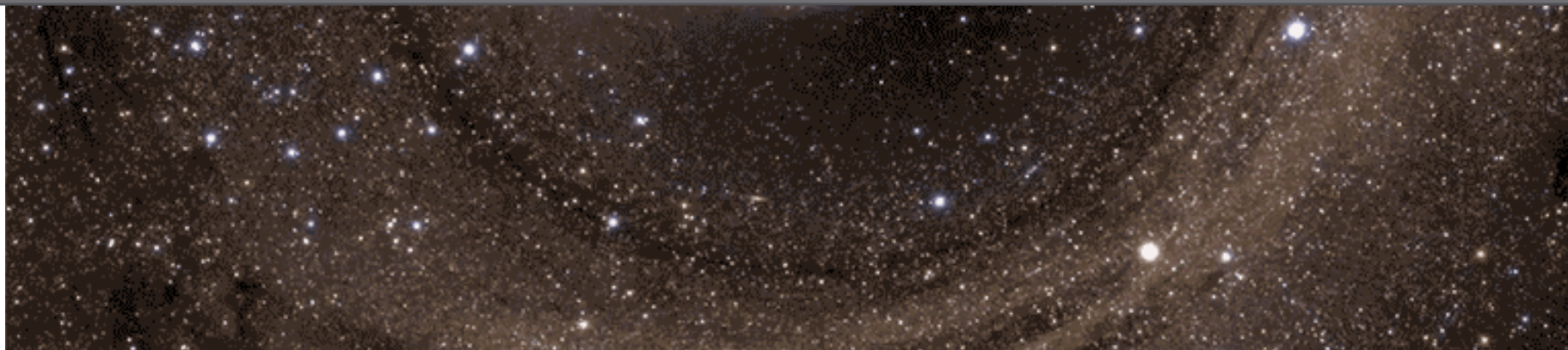
Πλέον η αντίληψή μας για το Σύμπαν αλλάζει ριζικά..

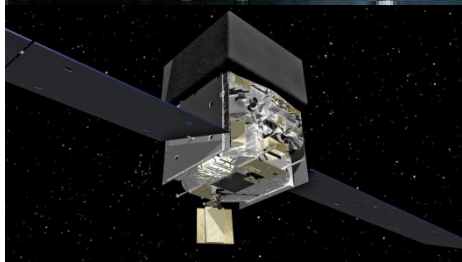
Βαρυτικά κύματα, ένα νέο παράθυρο στο σύμπαν



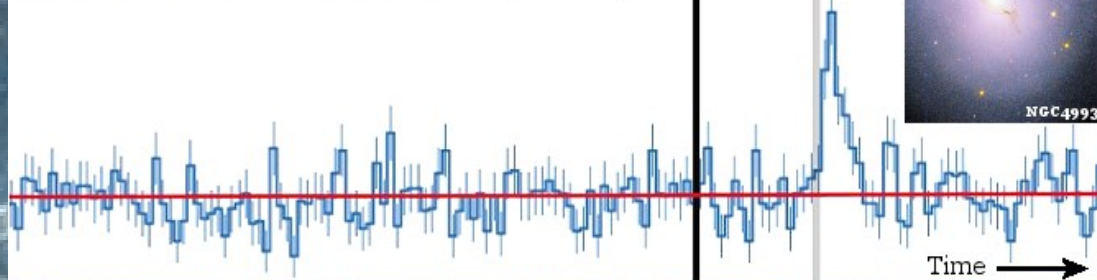
Το 2015, η κοινοπραξία LIGO στις ΗΠΑ ανακοινώνει την πρώτη ανίχνευση Βαρυτικών Κυμάτων από την Συγχώνευση δύο Μαύρων Τρυπών 1.4 δισ. Έτη φως μακριά μας! Η ισχύς της ακτινοβολίας βαρυτικών κυμάτων που ανιχνεύθηκε ήταν 50 φορές μεγαλύτερη από την ισχύ που εκπέμπουν όλα τα άστρα στο παρατηρήσιμο Σύμπαν!!

Ένα νέο παρατηρησιακό παράθυρο στο Βίαιο Σύμπαν Ανοίγει, εγκαινιάζοντας την Αστρονομία Βαρυτικών Κυμάτων!

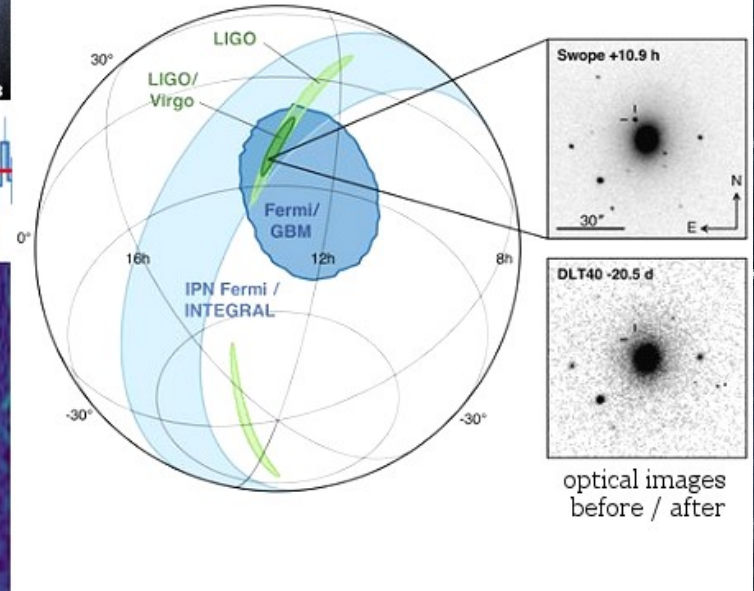
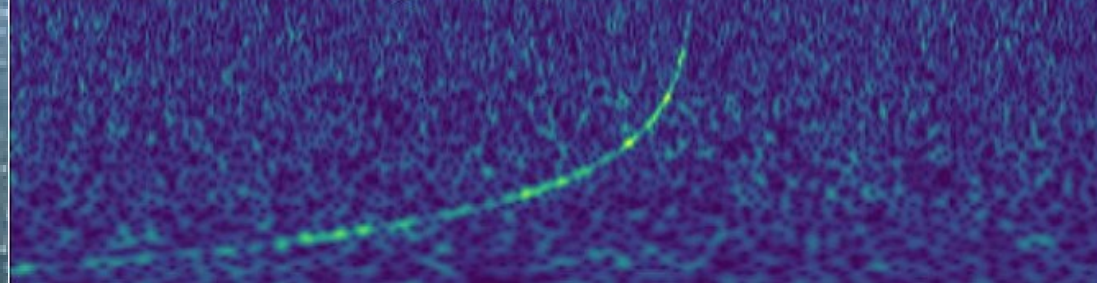




Lightcurve from *Fermi*/GBM (50 – 300 keV)



Gravitational-wave time-frequency map



Το 2017, οι ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων LIGO και Virgo σε συνδυασμό με το τηλεσκόπιο ακτίνων γ Fermi και οπτικά τηλεσκόπια παρατηρούν για πρώτη φορά τη συγχώνευση δύο αστέρων νετρονίων, το «χρυσορυχείο» του σύμπαντος!

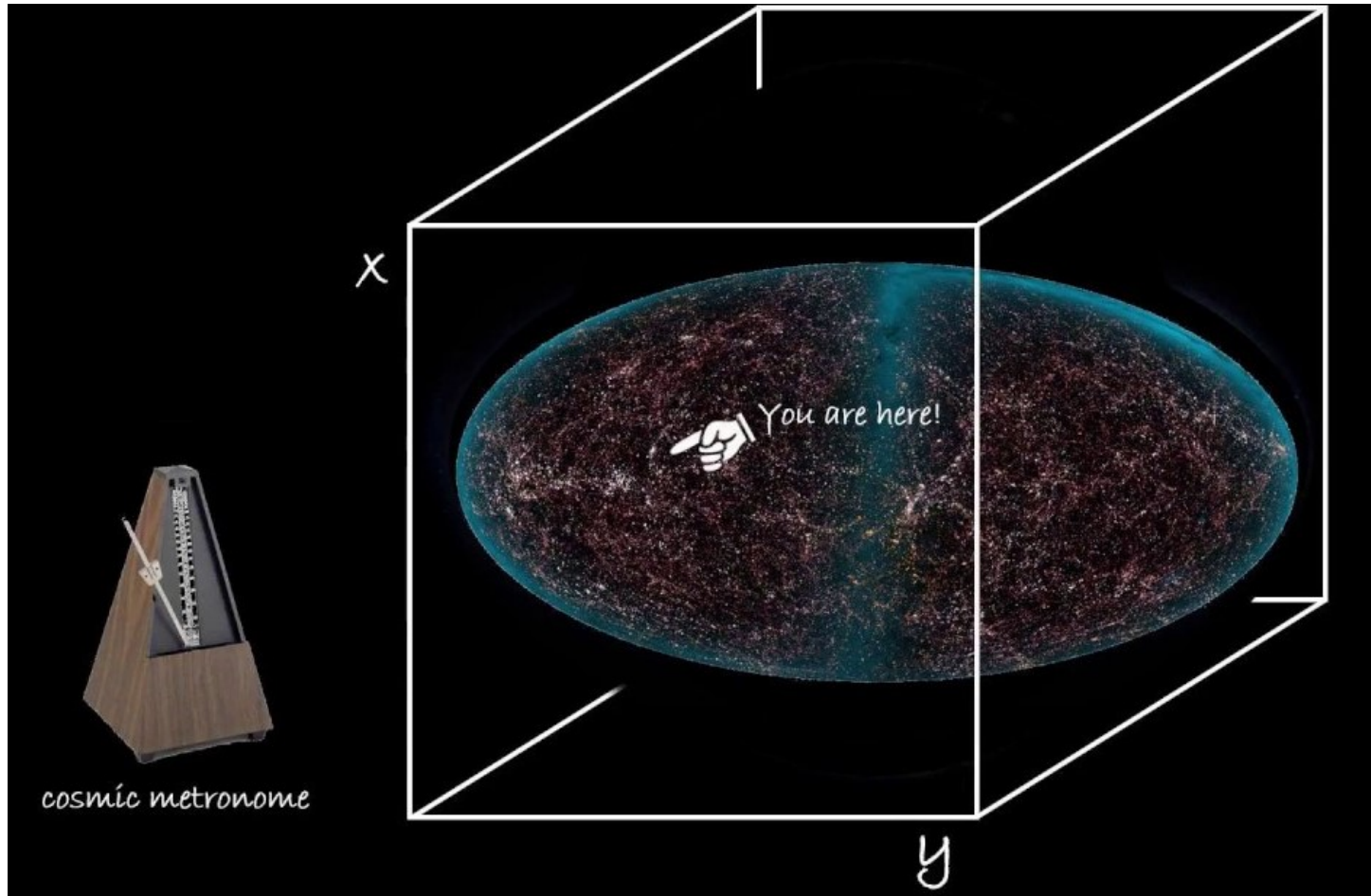
Ξεκινά επισήμως η εποχή της Πολυμηνυματικής Αστρονομίας!
(Multimessenger Astronomy)

Ερωτήσεις ..

- Τι είναι τα βαρυτικά κύματα;
- Πως τα ανιχνεύουμε;
- Τι είναι ο ανιχνευτής Virgo και πως λειτουργεί;
- Τι μας επιφυλάσσει το μέλλον;

Αυτά φιλοδοξούμε να απαντήσουμε σήμερα!
Προσδεθείτε!!

Χώρος και Χρόνος στη Νευτώνεια Θεώρηση

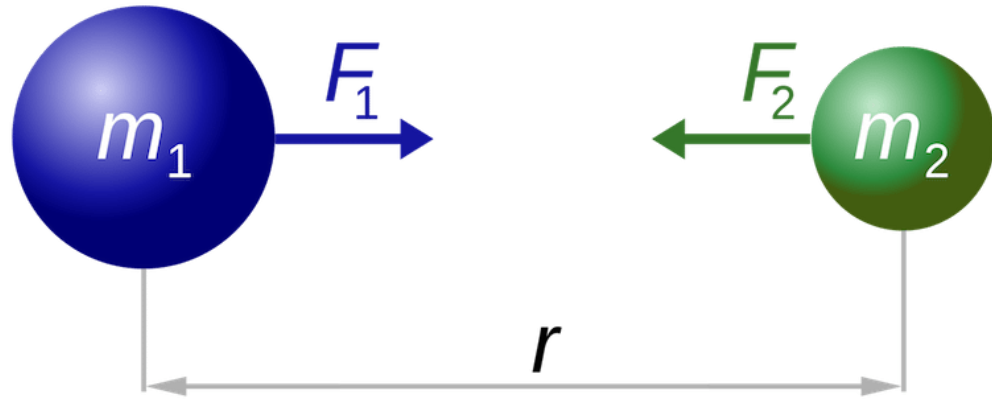


Ο χώρος είναι το «θέατρο επιχειρήσεων» του σύμπαντος. Είναι απόλυτος και σε αυτόν εκτυλίσσονται όλα τα Φυσικά Φαινόμενα.

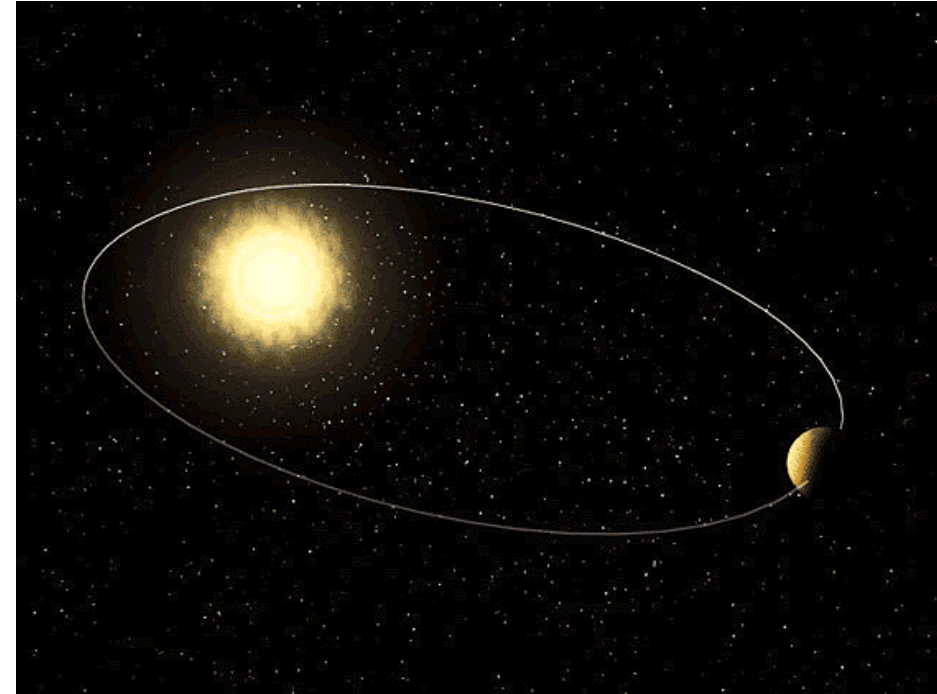
Ο χρόνος είναι απόλυτος. «Κινείται» με σταθερό ρυθμό 1sec/sec όντας ανεξάρτητος από τα φαινόμενα του σύμπαντος. Ένα συμπαντικό «ρολόι» μετρά τα δευτερόλεπτα στα οποία εκτυλίσσονται τα γεγονότα.

Όλοι οι αδρανειακοί παρατηρητές μετράνε τον ίδιο χρόνο ανάμεσα σε δύο γεγονότα.

Νευτώνεια Βαρύτητα και Ουράνια Μηχανική



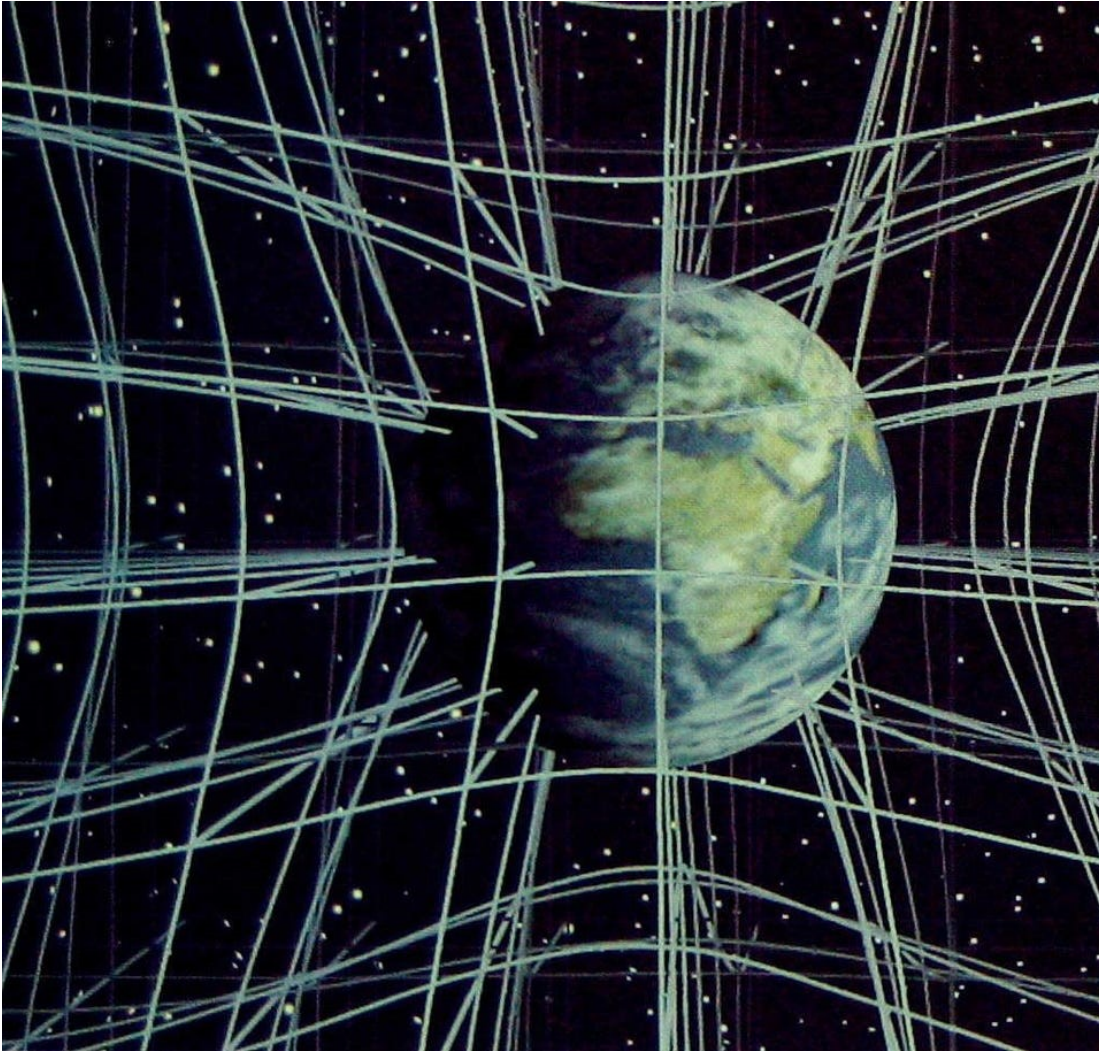
$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$



3^{ος} Νόμος Κέπλερ $\frac{T^2}{R^3} = \text{σταθ.}$

Στη Νευτώνεια Μηχανική, οι κλειστές ελλειπτικές πλανητικές τροχιές έχουν σταθερή Ενέργεια. Αν η ολική ενέργεια μειωνόταν, τότε η απόσταση ανάμεσα στα ουράνια σώματα θα μειωνόταν και η συχνότητα περιστροφής θα αυξανόταν.

Χωροχρόνος



«..Henceforth, space by itself, and time by itself, are doomed to fade away into mere shadows, and only a kind of union of the two will preserve an independent reality.» (H. Minkowski, 1908).

Η μέτρηση του χώρου και του χρόνου διαφέρει ανάμεσα σε αδρανειακούς παρατηρητές. Η χωροχρονική απόσταση παραμένει σταθερή.

Η μάζα/ενέργεια καμπυλώνει το χωροχρόνο: Η απόσταση και το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο γεγονότα αλλάζουν παρουσία μάζας/ενέργειας. (τα ρολόγια τρέχουν πιο αργά κοντά στην επιφάνεια της Γης παρά μακριά).

Η Εξίσωση Αϊνστάιν στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας (1915)

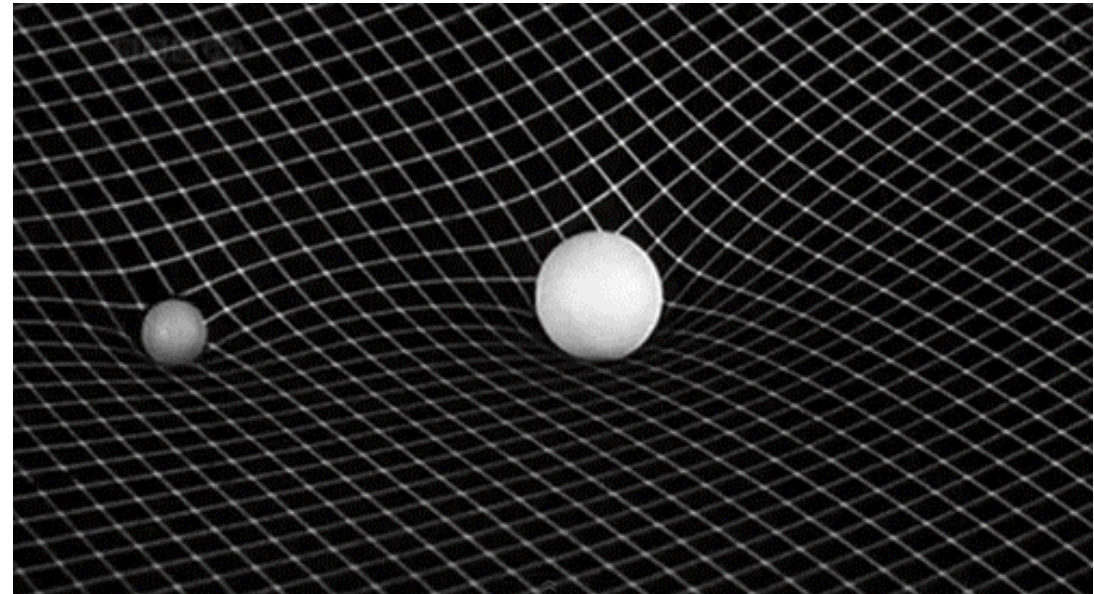
Με βάση τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, η **Ύλη λέει στον χωρόχρονο πώς να καμπυλωθεί** και ο **χωρόχρονος λέει στην ύλη πώς να κινηθεί** (J. Wheeler).

$$2.077 * 10^{-43} N^{-1}$$

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Τανυστής Αϊνστάιν
(Καμπυλότητα χωροχρόνου**)

Τανυστής
Ενέργειας- Ορμής



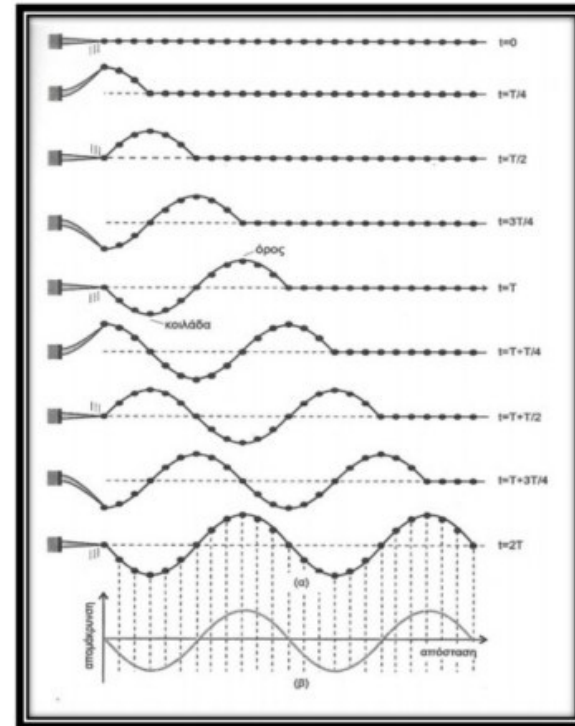
Μεγάλες ποσότητες Μάζας/Ενέργειας απαιτούνται για να έχω παρατηρήσιμη καμπύλωση του χωροχρόνου.
Ο ουρανός αποτελεί ένα Φυσικό εργαστήριο μελέτης της Γενικής Σχετικότητας.

Δραστηριότητα 1: Η ελαστική μεμβράνη

Ας εξερευνήσουμε μαζί την καμπύλωση του χώρου με την αναλογία της ελαστικής μεμβράνης



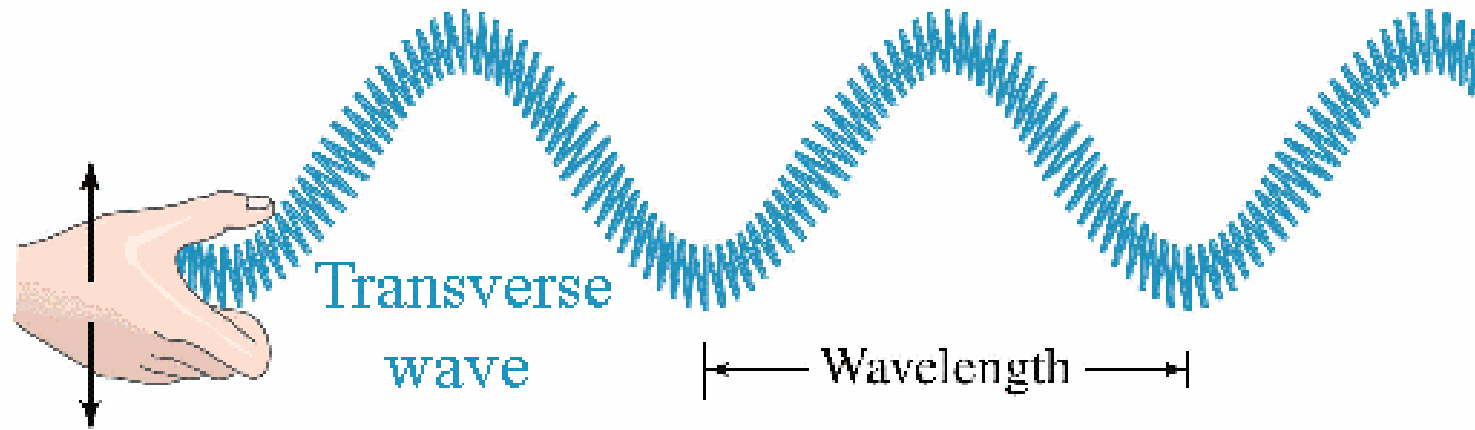
Σύντομη υπενθύμιση: Τι είναι τα κύματα;



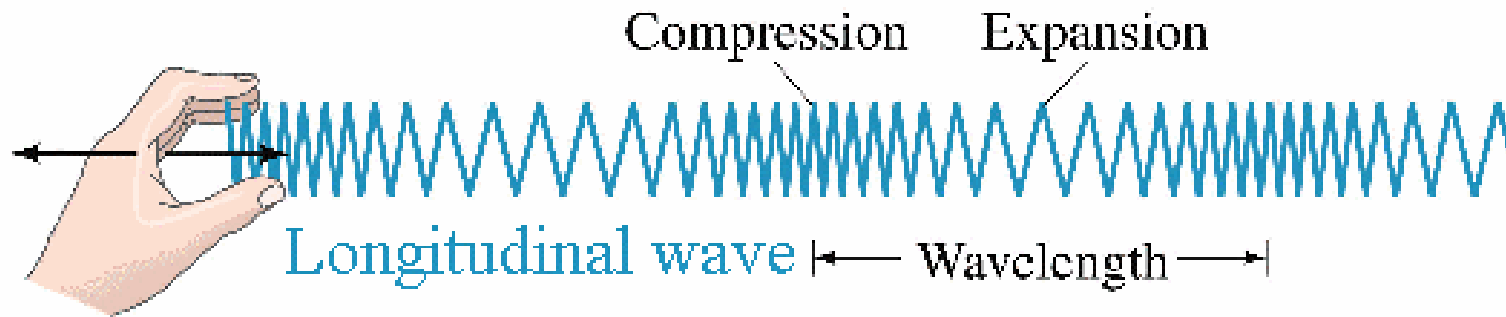


Mexican Wave
Transverse Wave Example

Πως μοιάζουν τα κύματα;



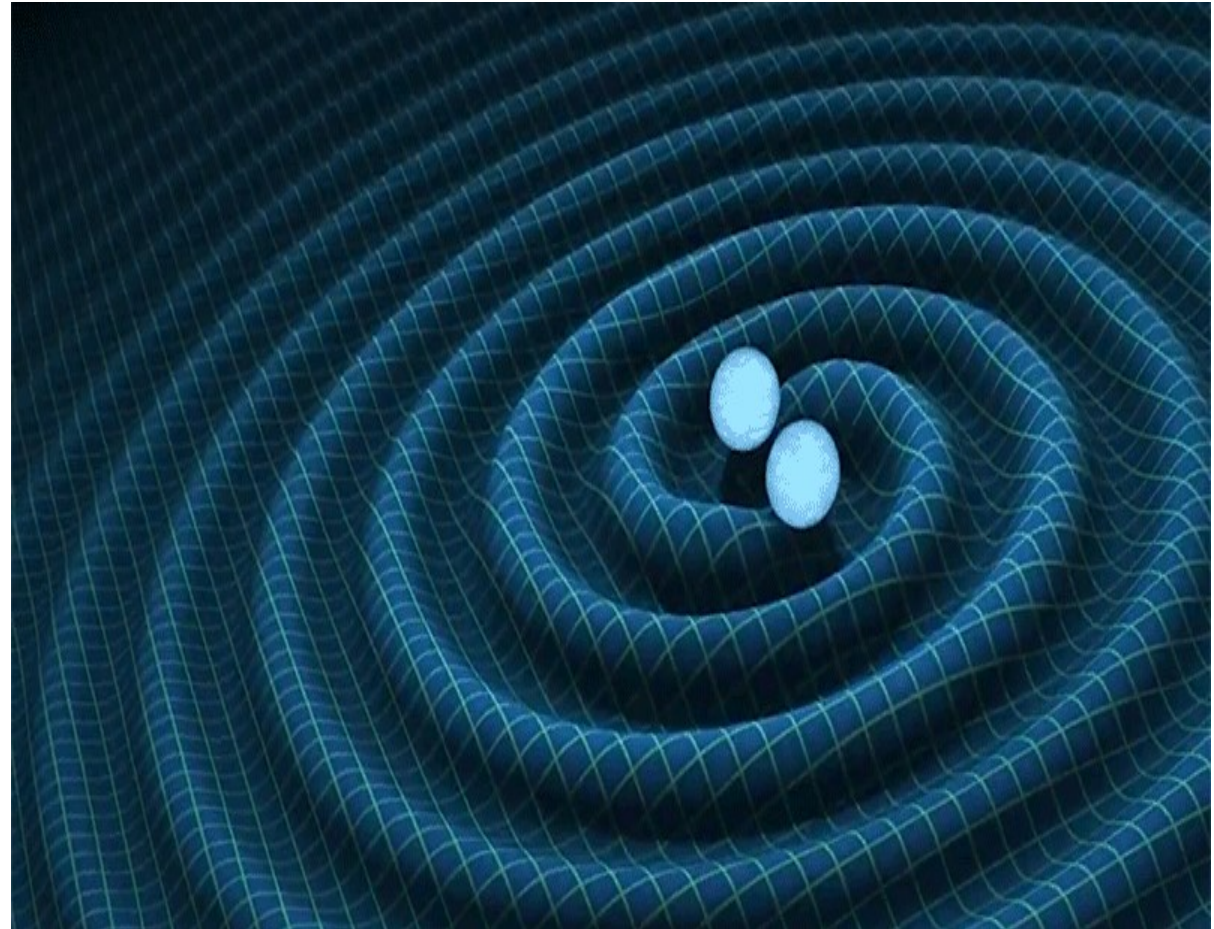
$$f = \frac{1}{T}$$



$$\lambda = \frac{v}{f} = vT$$

Βαρυτικά κύματα

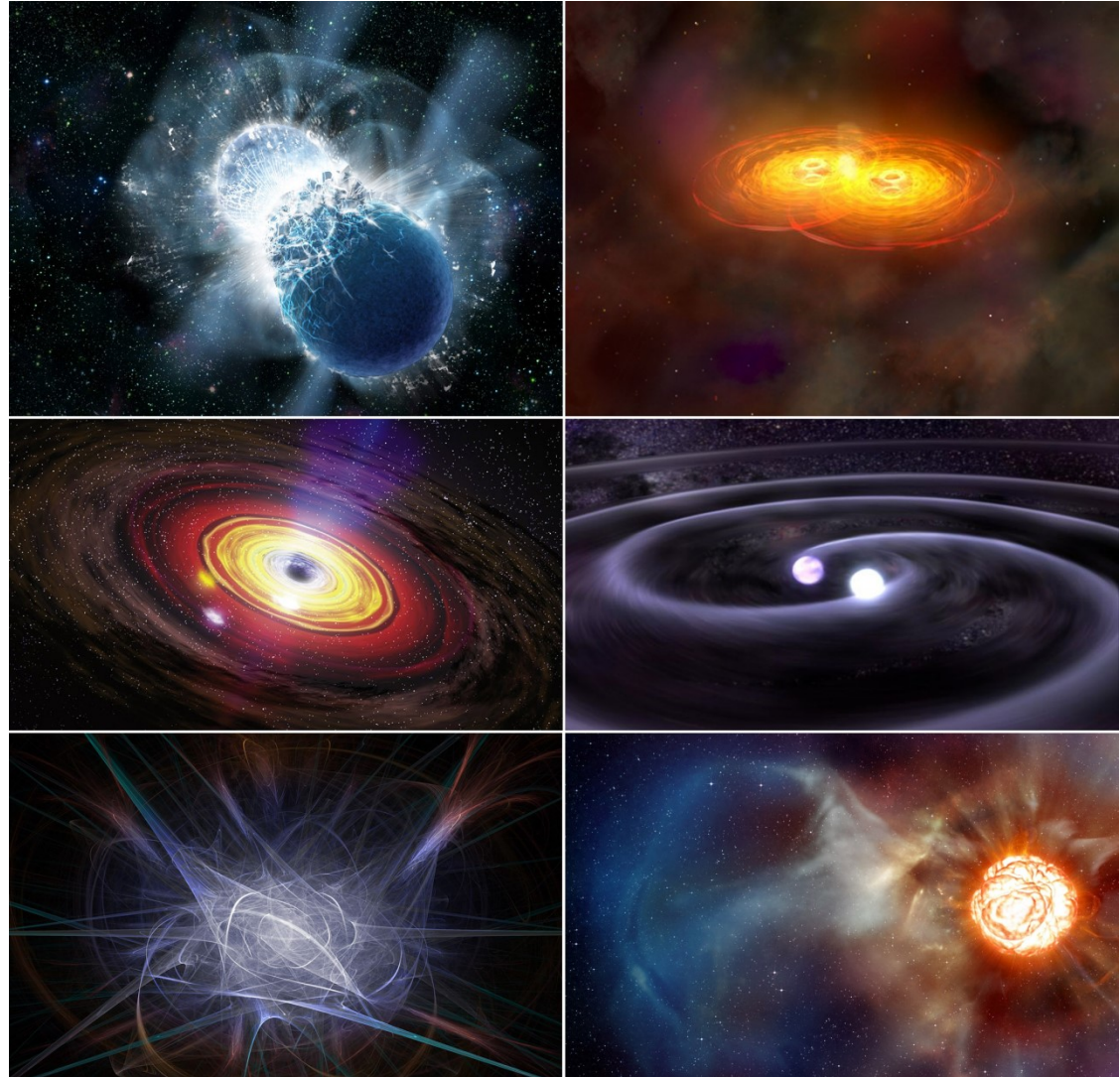
- Τα βαρυτικά κύματα είναι λύσεις της εξίσωσης Einstein (1916). Πρόκειται για ρυτιδώσεις του χώρου οι οποίες παράγονται όταν μια ασύμμετρη κατανομή μάζας (όπως ζεύγη μελανών οπών ή ζεύγη αστέρων νετρονίων) εκτελεί ταχέως μεταβαλλόμενη κίνηση.
- Διαδίδονται προς όλες τις διευθύνσεις με την ταχύτητα του φωτός από την πηγή προς τα έξω. Η μικρή τους σύζευξη με την ύλη τα κάνει εξαιρετικά δύσκολα να ανιχνευθούν αλλά και εξαιρετικά ενδιαφέροντα. Αφού παράγονται ελάχιστα απορροφώνται. Μελετώντας τα μπορούμε να πάρουμε πληροφορία για την πηγή τους, να δούμε πιο κοντά στον ορίζοντα μιας μαύρης τρύπας αλλά και πιο κοντά στη δημιουργία του σύμπαντος αλλά και να μάθουμε περισσότερα για τη φύση της ίδιας της βαρύτητας.



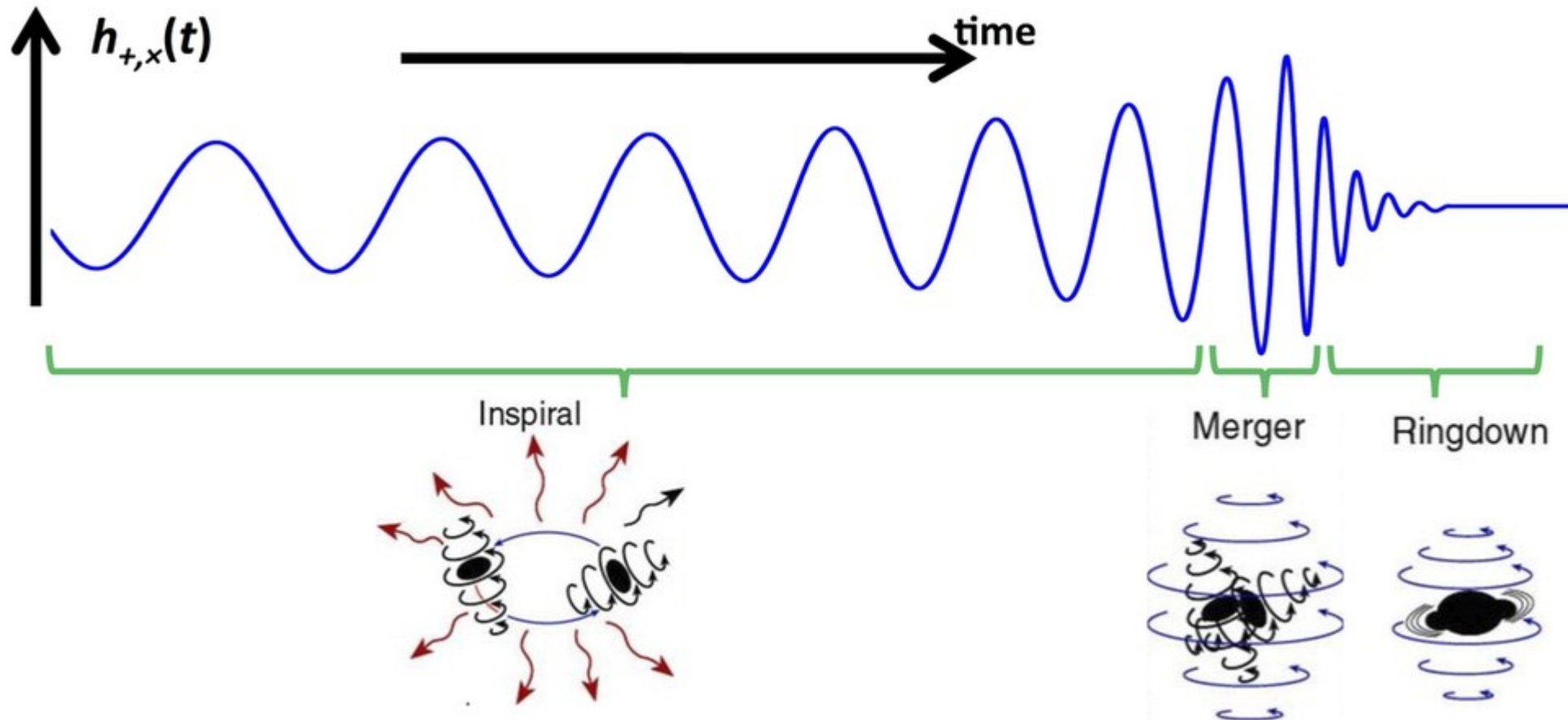
<https://www.youtube.com/watch?v=F1DtXIBrAYE>

Πηγές βαρυτικών κυμάτων

- Διπλά συστήματα (μελανές οπές, αστέρες νετρονίων, αστέρας νετρονίων-μελανή οπή, λευκοί νάνοι).
- Εκρήξεις supernova
- Περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων
- Βαρυτικά κύματα από την εποχή της μεγάλης έκρηξης



Μηχανισμός παραγωγής Βαρυτικών κυμάτων

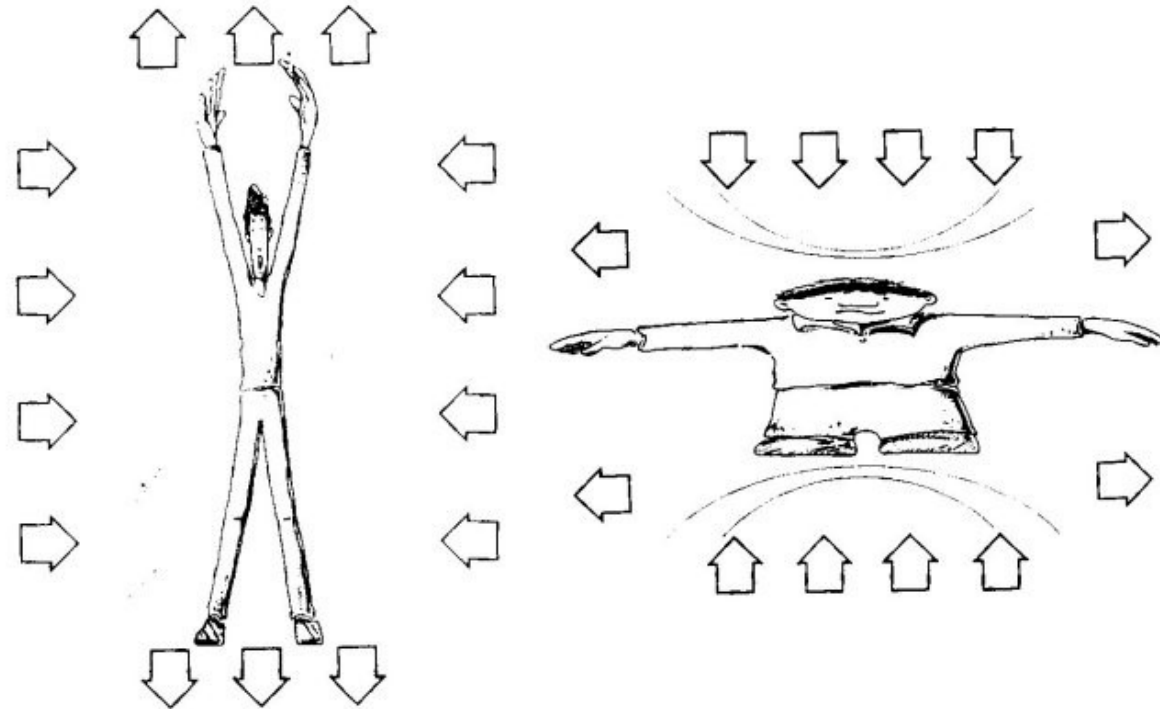


Τι κάνουν τα βαρυτικά κύματα;

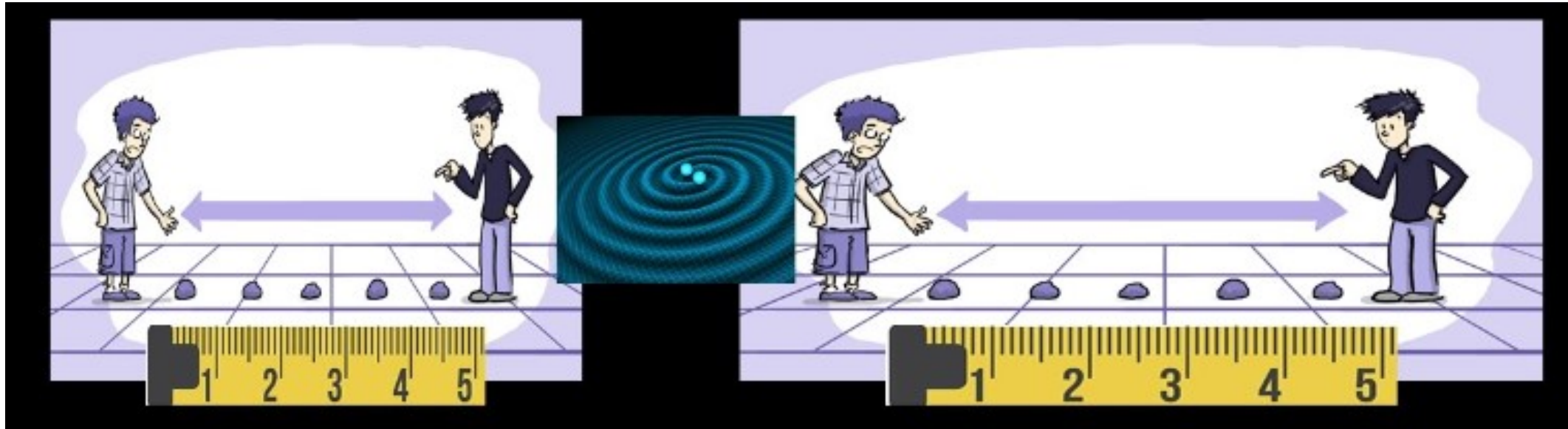
Τα βαρυτικά κύματα αποτελούν λύση της εξίσωσης Einstein.

Προκαλούν αλλαγές στη μετρική του χωροχρόνου απ' όπου διέρχονται, στις συνιστώσες κάθετες στη διεύθυνση διάδοσής τους.

Ο χώρος «τεντώνεται-συμπιέζεται» όταν ένα βαρυτικό κύμα περάσει. Το πλάτος των βαρυτικών κυμάτων πέφτει με την απόσταση και εξαρτάται από τη μάζα και την περίοδο της πηγής.



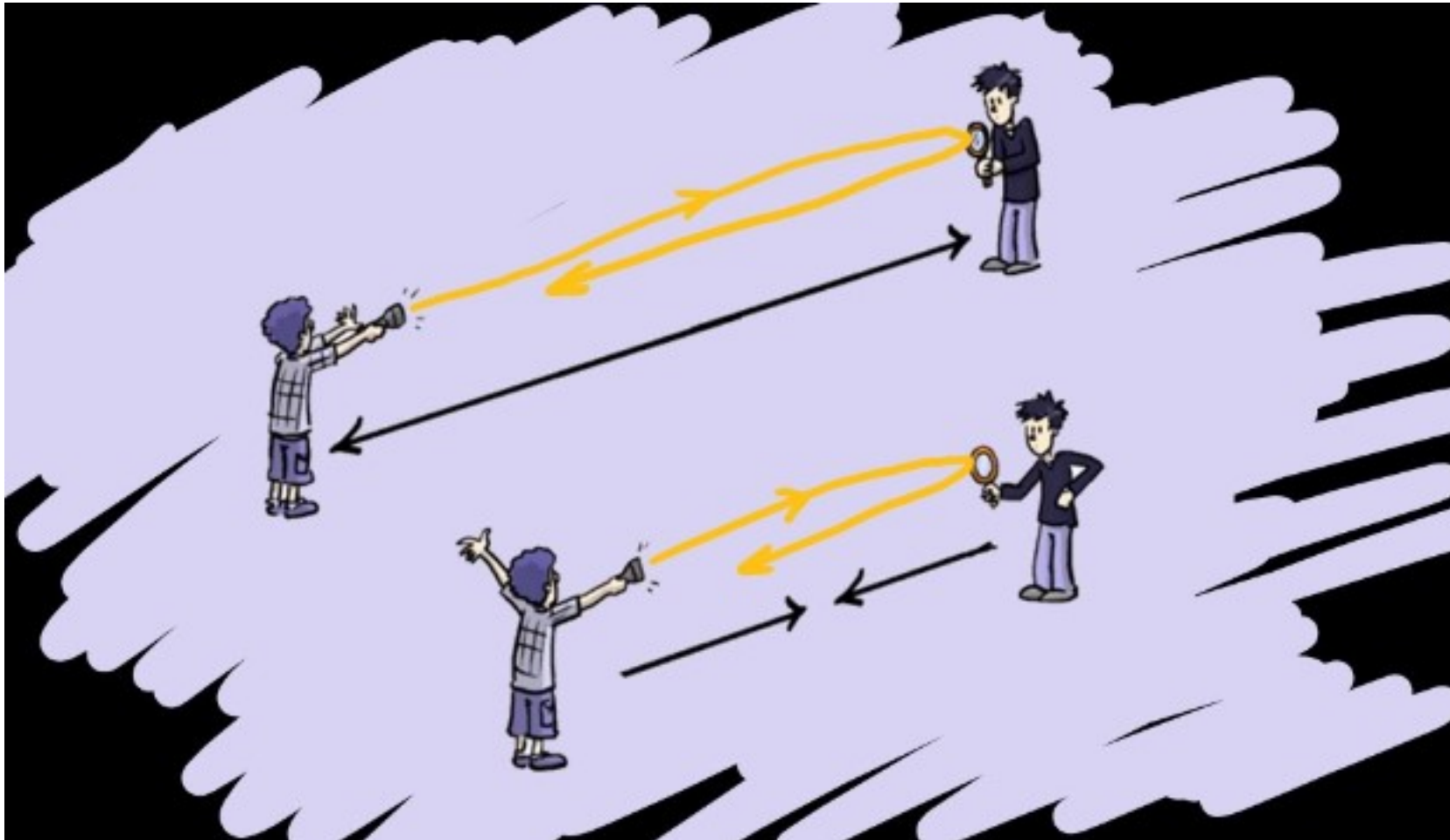
Πως ανιχνεύω βαρυτικά κύματα;



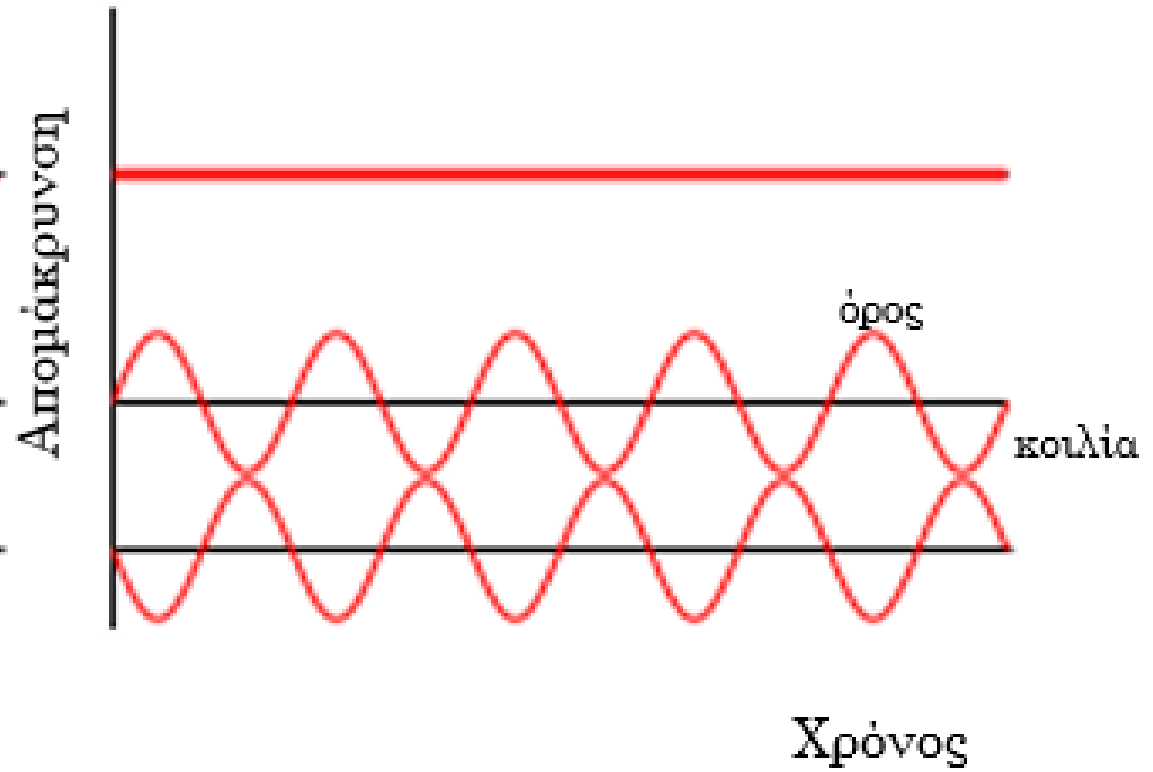
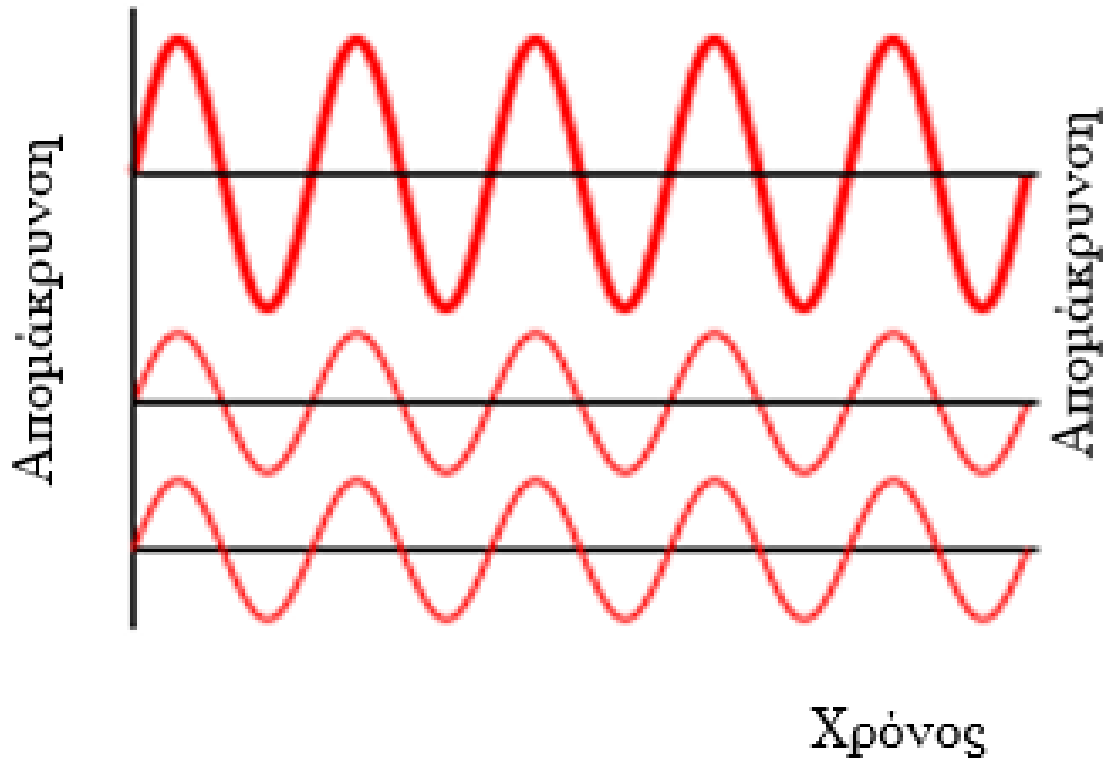
Μπορούμε να διαπιστώσουμε την έλευση ενός βαρυτικού κύματος μετρώντας την αλλαγή στη σχετική θέση (δL) μαζών οι οποίες βρίσκονται σε μια απόσταση L μεταξύ τους. Η απόσταση ανάμεσα στις μάζες που παρατηρώ αυξάνει. Παράλληλα όμως αυξάνει και το μήκος του χάρακά μου. Αν ο χάρακας έγραφε 5m πριν περάσει το βαρυτικό κύμα, θα γράφει και πάλι 5m!!

Ας χρησιμοποιήσουμε φως

Κινείται πάντα με την ταχύτητα του φωτός! Αν η απόσταση ανάμεσα σε δύο δοκιμαστικές μάζες αυξηθεί, το ταξίδι μιας ακτίνας φωτός ανάμεσά τους θα διαρκέσει περισσότερο!

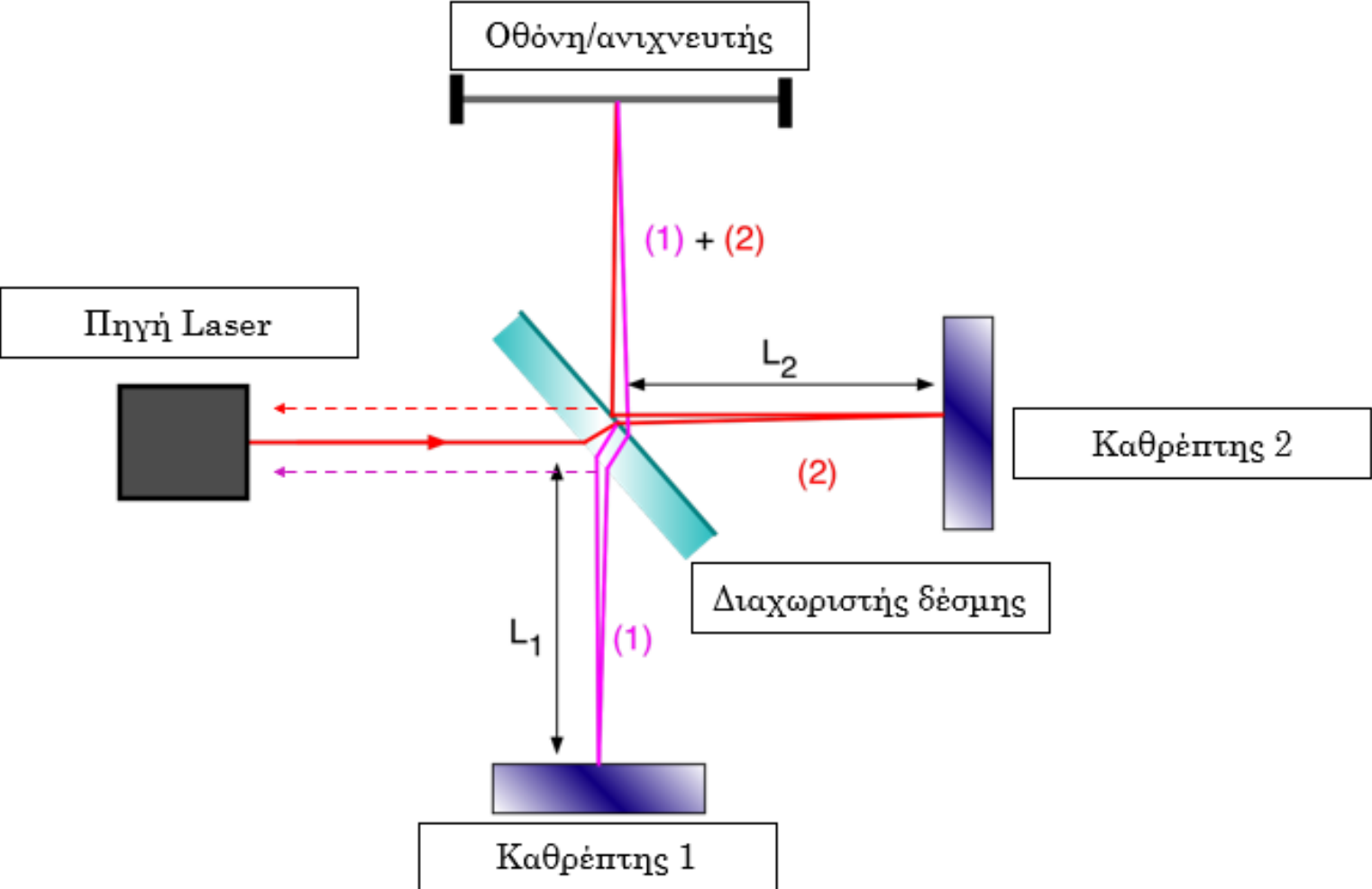


Σύντομη υπενθύμιση: Η συμβολή των κυμάτων

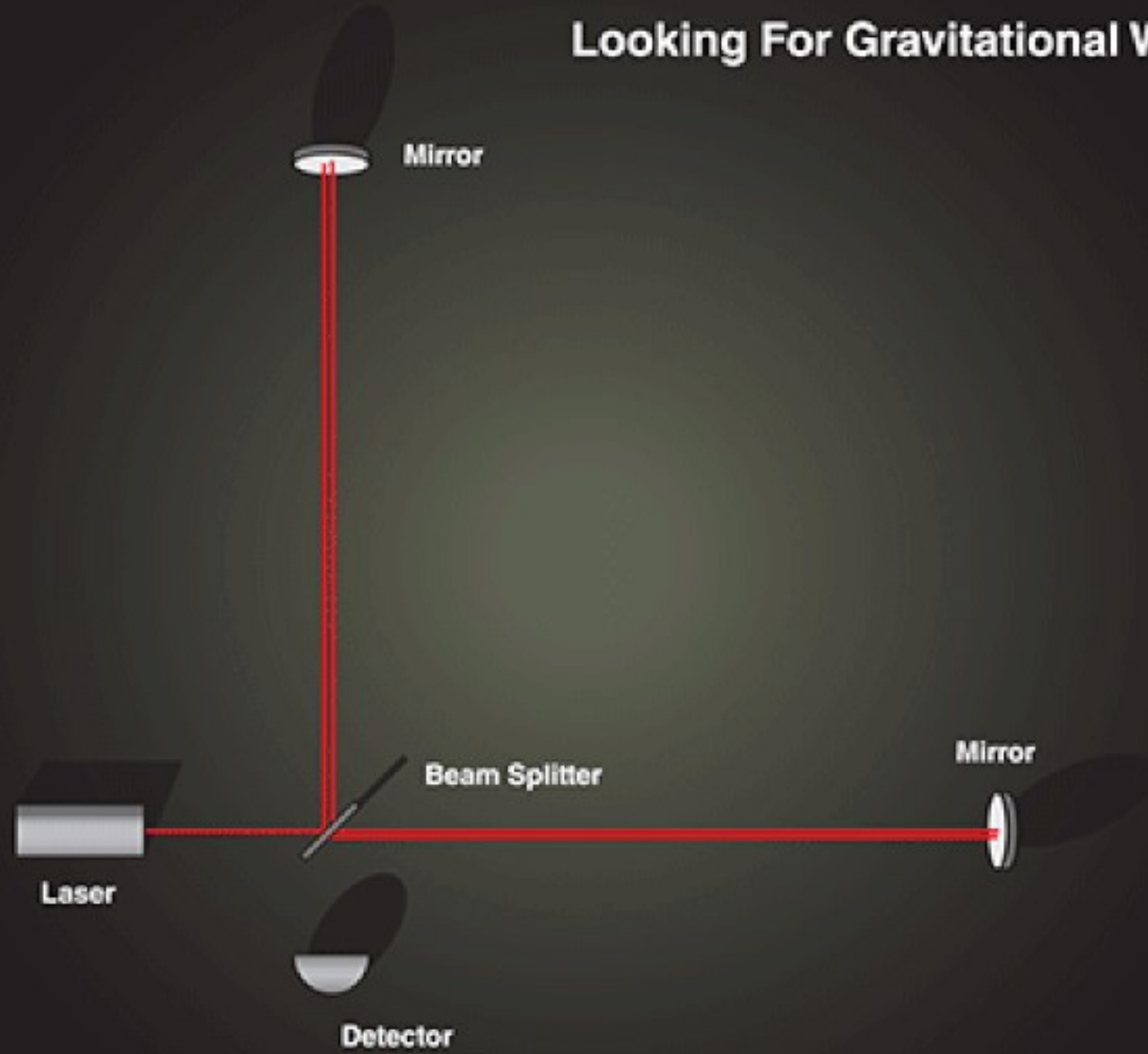


Αφού τα βαρυτικά κύματα περιοδικά «τεντώνουν το χώρο» προς μια διεύθυνση και τον «συμπιέζουν» στη διεύθυνση κάθετα σε αυτήν..

→Θέλω μια πειραματική διάταξη που βλέπει ταυτόχρονα αυτό το «τέντωμα-μάζεμα» σε κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις. Αυτή η διάταξη είναι το συμβολόμετρο Michelson.



Looking For Gravitational Waves



Αν το συμπ
μηκών επ

ή των
ου π!!

Δραστηριότητα 2: Πειραματίζομαι με ένα συμβολόμετρο Michelson

→ Στη δραστηριότητα αυτή συναρμολογούμε ένα συμβολόμετρο Michelson και μαθαίνουμε την αρχή λειτουργίας των ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων



Όμως τα βαρυτικά κύματα προκαλούν σχετικές μετατοπίσεις της τάξης του...

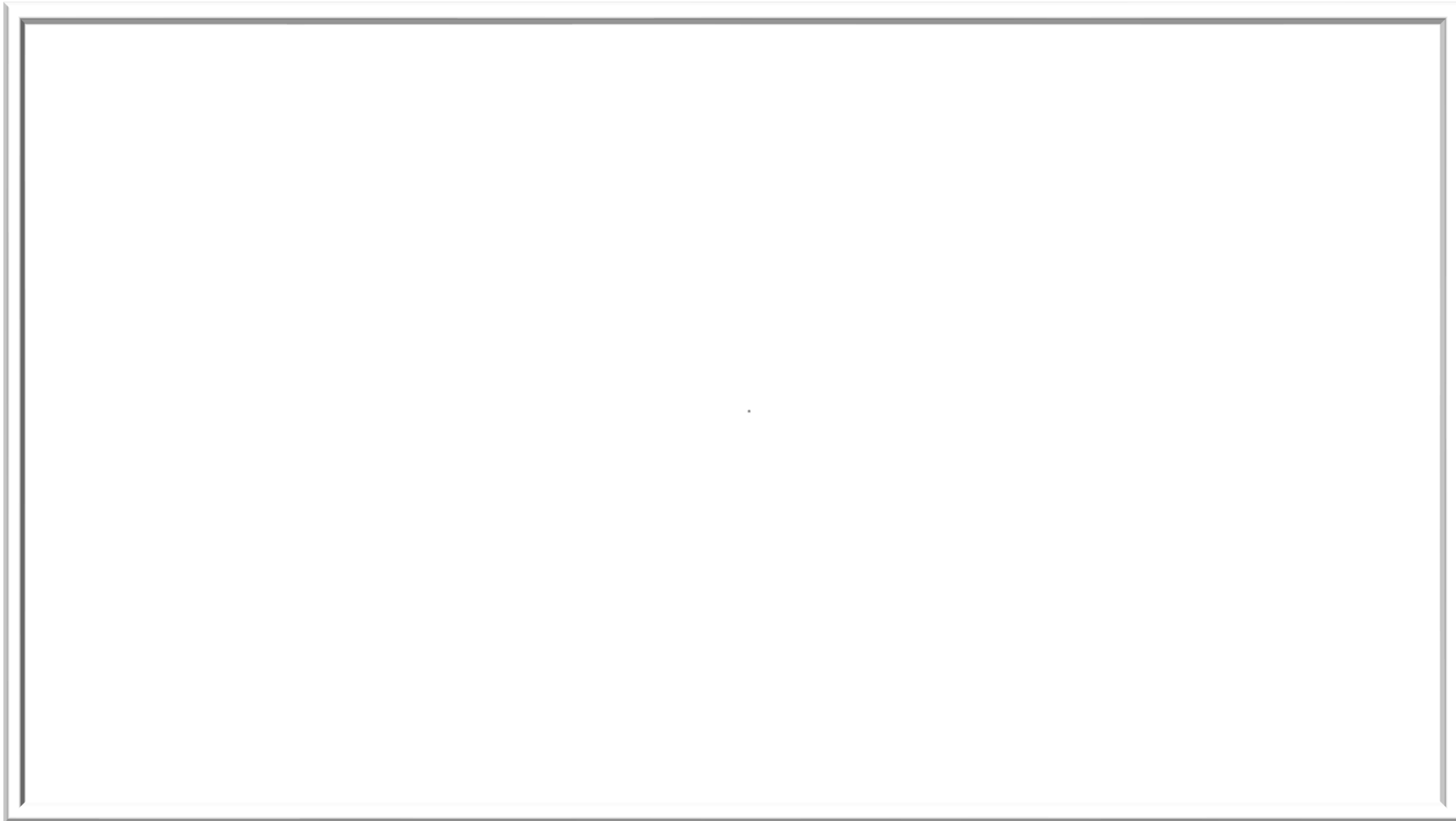
$$h = \frac{\delta L}{L} \sim 10^{-21}$$

Αυτό σημαίνει οτι.. ένα συμβολόμετρο με μήκος αρμού $L=1\text{km}$ θα πρέπει να μπορεί να μετρήσει μετατοπίσεις της τάξης του 1 χιλιοστού της ακτίνας του πρωτονίου! Σαν να μετράτε την αλλαγή της στάθμης της θάλασσας αν ρίξετε ένα ποτήρι νερό μέσα. Πως θα μετρήσουμε τόσο μικρές μετατοπίσεις;

Θα χρειαστούμε ένα πολύ μεγάλο συμβολόμετρο, με μήκος αρμού της τάξης του χιλιομέτρου!



Ας κάνουμε μια μικρή ανακεφαλαίωση..



Δραστηριότητα 3: Εξερευνώ εικονικά το παρατηρητήριο Virgo

→ Στη δραστηριότητα αυτή εξερευνούμε το παρατηρητήριο Virgo και μαθαίνουμε για τα διάφορα στοιχεία του: <https://virgo360.dfa.unipd.it/>





Ο Ανιχνευτής Βαρυτικών
Κυμάτων Virgo

Ο ανιχνευτής βαρυτικών κυμάτων Virgo

- Ανιχνευτής βασισμένος στην αρχή λειτουργίας του συμβολομέτρου Michelson με μήκος αρμού **3km**.
- Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 2003 και από το 2007 άρχισε να λειτουργεί. Το 2017 αντικαταστάθηκε από τον 10 φορές πιο ευαίσθητο ανιχνευτή advanced Virgo ο οποίος μαζί με τους ανιχνευτές LIGO στις ΗΠΑ ανίχνευσαν απο κοινού την πρώτη συγχώνευση αστέρων νετρονίων τον Αύγουστο του 2017.
- Βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Ευρωπαϊκού Παρατηρητηρίου Βαρύτητας (EGO: www.ego-gw.it) στην Cascina, μερικά χιλιόμετρα έξω από την Πίζα της Ιταλίας. Το EGO είναι κοινοπραξία των εθνικών εργαστηρίων INFN (Ιταλία), CNRS (Γαλλία) και NIKHEF (Ολλανδία).
- Περισσότεροι από 700 επιστήμονες από 129 ινστιτούτα σε 16 χώρες συμμετέχουν (Η Ελλάδα συμμετέχει μέσα από τα Τμήματα Φυσικής του ΑΠΘ και το ΕΚΠΑ).

Virgo

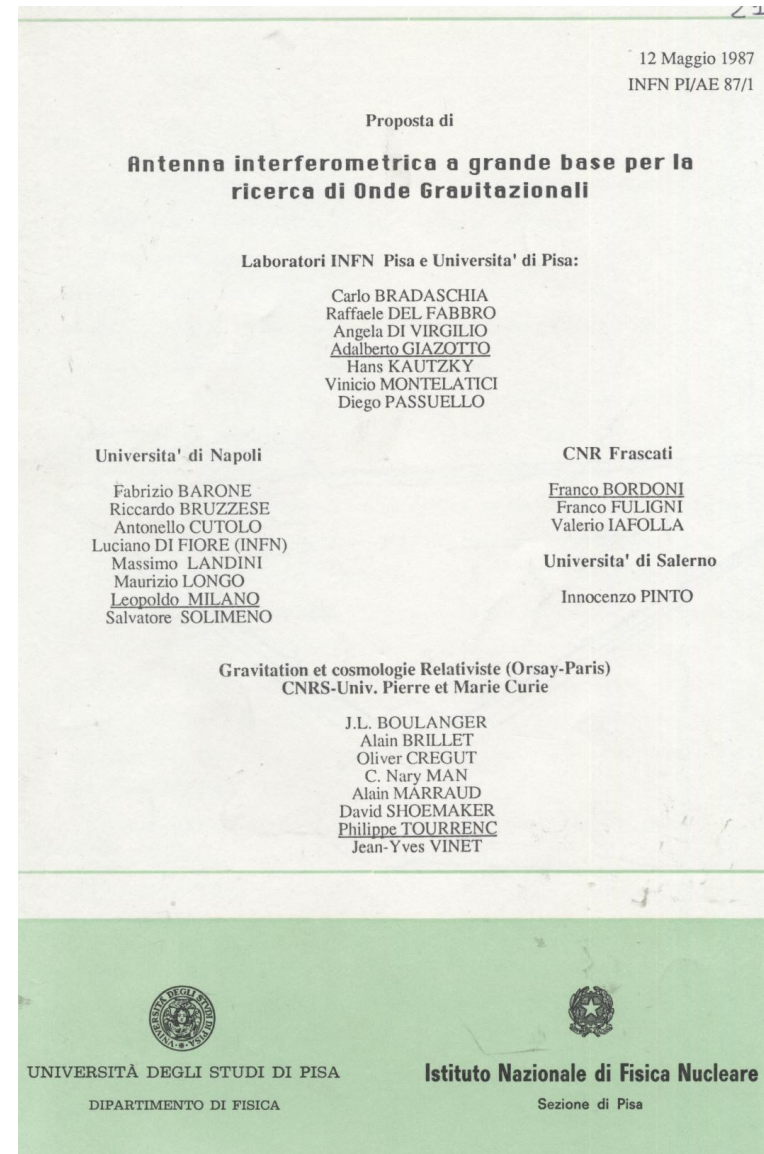
Οι ιδρυτές



A. Giazotto (1940-2017)



A. Brillet (1947-)



Virgo

Λίγη ιστορία..

Έκγριση

conseguenza il presente Accordo sarà modificato tramite una clausola aggiuntiva.

ARTICOLO 14 - CONTROVERSIE

Le Parti risolveranno amichevolmente ogni controversia che potrebbe risultare dalla interpretazione o dalla applicazione del presente Accordo.

ARTICOLO 15 - SCALA DEI TEMPI

La data di acquisizione del sito costituisce il tempo zero della scala dei tempi previsti per la realizzazione del progetto (Allegato B). Nel frattempo la progettazione e la realizzazione di prototipi di sottosistemi nonché altre attività definite dal Consiglio VIRGO, sono o potranno essere condotte senza relazione temporale con l'acquisizione del sito.

ARTICOLO 16 - ENTRATA IN VIGORE

Il presente Accordo entrerà in vigore dopo essere stato approvato dalle Autorità competenti delle Parti.

ARTICOLO 17 - DURATA

A meno che decidano di comune accordo di mettere fine alla loro collaborazione, le Parti si impegnano a parlarla avanti, oltre alla fase di costruzione, per una durata minima di gestione di cinque anni, conformemente a quanto previsto dall'articolo 1. del presente Accordo.

ARTICOLO 18 - DISPOSIZIONI FINALI

Il presente Accordo é redatto in quattro esemplari originali, due in versione francese e due in versione italiana, entrambe facenti ugualmente fede.

Paris, le 27 Juin 1994

Per il CNRS

François KOURILSKY
Direttore Generale

Per l'INFN

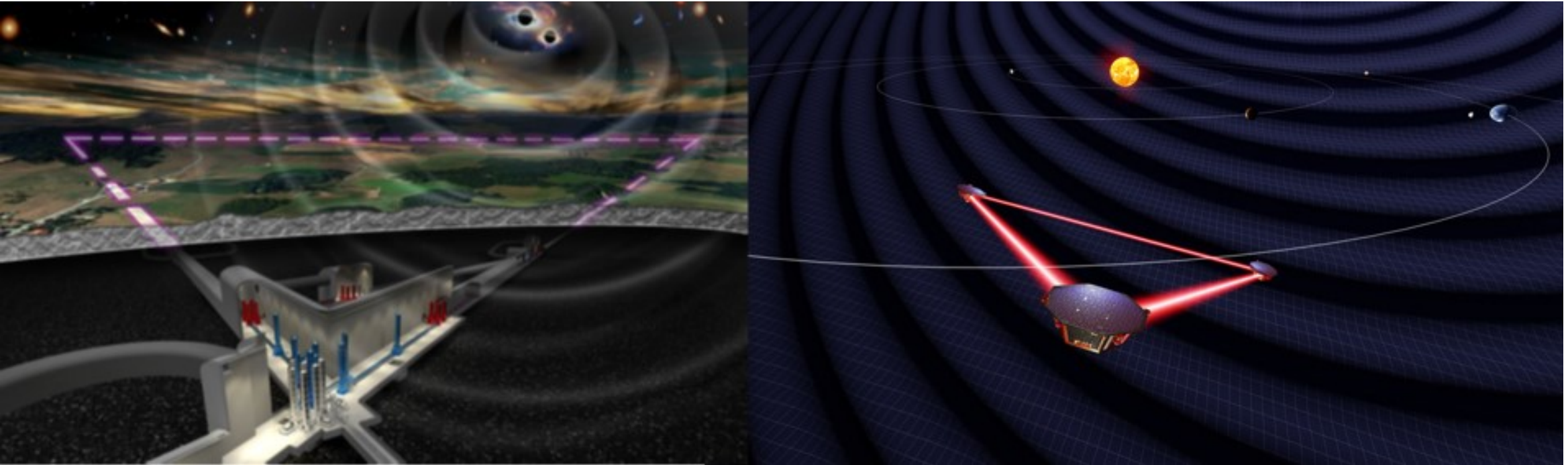
Prof. Luciano MAIANI
Presidente

Εγκαίνια

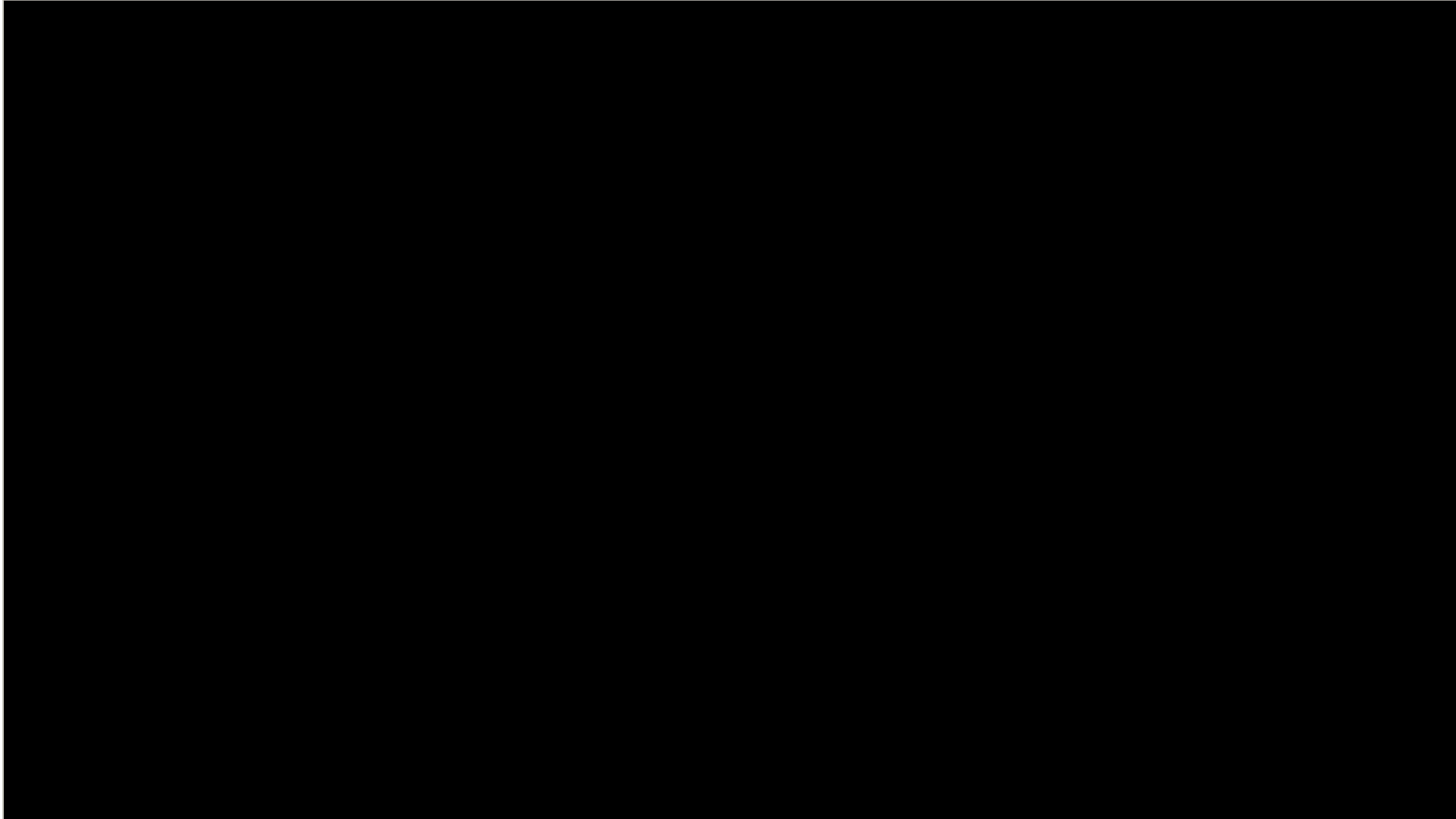


July 23rd, 2003

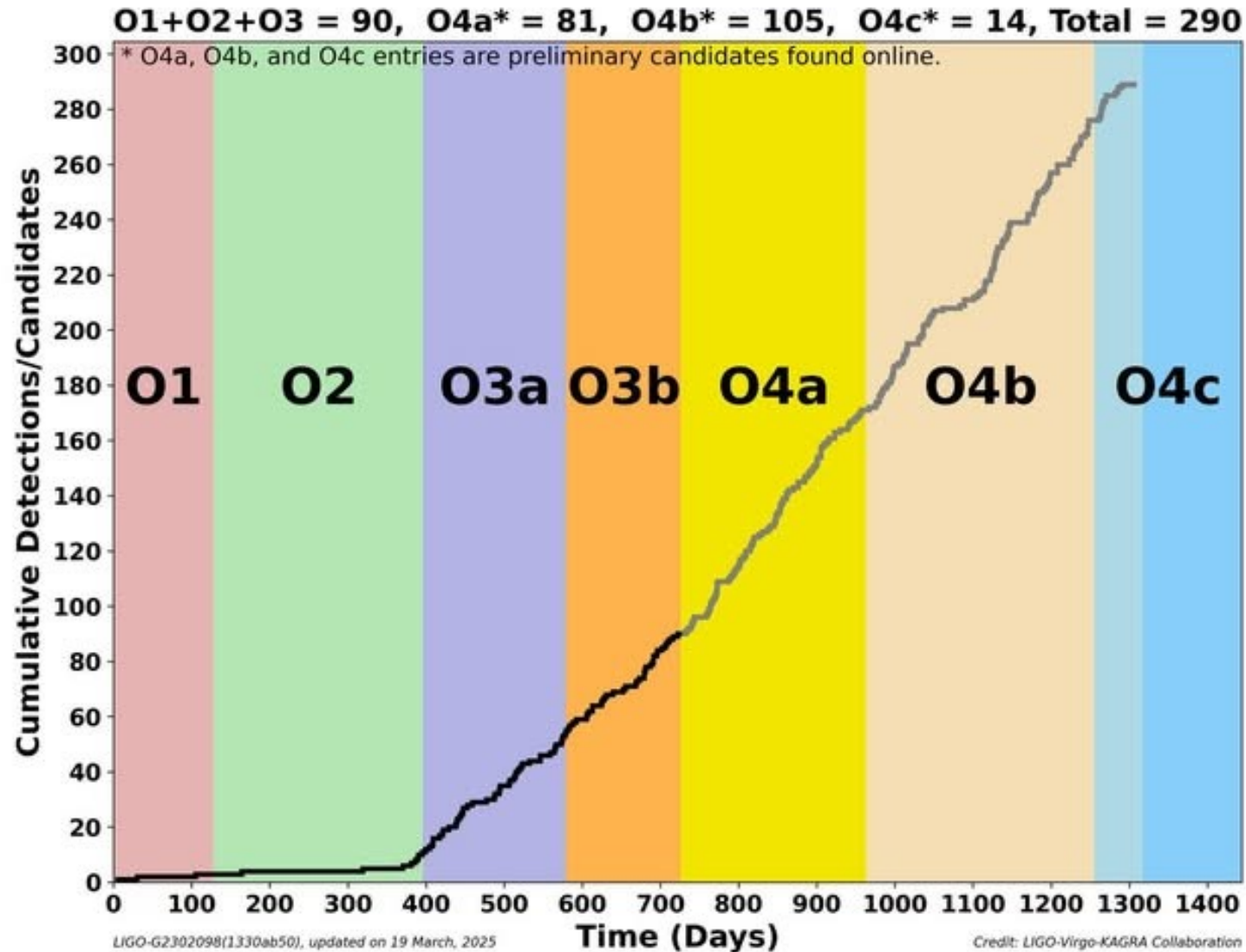
Οι έως τώρα ανακαλύψεις και
τι μας επιφυλάσσει το μέλλον!

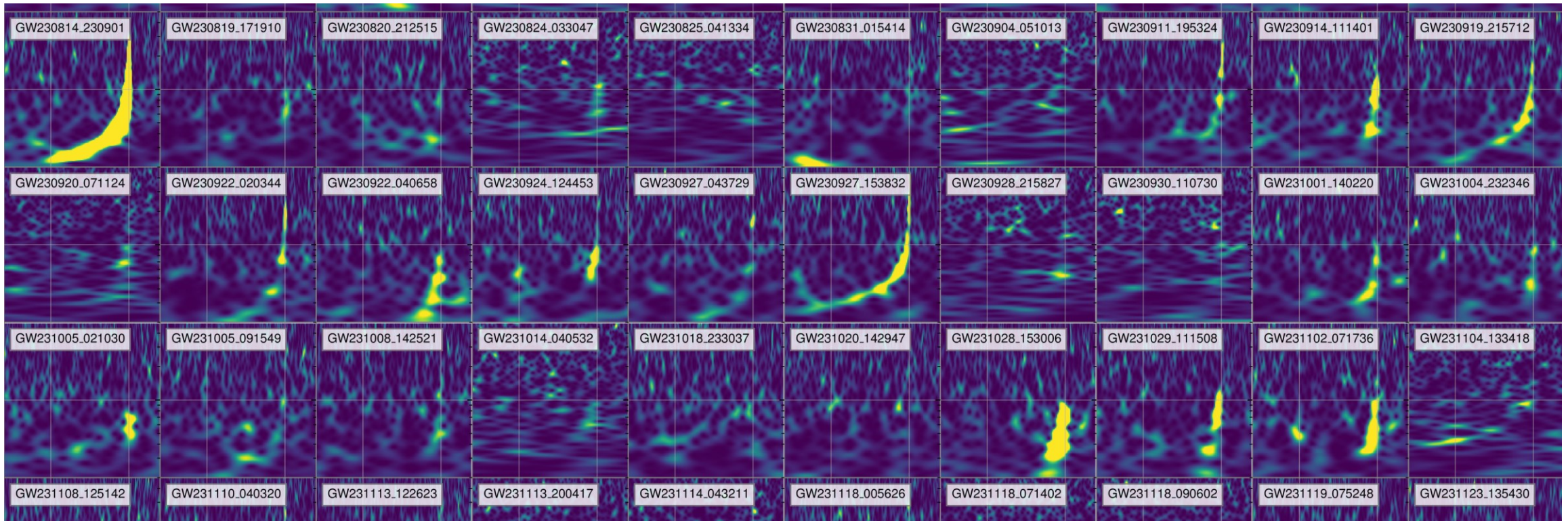


Η γέννηση της πολυμηθυματικής Αστρονομίας
17 Αυγούστου 2017 στις 14:41:04

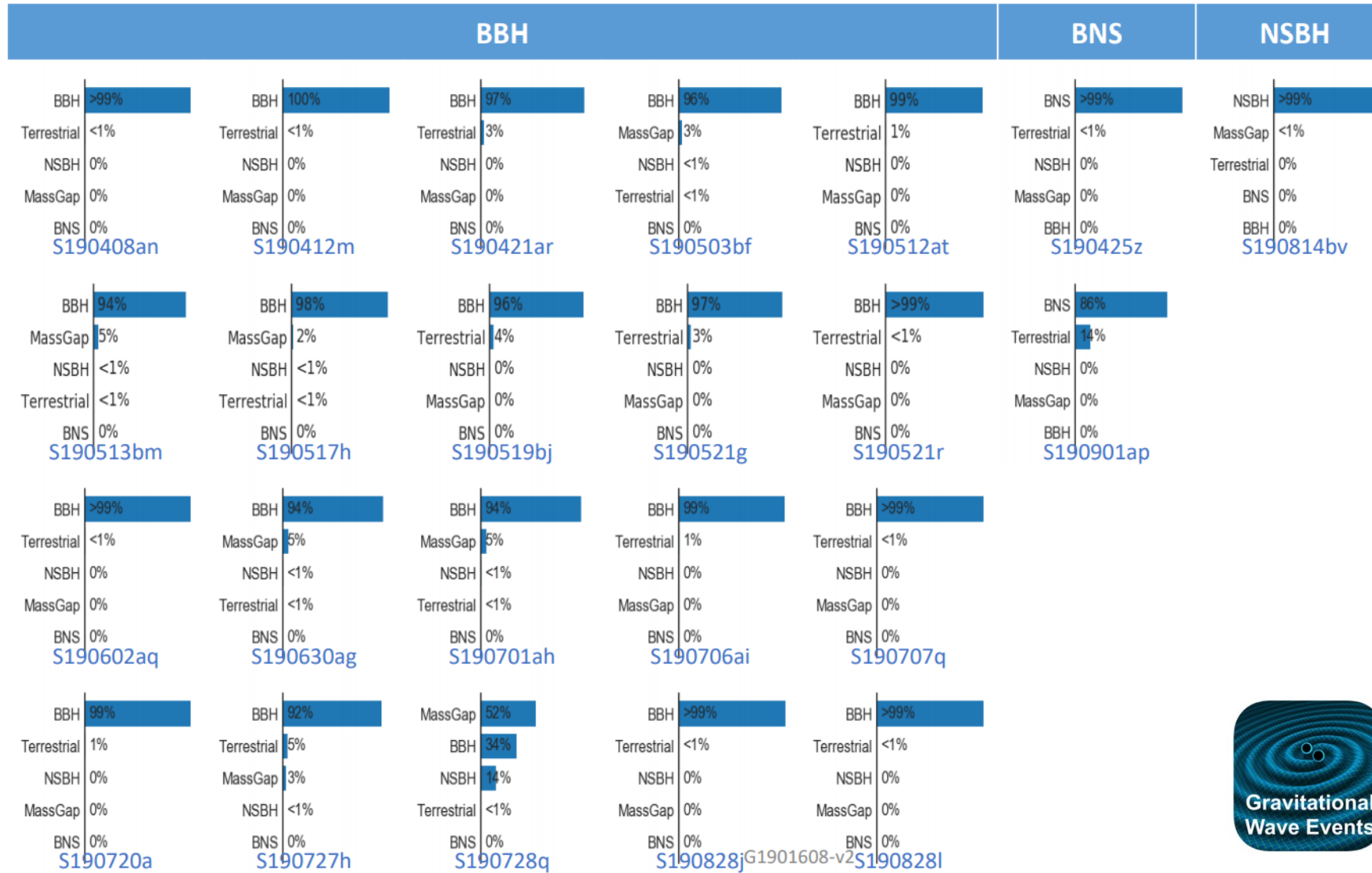


Υποψήφια γεγονότα των LIGO- Virgo





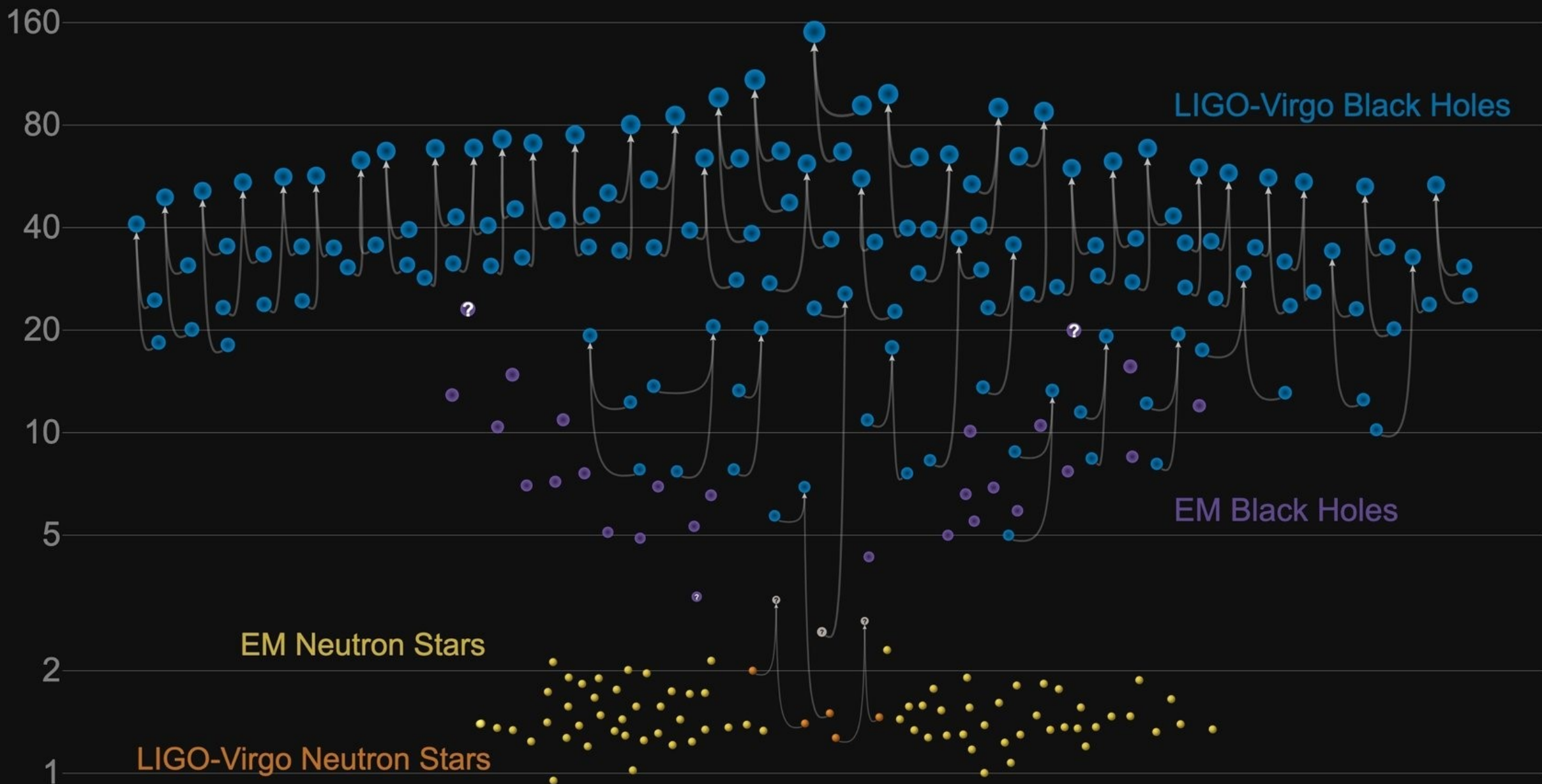
Ο3: Περισσότερα από 1 γεγονότα ανα εβδομάδα



<https://gracedb.ligo.org/latest/>

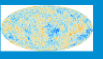





Masses in the Stellar Graveyard

in Solar Masses



Συγκρούσεις Αστέρων Νετρονίων: Τα χρυσορυχεία του σύμπαντος

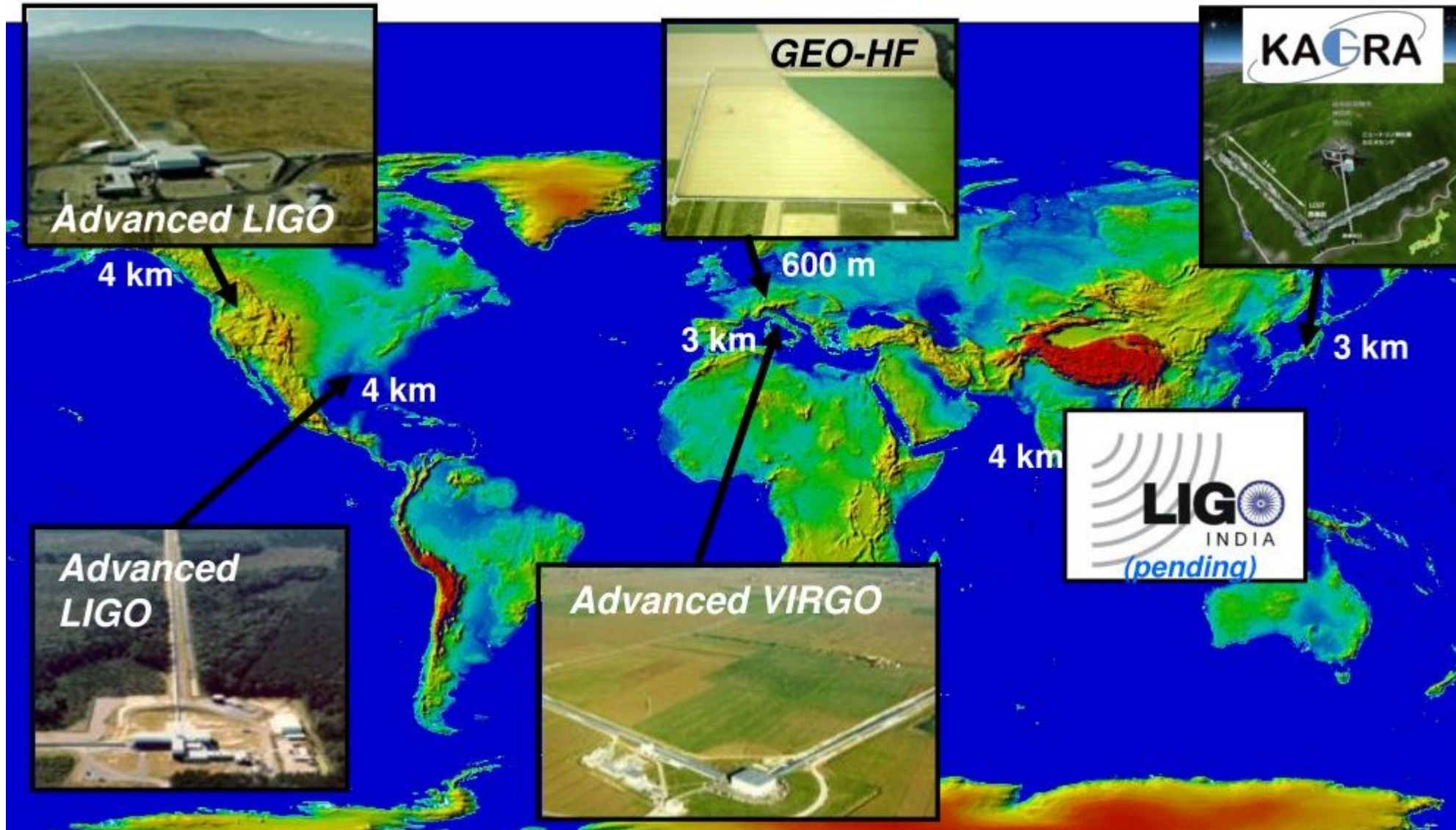
The Origin of the Solar System Elements

1 H	big bang fusion 										cosmic ray fission 					2 He						
3 Li	4 Be	merging neutron stars? 										exploding massive stars 					5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	dying low mass stars 										exploding white dwarfs 					13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr					
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe					
55 Cs	56 Ba	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra																					
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu						
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu															

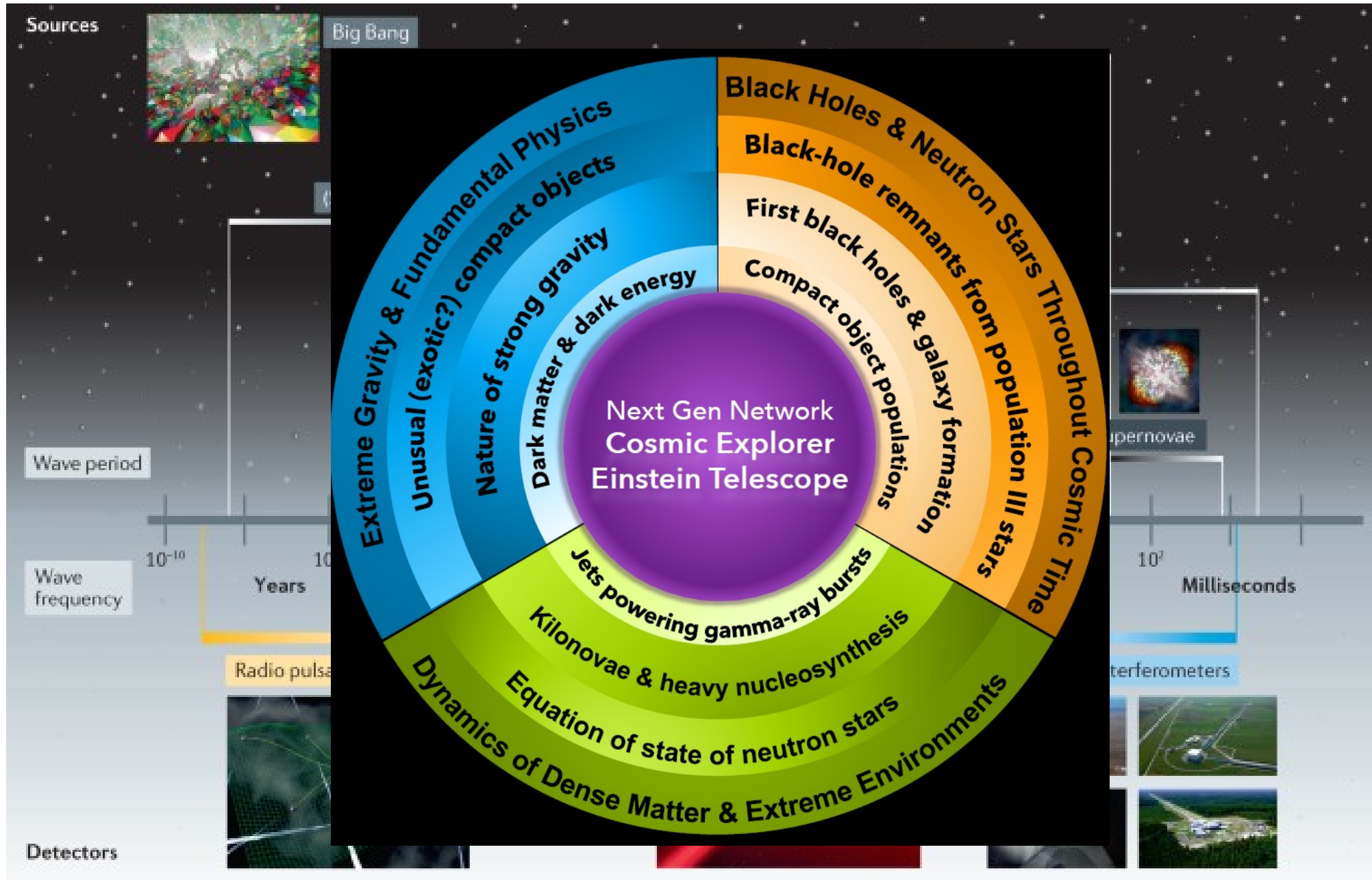
Graphic created by Jennifer Johnson
<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~jaj/nucleo/>

Astronomical Image Credits:
 ESA/NASA/AASNova

Το Δίκτυο ανιχνευτών Βαρυτικών Κυμάτων



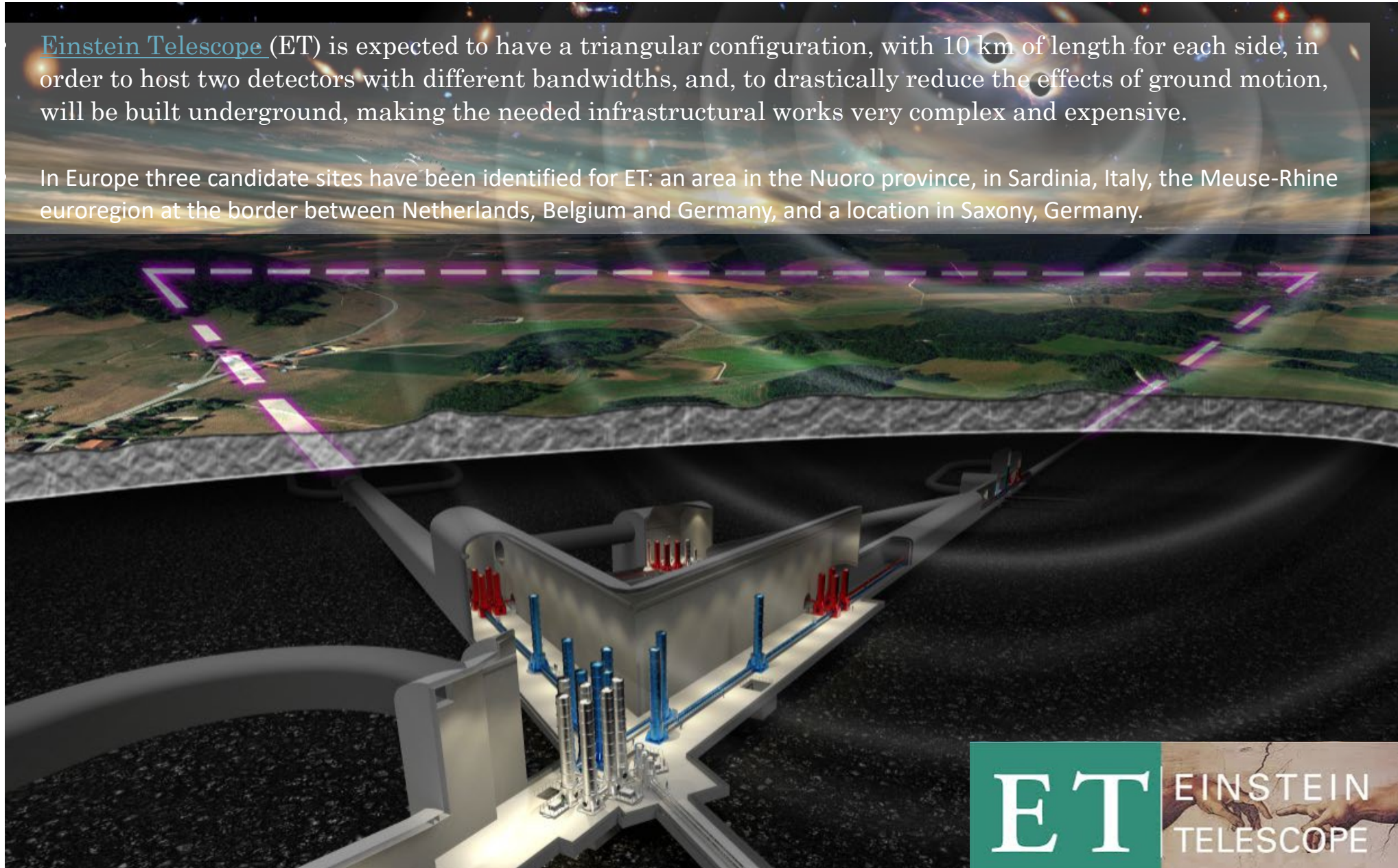
Με το βλέμμα στο μέλλον



Einstein Telescope

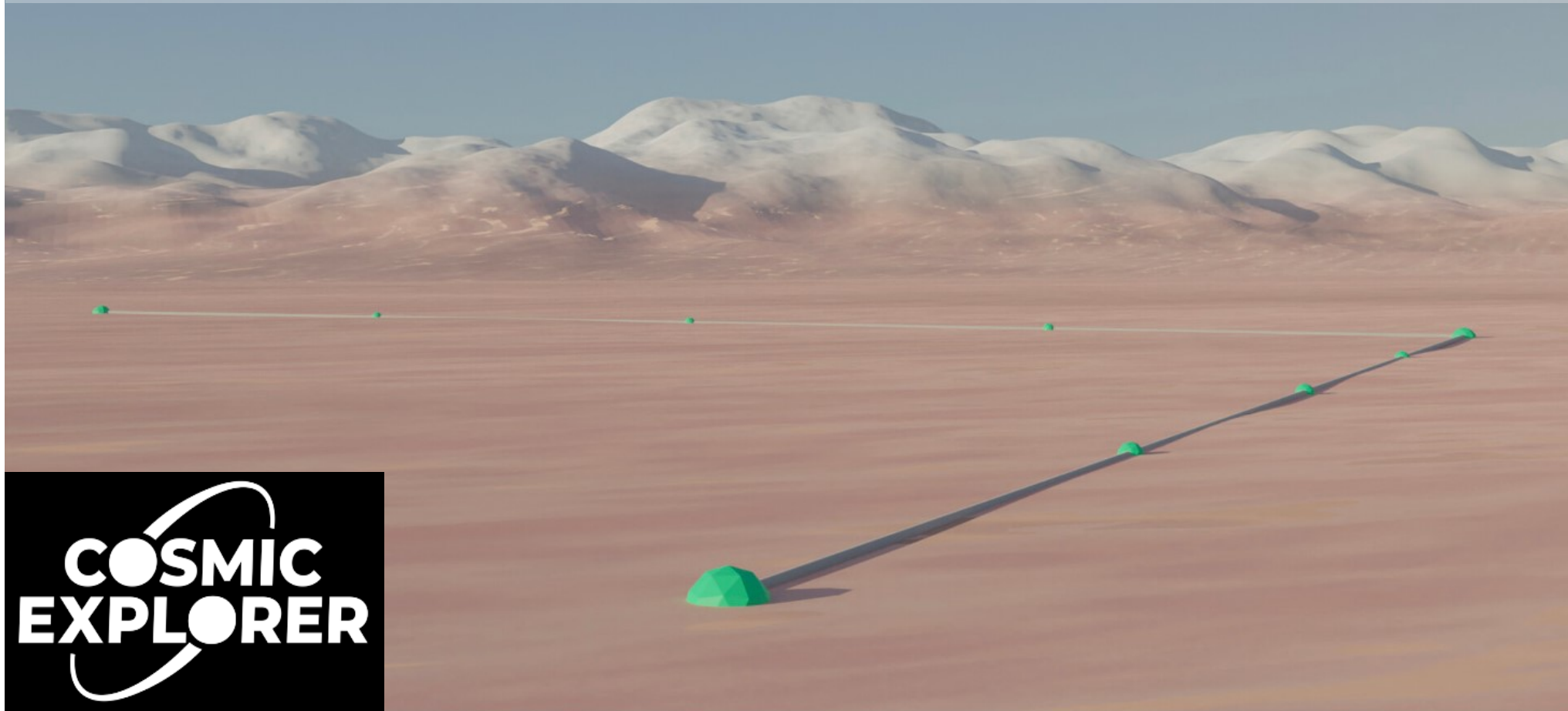
[Einstein Telescope](#) (ET) is expected to have a triangular configuration, with 10 km of length for each side, in order to host two detectors with different bandwidths, and, to drastically reduce the effects of ground motion, will be built underground, making the needed infrastructural works very complex and expensive.

In Europe three candidate sites have been identified for ET: an area in the Nuoro province, in Sardinia, Italy, the Meuse-Rhine euroregion at the border between Netherlands, Belgium and Germany, and a location in Saxony, Germany.



Cosmic Explorer

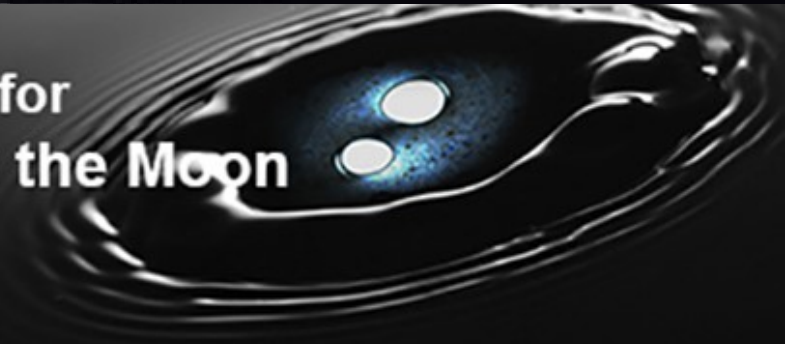
- A next-generation US-led gravitational-wave observatory project: <https://cosmicexplorer.org/>
- 40 km and 20 km L-shaped surface observatories
- 10x sensitivity of today's observatories (Advanced LIGO+)
- Under development, anticipated to begin operations in the 2030s
- Will observe most black holes and neutron star collisions in the universe, including to (and possibly before) times when the first stars formed



Πέρα από τη Γη:



**1st International Workshop for
Gravitational Wave detection on the Moon**



**14-15 October, 2021
Cascina, Italy**



Εξερευνώ στο σπίτι

- Δοκιμάστε να σκανάρετε με την επιλογή Scan QR τους παρακάτω συνδέσμους που σας οδηγούν σε βίντεο και πληροφορίες για να μελετήσετε με την ησυχία σας στο σπίτι αν θέλετε.



Εκπαιδευτικές δραστηριότητες



Τα βαρυτικά κύματα και η ανίχνευσή τους



Αίστάν και Βαρύτητα



Τι μας επιφυλάσσει το μέλλον;

Σας ευχαριστούμε πολύ!

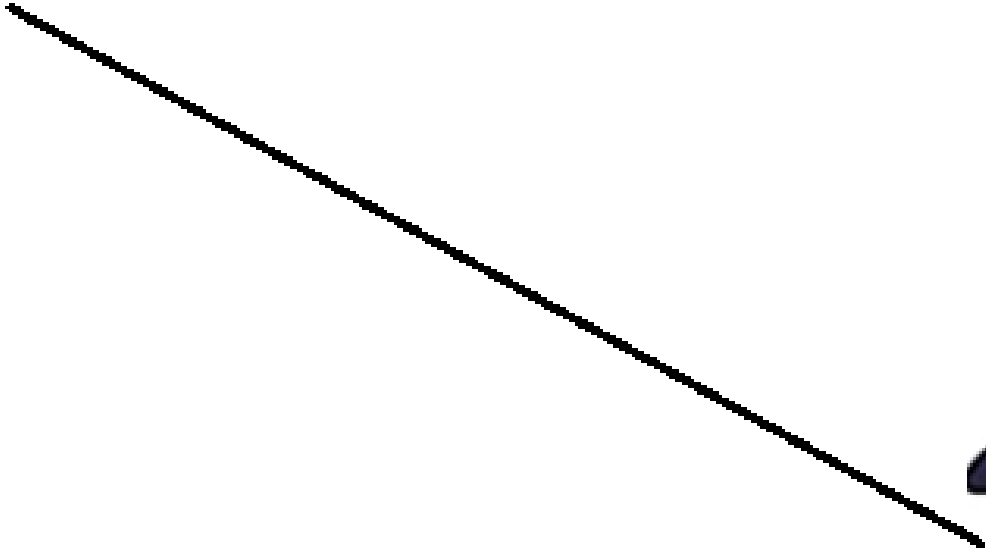
- Επικοινωνία: echaniot@ea.gr
- PICO project: <https://picoproject.gr/>
- Virgo and EGO websites:
<https://www.virgo-gw.eu> | www.ego-gw.it

Παράρτημα: Θόρυβος!

Παρομοιάστε για λίγο τον ανιχνευτή σαν ένα πολύ ευαίσθητο αυτί



Όπως ένα αυτί, όσο πιο ευαίσθητο είναι τόσο πιο αμυδρούς ήχους μπορεί να ακούσει, έτσι και ο ανιχνευτής βαρυτικών κυμάτων: Όσο πιο ευαίσθητος είναι τόσο πιο ασθενή **σήματα** μπορεί να μετρήσει και άρα να δει πιο μακριά στο σύμπαν!

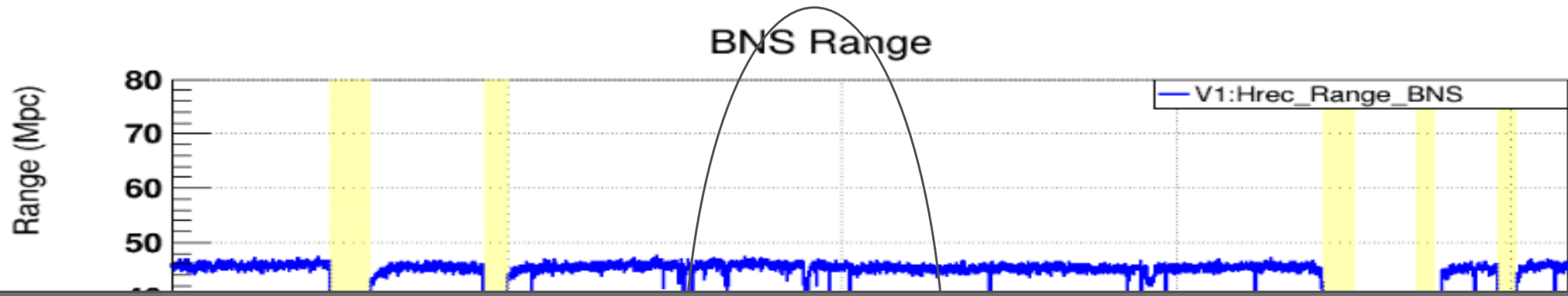


Θόρυβος!

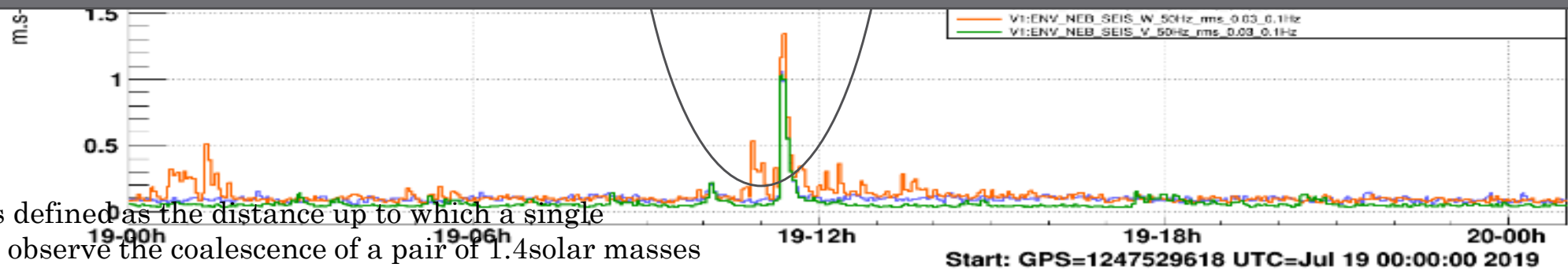


How far in the
can the detector “hear”

Παράδειγμα: Σεισμοί και βαρυτικά κύματα



Λόγω του σεισμού στη Μαγούλα το 2019, ο ορίζοντας του Virgo έπεσε κατά παράγοντα 3!



* BNS range is defined as the distance up to which a single detector could observe the coalescence of a pair of 1.4 solar masses neutron stars with signal to noise ratio of 8.

Πηγές θορύβου



Πηγές θορύβου

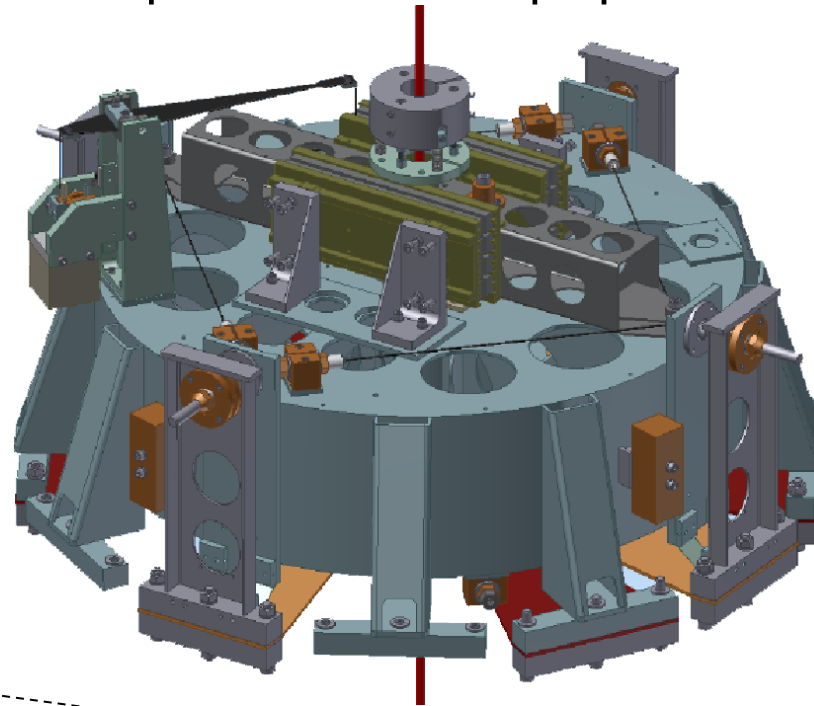
Θέλουμε να ανιχνεύσουμε μετατοπίσεις της τάξης του 10^{-18} m (Πολύ δύσκολο)

Τεχνολογικές καινοτομίες αιχμής έχουν αναπτυχθεί στο Virgo για να αντιμετωπιστεί ο θόρυβος που μπορεί να «καλύψει» τα ασθενή σήματα από τα βαρυτικά κύματα:

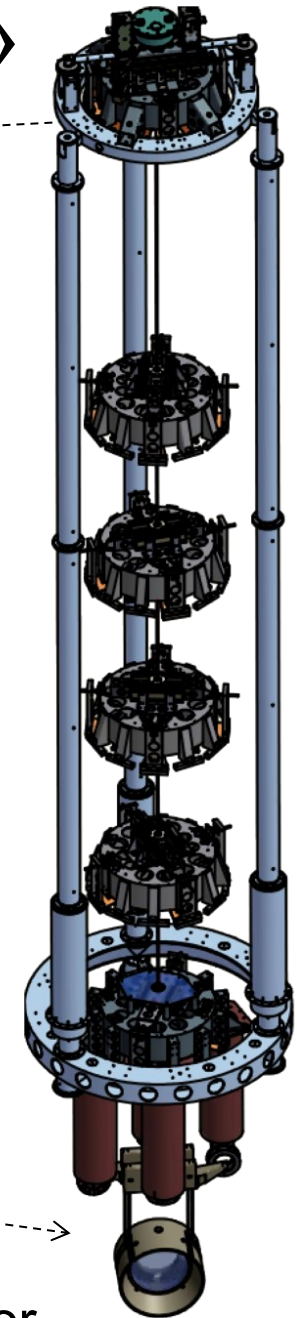
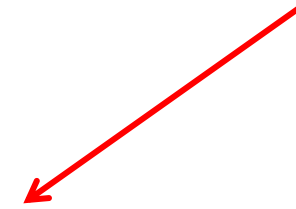
<i>Πρόβλημα</i>	<i>Λύση</i>
Seismic vibrations	The superattenuator $\times 10^{-12}$
Pressure fluctuations	Ultra high-vacuum $P = 10^{-12}$ bar
Laser	$\nu = 10^{15}$ Hz $\Delta\nu = 10^{-6}$ Hz
Mirrors	Surface roughness 10^{-8} m
Thermal Noise	Monolithic suspensions, cryogenic temperatures

Κρατώντας τη διάταξή μας «ακίνητη»

Εξασθενώντας τη σεισμική κίνηση των
καθρεπτών κατά παράγοντα 10^{12}

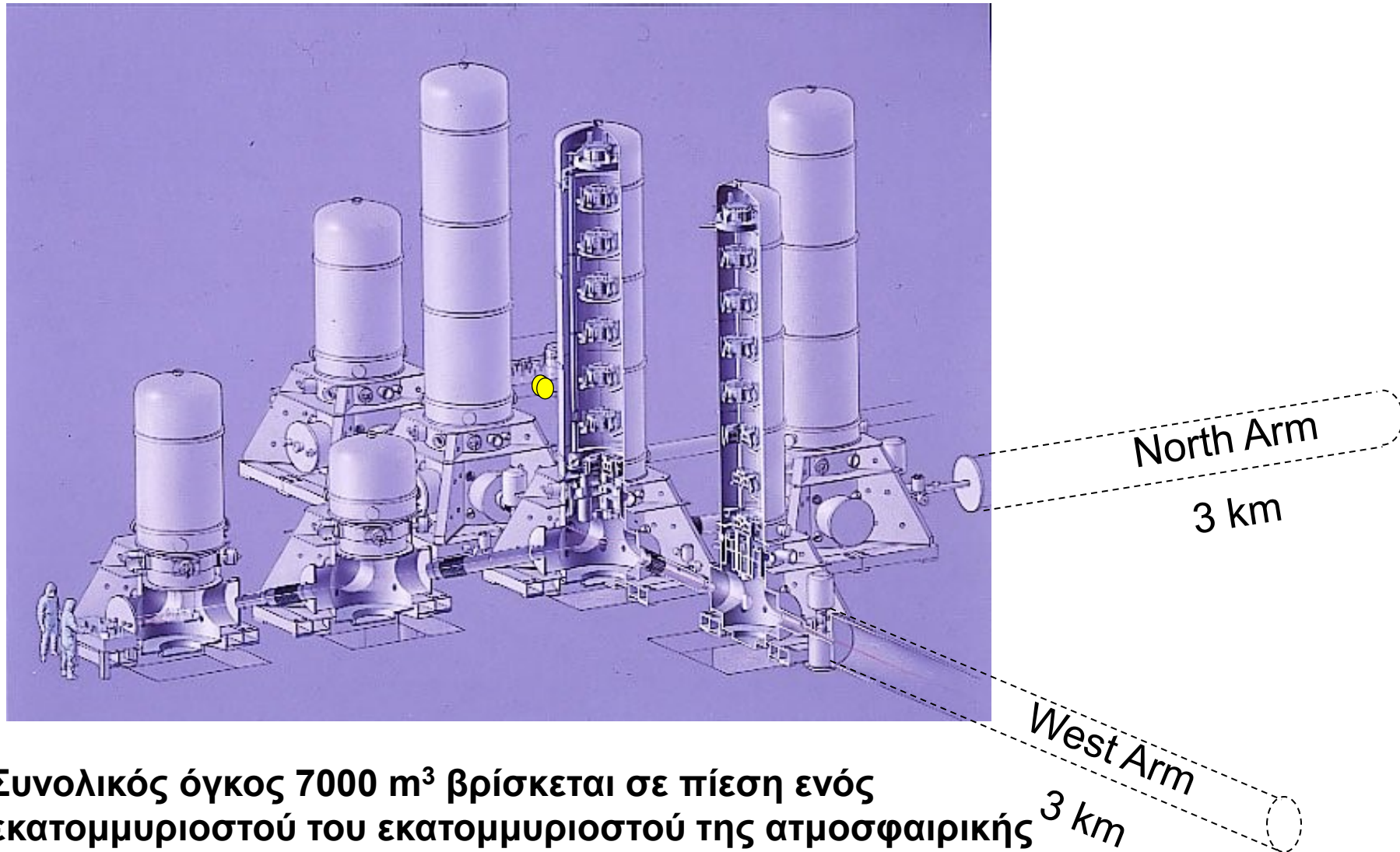


Standard filter



Suspended mirror

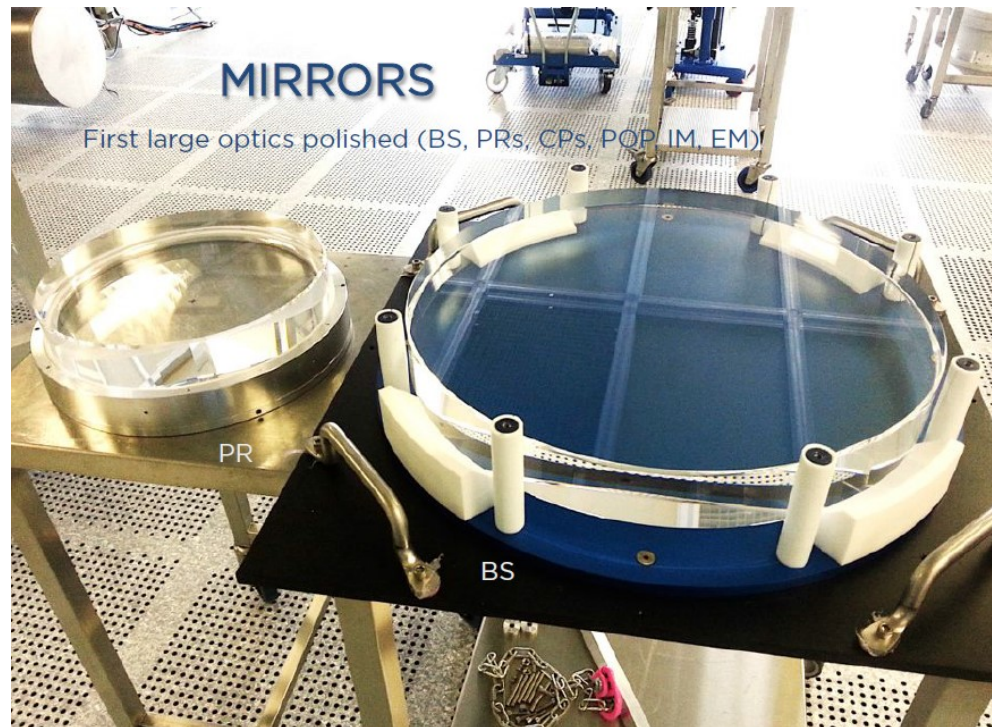
Αντιμετωπίζοντας τις μεταβολές πίεσης στον σωλήνα μας: Το σύστημα κενού του Virgo



Συνολικός όγκος 7000 m³ βρίσκεται σε πίεση ενός εκατομμυριοστού του εκατομμυριοστού της ατμοσφαιρικής πίεσης: το σύστημα με το υψηλότερο κενό στην Ευρώπη (10⁻⁷ bar)

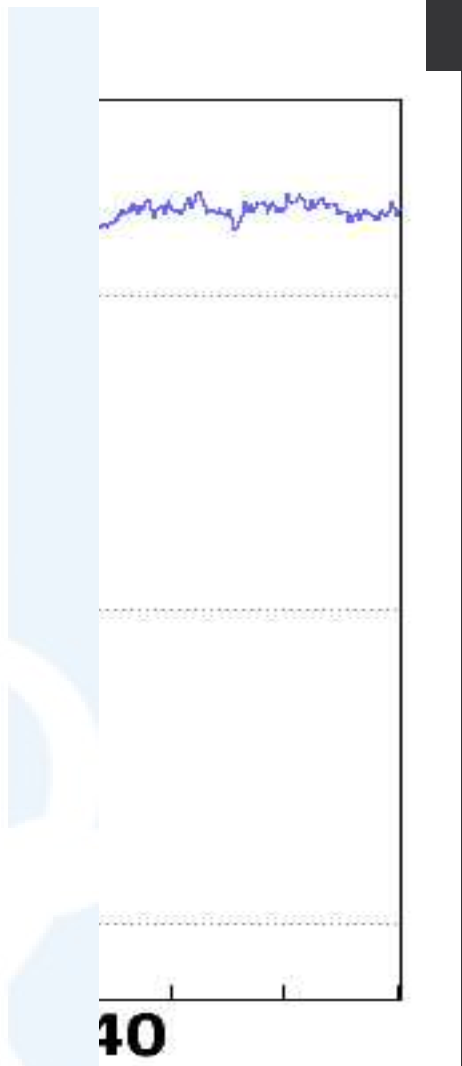
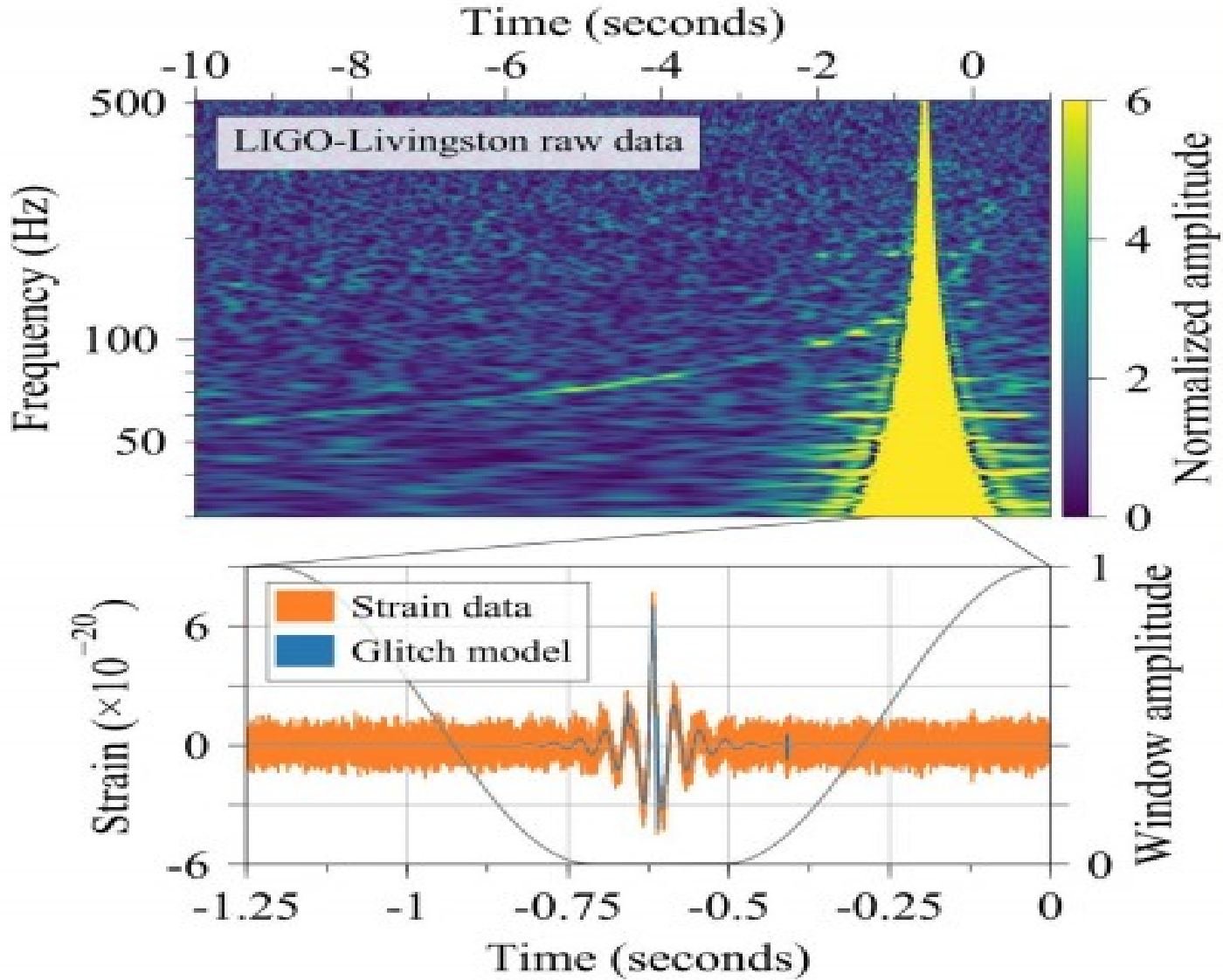
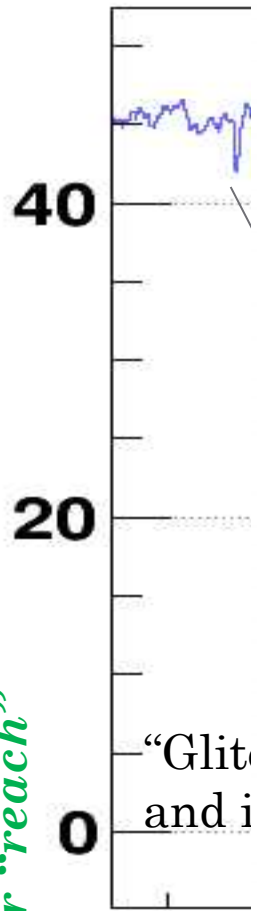
Οι καθρέπτες του Virgo

- **Καθρέπτες** φτιαγμένοι από SiO_2 , με διάμετρο **350 mm**, πάχος **200 mm** ανομοιογένειες στην επιφάνεια **$< 10^{-8} \text{ m}$** .
- **Μονολιθικές εναιωρήσεις:** φτιαγμένες με πολύ λεπτές ίνες SiO_2 (διαμέτρου **400 μm**) για να κρατήσουν καθρέπτες μάζας **42 kg**.

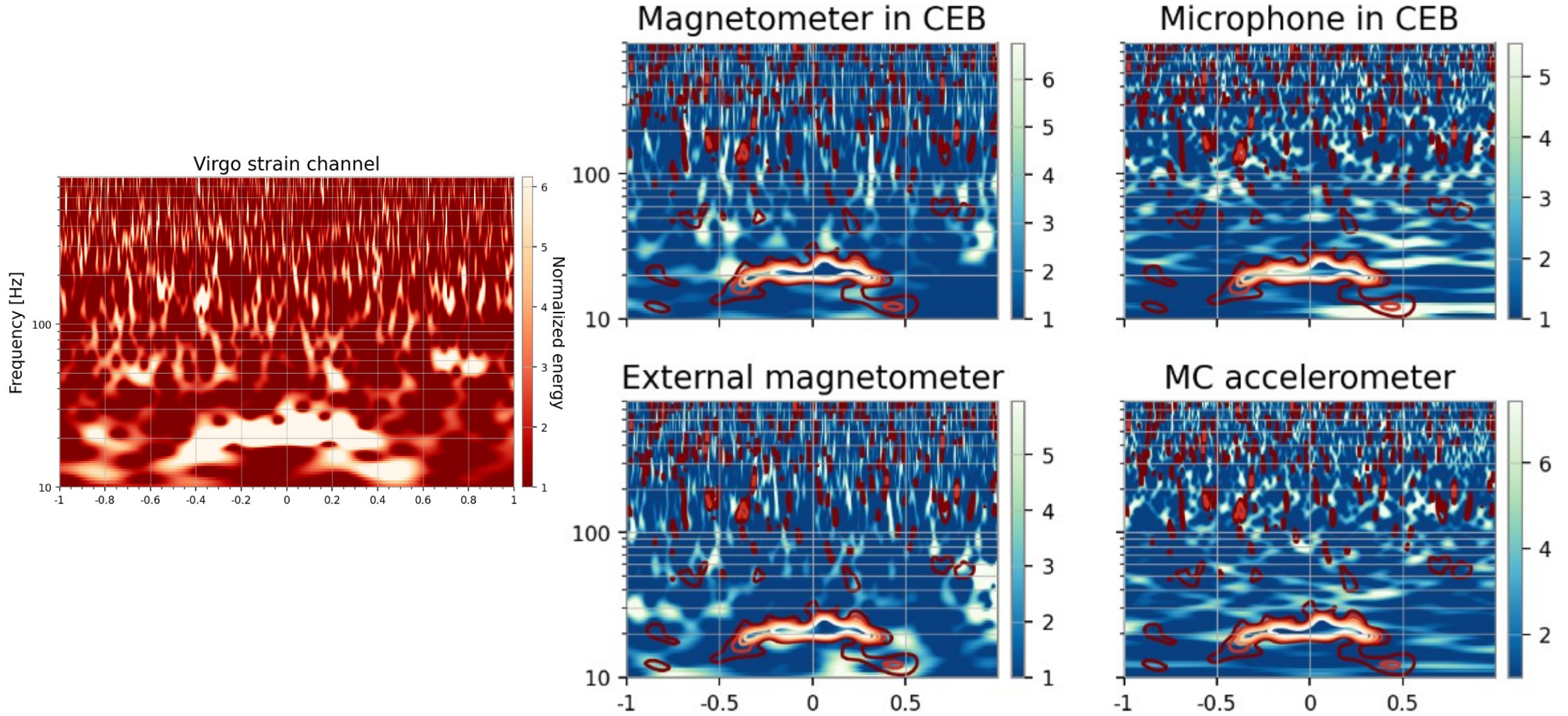


Mpc

How far in the Universe can a Gravitational Wave Detector "reach"



Glitch in LIGO L1 detector during GW170817
Abbott et al 2017




Εντοπίζουμε και ταυτοποιούμε μαζί τις πηγές θορύβου που παρεισφύουν στον ανιχνευτή Virgo

Ἐρθε ἡ ὥρα νὰ δούμε πὼς μπορούμε κὶ
εμεῖς νὰ βοηθήσουμε τοὺς ερευνητές

Πως μπορω να βοηθησω τους ερευνητες στο Virgo να βελτιστοποιησουν τον ανιχνευτη τους; GWitchHunters

<https://www.zooniverse.org/projects/reinforce/gwitchhunters/>



GWitchHunters 

Language English 

[ABOUT](#) [CLASSIFY](#) [TALK](#) [COLLECT](#)

We'd love to find out about your experience on this project. Please take 5 minutes to fill in this anonymous survey <https://survey3.zsi.at/index.php/474782?lang=en>

**Help us to improve our
Gravitational Wave detectors and
unlock the secrets of the Universe!**

[Learn more](#)