

Δύο Συνταρακτικές Ανακαλύψεις στα Όρια των Διαστάσεων του Χώρου

Απόστολος Δ. Παναγιώτου
Ομότιμος Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
Επιστημονικός Συνεργάτης στο CERN

Σώμα Ομοτίμων Καθηγητών Πανεπιστημίου Αθηνών
6 Φεβρουαρίου, 2017

FROM INFINITY TO INFINITY

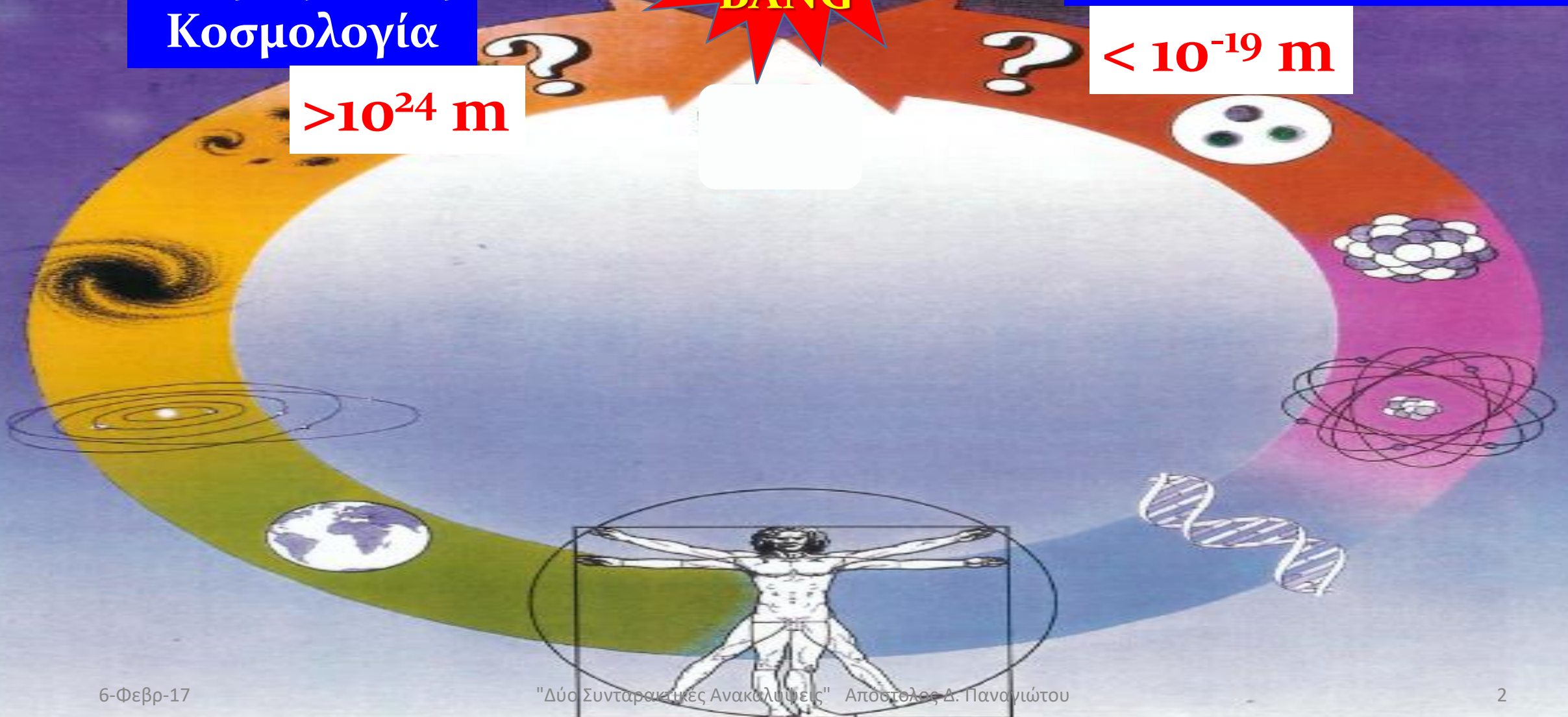
Αστρονομία
Αstroφυσική
Κοσμολογία

$>10^{24} \text{ m}$

**BIG
BANG**

Σωματιδιακή Φυσική
Πυρηνική Φυσική

$< 10^{-19} \text{ m}$



Information Management: March 1989
A Proposal

www.

CERN

The world's largest physics laboratory,
where the World Wide Web was born...

Particle Accelerator
(underground)

... 5 minutes from here!

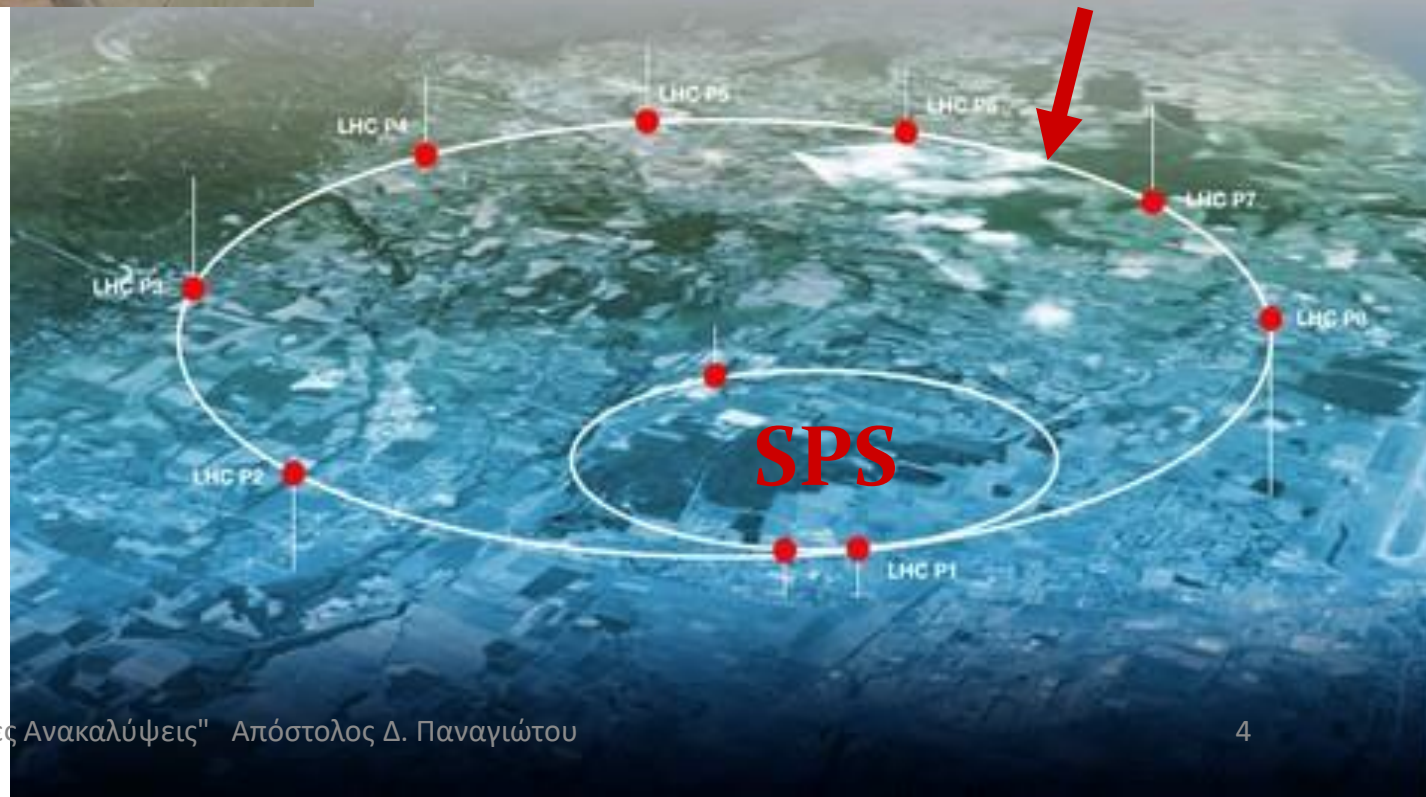
Επιταχυντής Συγκρουομένων Αδρονίων

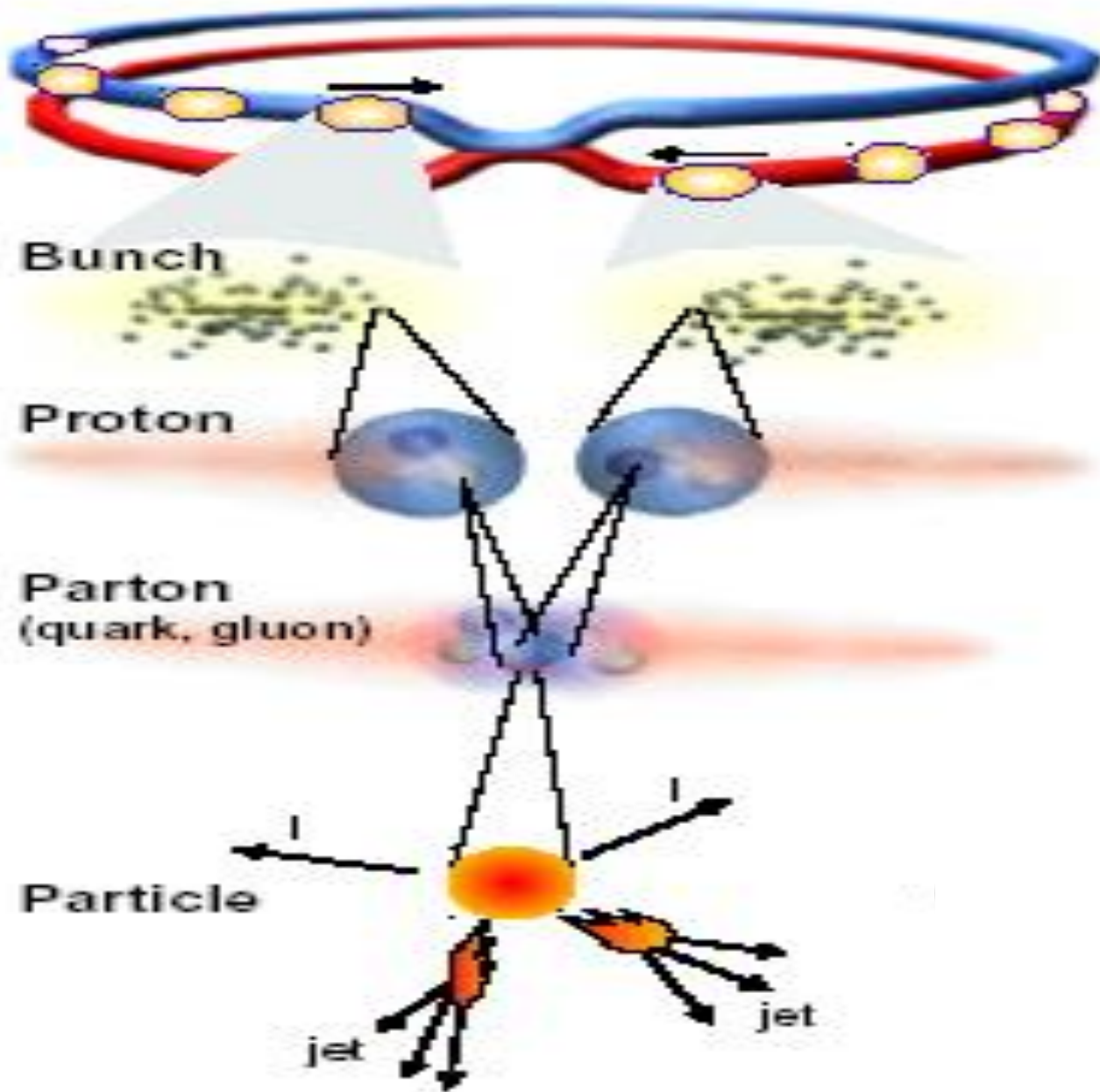
Large Hadron Collider

LHC

Ο επιταχυντής **LHC** έχει
περίμετρο **27 km**. Τα σωματίδια,
που κινούνται με σχεδόν την
ταχύτητα του φωτός, εκτελούν
περισσότερες από **11.000**
περιστροφές το δευτερόλεπτο !

$$27 \times 11.000 = 297.000 \text{ km/sec}$$



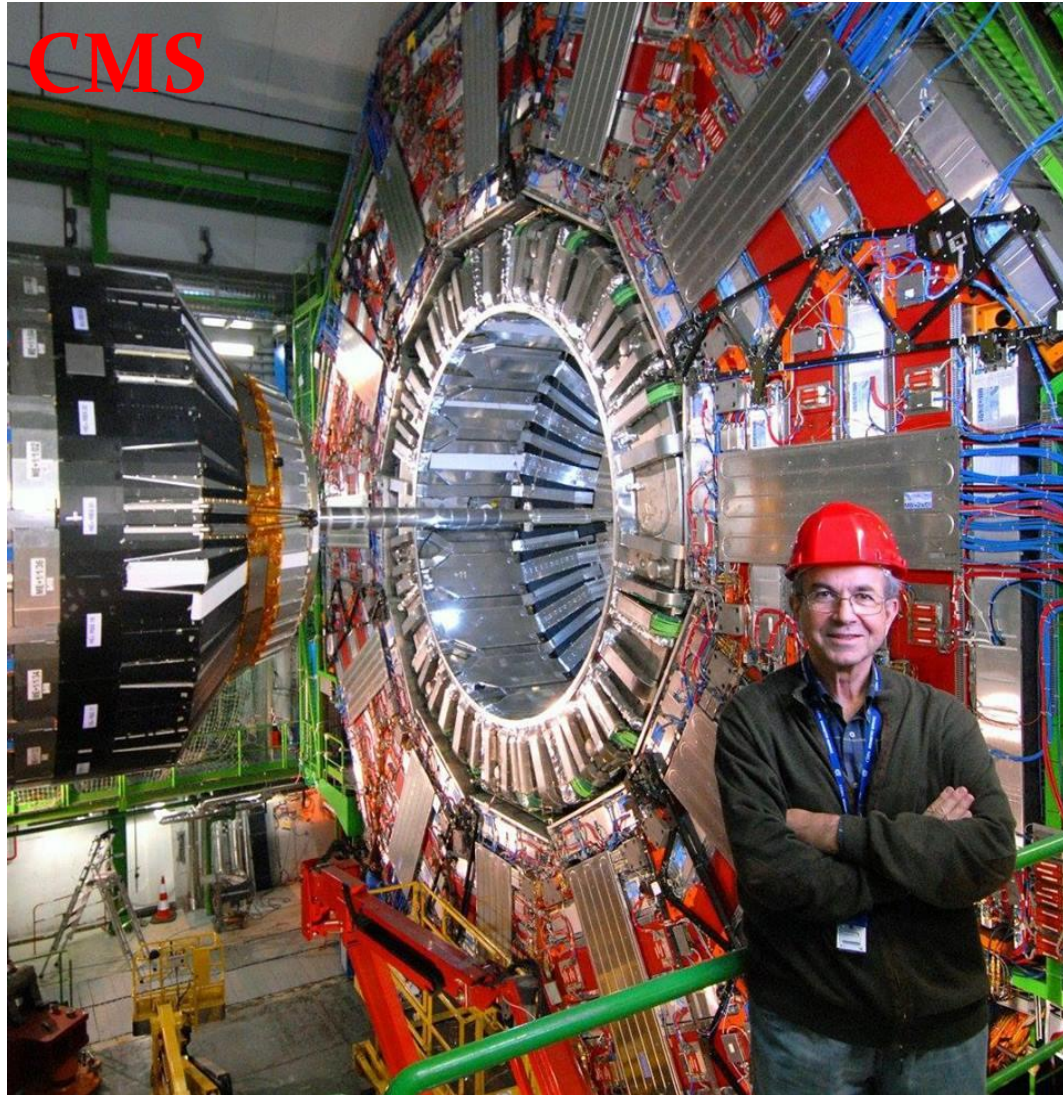


Proton-Proton	(2835 x 2835 bunches)
Protons/bunch	10^{11}
Beam energy	7 TeV (7×10^{12} eV)

Crossing rate 40.000.000 /sec

Collisions $\approx 10^7 - 10^9$ /sec

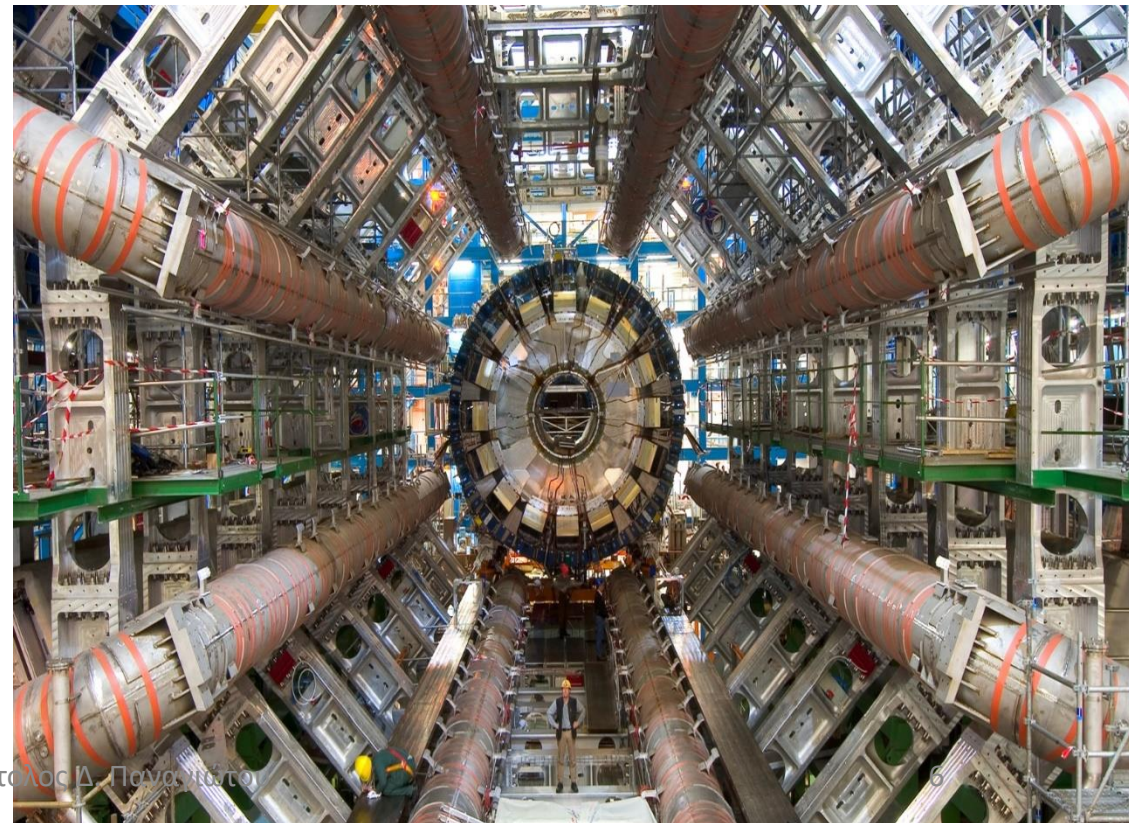
Επιλογή: 1 σε 10.000.000.000.000 (10^{13})



CMS

Οι ανιχνευτές του LHC
έχουν μέγεθος όσο ένα
4 - όροφο κτίριο !.

ATLAS



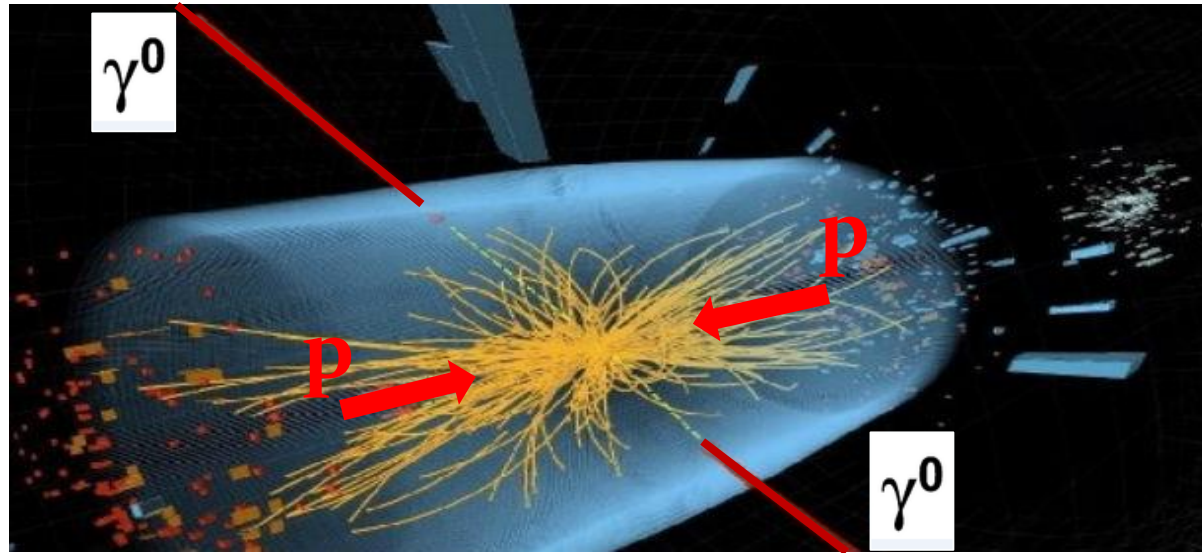
Μία 14.000 τόνων 3D camera με 75
megapixels που παίρνει 40 εκατομμύρια
φωτογραφίες το δευτερόλεπτο!!!

6-Φεβρ-17

"Δύο Συνταρακτικές Ανακαλύψεις" Απόστολος Δ. Παναγιώτης

1^η Ανακάλυψη

$$p_{\text{proton}} + p_{\text{proton}} \rightarrow H^0 \rightarrow \gamma_{\text{photon}} + \gamma_{\text{photon}}$$



Σωματίο Higgs, H^0

CERN - 2012

Προβλέψεις Καθιερωμένου Μοντέλου

(6) Λεπτόνια

(6) Κουάρκ

12

Στοιχειώδη
Σωματίδια

(fermions, spin 1/2)

e 0.511 MeV	ν_e < 0.000003	d 7	u 3
μ 106	ν_μ < 0.2	s 120	c 1200
τ 1777	ν_τ < 20	b 4300	t 175,000
-1	0	-1/3	2/3

Συστατικά
ύλης

Μάζα(MeV)

Ηλεκτρικό Φορτίο

φορείς
Δυνάμεων

(bosons, spin 1)

γ 0	photon
g 0	gluon (8 "colors")
$W^\pm$ 80,420	Z^0 91,188

Ηλεκτρομαγνητική Δύναμη

Ισχυρή Πυρηνική Δύναμη

Ασθενής Πυρηνική Δύναμη

Τι είναι αυτό που δίνει (διαφορετική) Μάζα στα Στοιχειώδη Σωματία;



“Πεδίο
Χιγκς”

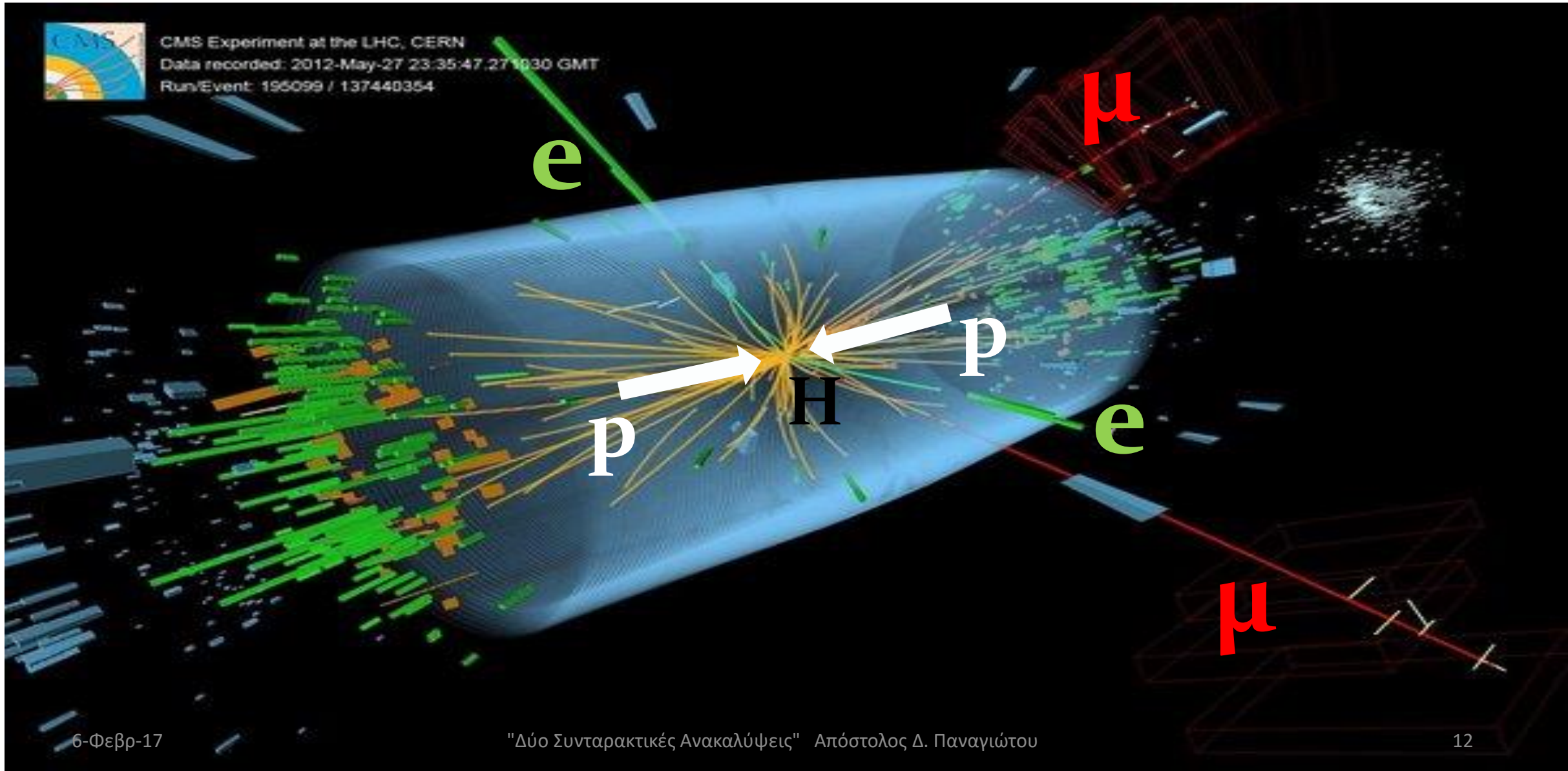
□ Τι είναι το “πεδίο” και το “μποζόνιο” Χιγκς;

- Το **πεδίο Χιγκς** είναι ένα αόρατο ενεργειακό πεδίο, που απλώνεται σε ολόκληρο το Σύμπαν.
- Το **μποζόνιο Χιγκς** είναι το (εικονικό) σωματίδιο – φορέας του πεδίου Χιγκς.
- Αμέσως μετά τη “Μεγάλη Έκρηξη”, τα στοιχειώδη σωματρία (**κουάρκ και λεπτόνια**) δεν είχαν μάζα. Την απέκτησαν χάρη σε αυτό το πεδίο.
- Όποιο σωματίδιο αλληλεπιδρά με το πεδίο Χιγκς, μέσω των σωματιδίων Χιγκς, αποκτά μάζα. Η αλληλεπίδραση δεν είναι η ίδια για όλα τα σωματίδια:
 - Φωτόνια, γλουόνια δεν αλληλοεπιδρούν, έχουν μάζα μηδέν
 - Κουάρκ, λεπτόνια αλληλοεπιδρούν, έχουν συγκεκριμένη μάζα
- Η ύπαρξη του σωματιδίου, και επομένως του πεδίου Χιγκς, είναι καθοριστική για να κατανοήσουμε την προέλευση της μάζας.

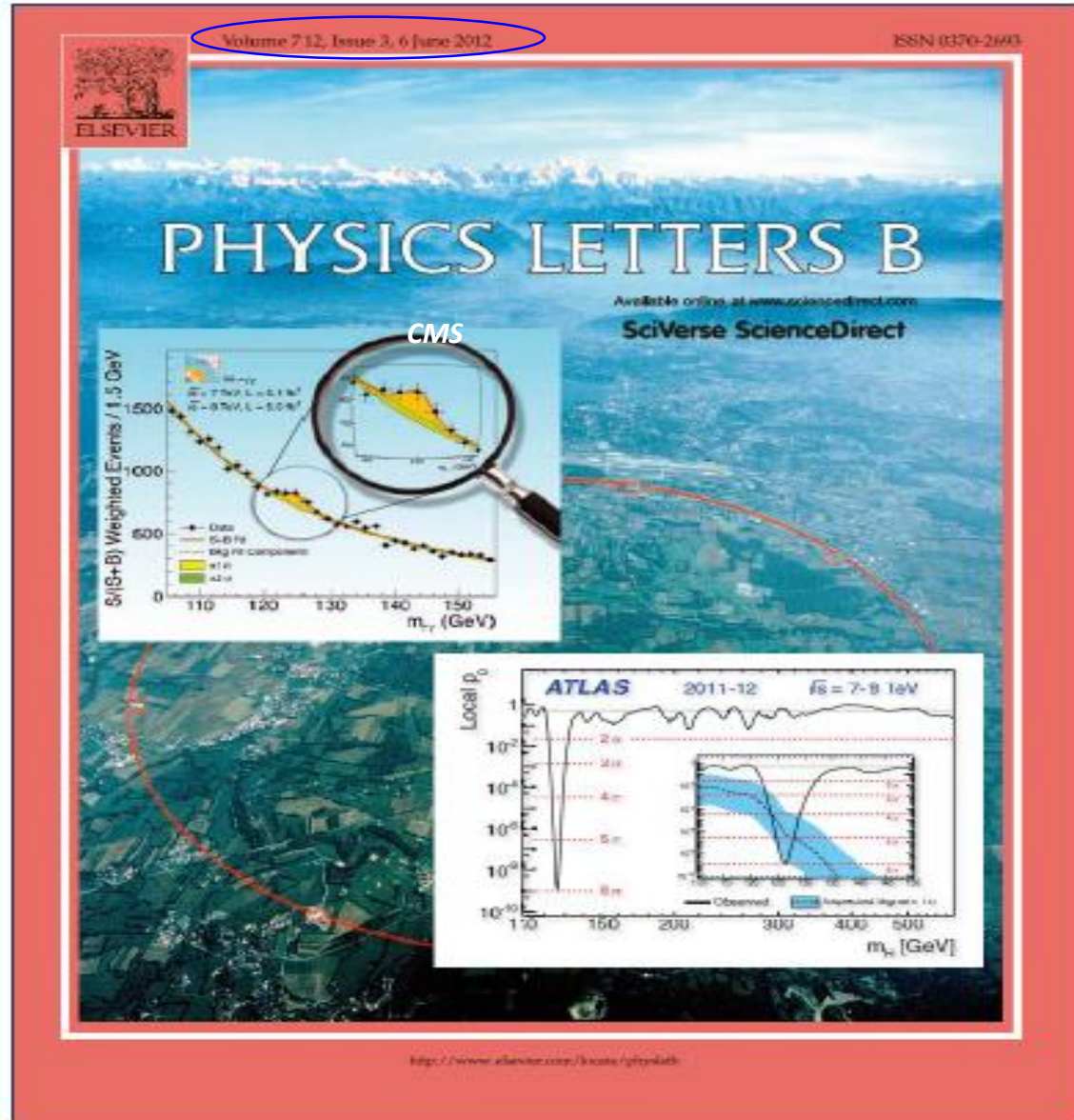
❑ Πού βρίσκεται στη φύση το μποζόνιο Χιγκς;

- Το μποζόνιο Χιγκς δεν υπάρχει σε σταθερή κατάσταση.
- Υπάρχει μόνο στιγμιαία σε συνθήκες ακραίας θερμοκρασίας / ενέργειας.
- Τέτοιες θερμοκρασίες / ενέργειες υπήρξαν για μερικές φευγαλέες στιγμές μετά τη “Μεγάλη Έκρηξη”.
- Παράγεται σήμερα στις συγκρούσεις πρωτονίων ($p+p$) στον επιταχυντή LHC του CERN, όπου δημιουργούνται οι συνθήκες αυτές.

$$p + p \rightarrow \textcircled{H^0} \rightarrow Z^0 + Z^0 \rightarrow e^+ + e^- + \mu^+ + \mu^-$$



The highlight of a remarkable year 2012





NOBEL 2013



SCHOOL of PHYSICS and ASTRONOMY

The University of Edinburgh
James Clerk Maxwell Building
The King's Buildings
Mayfield Road
Edinburgh EH9 3JZ

Telephone: +44 (0)131 650 1000
or direct dial +44 (0)131 650 5269
Fax: +44 (0)131 650 5902
Email: info@ph.ed.ac.uk
www.ph.ed.ac.uk

Congratulations to both
Atlas and CMS Collaborations
and to the builders of the LHC
on a magnificent achievement!

Peter Higgs

30 August 2012

BROKEN SYMMETRIES, MASSLESS PARTICLES AND GAUGE FIELDS

P. W. HIGGS

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Scotland

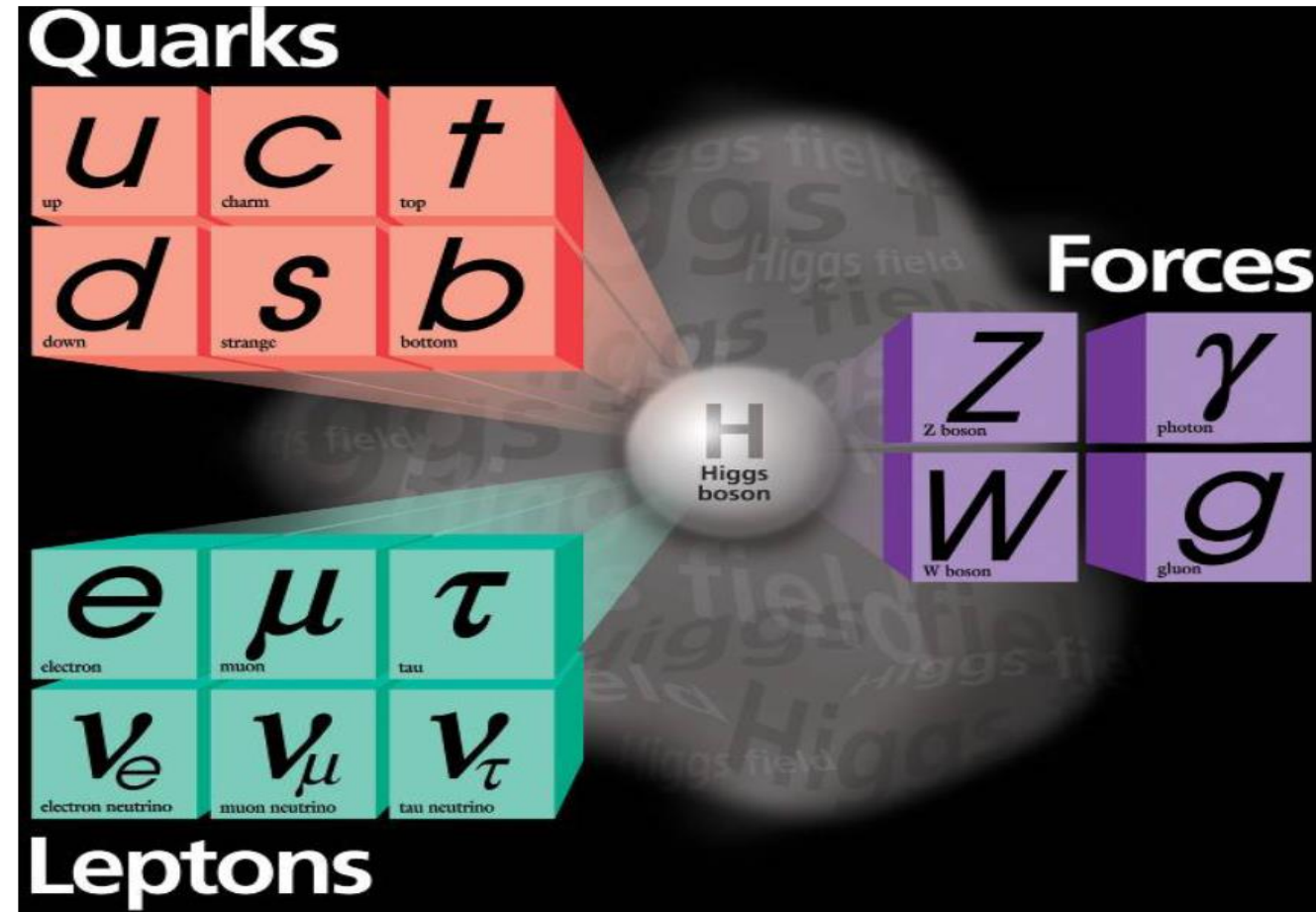
Received 27 July 1964

Recently a number of people have discussed the Goldstone theorem ^{1,2}): that any solution of a Lorentz-invariant theory which violates an internal symmetry operation of that theory must contain a massless scalar particle. Klein and Lee ³) showed that this theorem does not necessarily ap-

ever, gave a proof that the failure of the Goldstone theorem in the nonrelativistic case is of a type which cannot exist when Lorentz invariance is imposed on a theory. The purpose of this note is to show that Gilbert's argument fails for an important class of field theories, that in which the con-

❑ **Γιατί θεωρείται τόσο σημαντική η ανακάλυψη του σωματίου Χιγκς;**

- Επειδή αποδεικνύει και κυρίως συμπληρώνει και ενισχύει την αξιοπιστία του **“Καθιερωμένου Μοντέλου”**, το οποίο μας βοηθά να ερμηνεύσουμε τον υπο-ατομικό κόσμο και τις πρώτες στιγμές της εξέλιξης του Σύμπαντος.
- Το **Καθιερωμένο Μοντέλο** προβλέπει ότι τα στοιχειώδη σωματίδια είναι (12) και οι δυνάμεις στη φύση (4). Όμως, το μοντέλο δεν επαρκεί ακόμη για να κατανοήσουμε πλήρως το Σύμπαν.

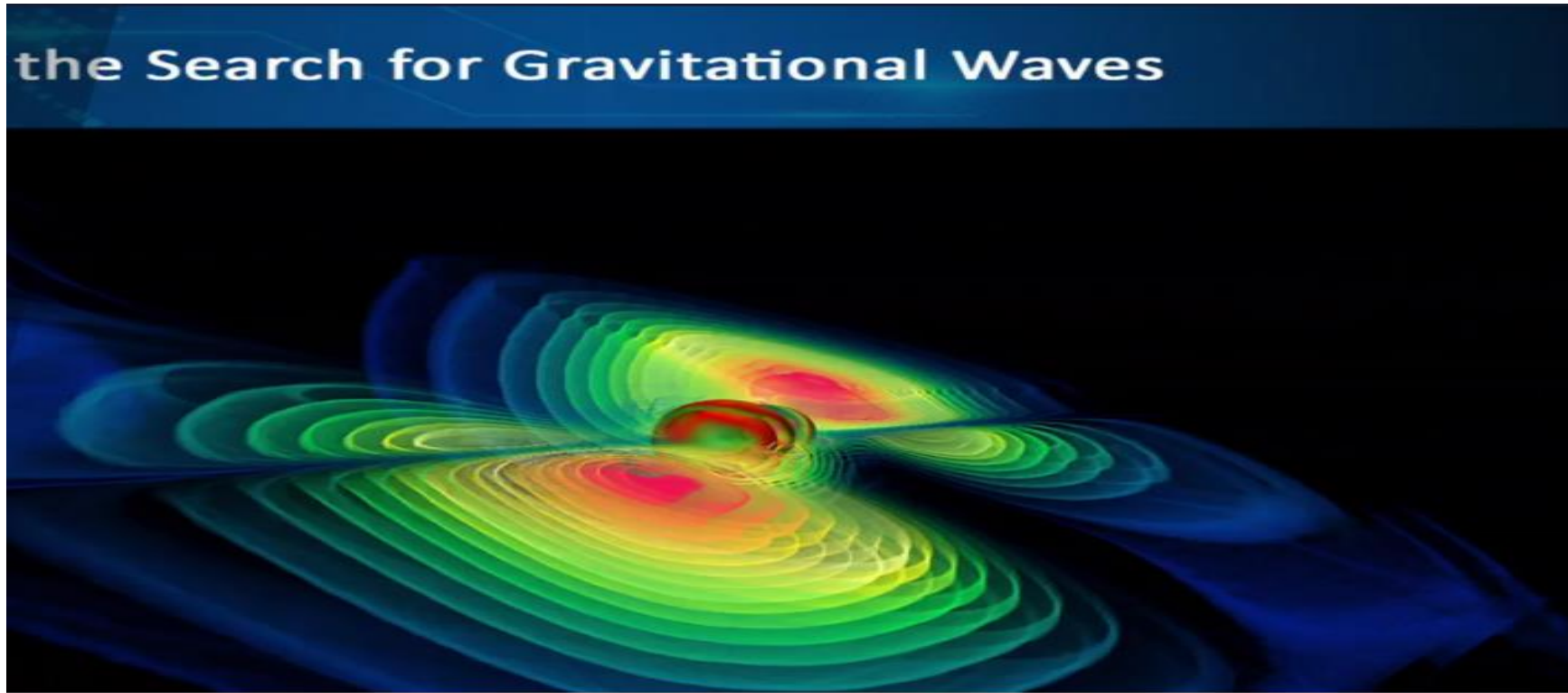


□ Πώς θα ήταν το Σύμπαν χωρίς το πεδίο Χιγκς;

- Τα βασικά στοιχεία της ύλης (u, d-κουάρκς και e) δεν θα είχαν μάζα.
- Δεν θα υπήρχε ύλη όπως τη γνωρίζουμε.
- Θα ήταν ένα Σύμπαν χωρίς μάζα,

Μόνο άυλη ενέργεια!..

2^η Ανακάλυψη



Βαρυτικά Κύματα

USA - 2015

❖ Ο Ισαάκ Νεύτων (1642-1727) διατύπωσε τον περίφημο νόμο της “Παγκόσμιας Έλξης”:

“Η ελκτική δύναμη (F) μεταξύ δύο ουρανίων σωμάτων είναι ανάλογη του γινομένου των μαζών τους (m_1, m_2) και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης μεταξύ των κέντρων μάζας τους (r).”

$$F = G (m_1 \cdot m_2 / r^2)$$

G είναι η σταθερά της παγκόσμιας έλξης.

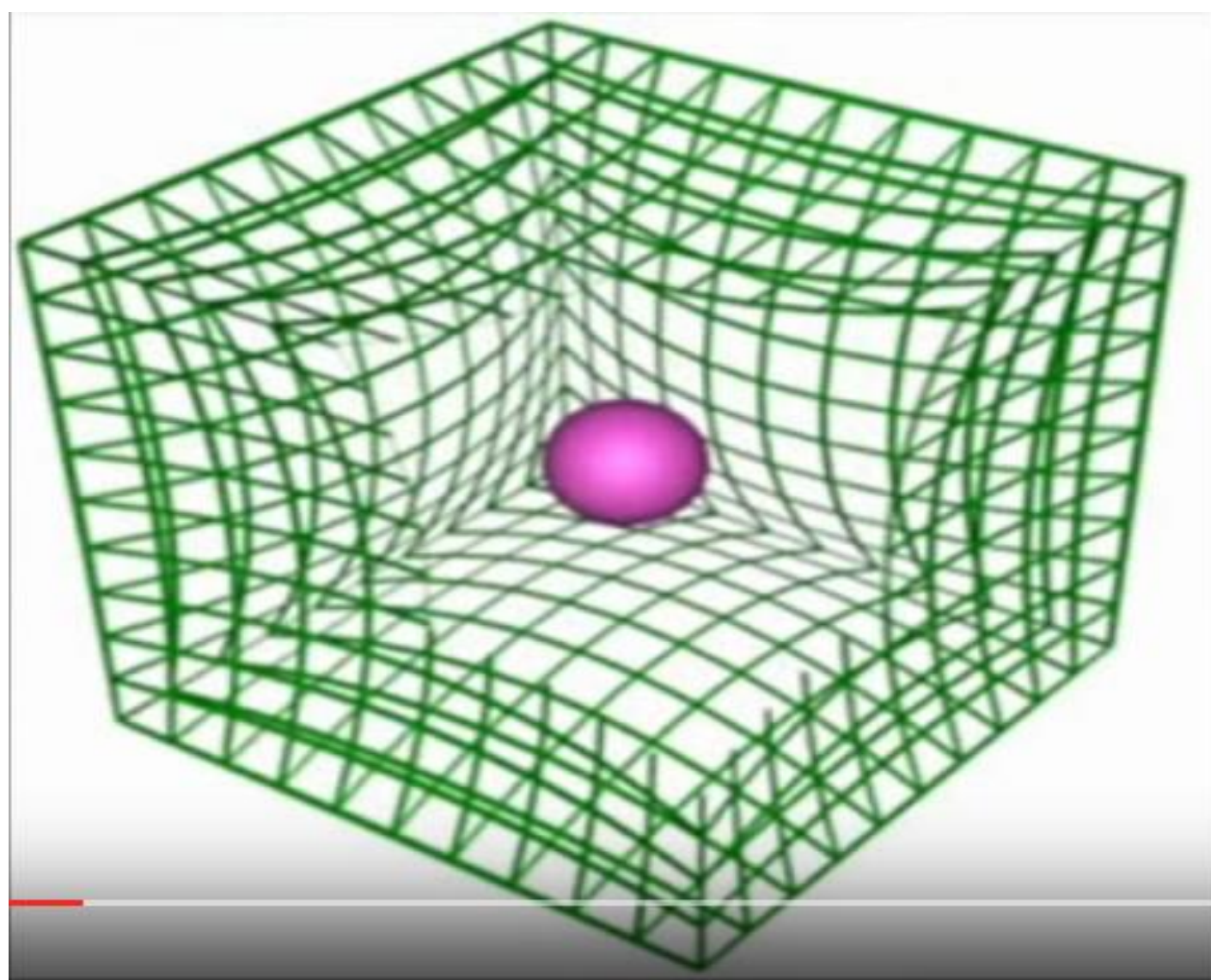
Σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν:

- Ο “χώρος” είναι τετραδιάστατος, “**χωρο-χρόνος**”: αποτελείται από το μήκος, πλάτος, ύψος και το χρόνο.
- Ο χωροχρόνος είναι ένα ευλύγιστο μέσο, που είναι σε θέση να κάμπτεται και να παραμορφώνεται.
- Το μέγεθος και ο τρόπος με τον οποίον παραμορφώνεται διαμορφώνει το βαρυτικό πεδίο.
 - ➔ Η βαρύτητα είναι μία καμπύλωση (παραμόρφωση) του τετραδιάστατου χωροχρόνου
- Τα βαρυτικά κύματα είναι διαταραχές, “ρυτιδώσεις”, οι οποίες διαδίδονται στον χωροχρόνο με την ταχύτητα του φωτός .

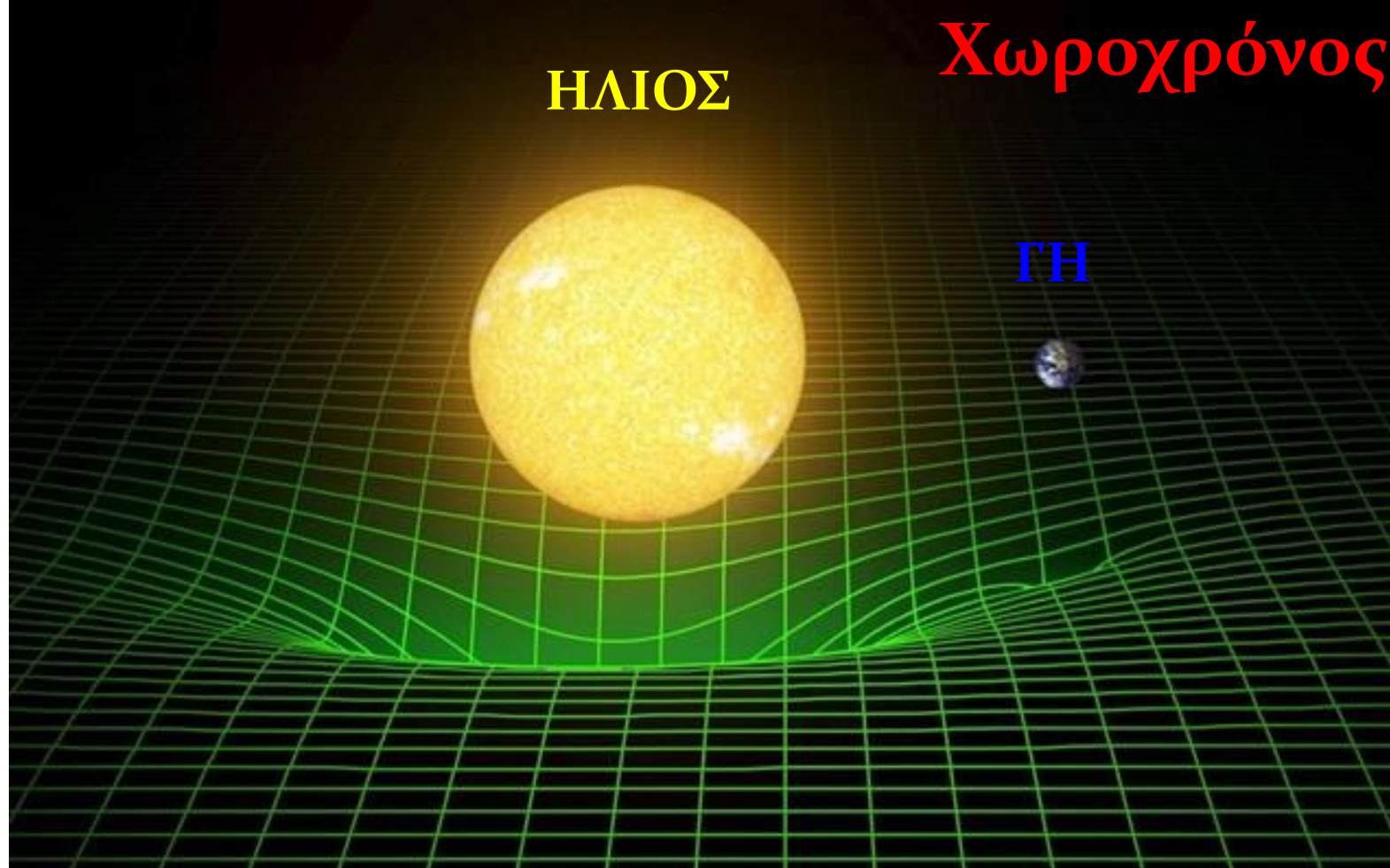
Η παρουσία μάζας αλλάζει τη γεωμετρία του χωροχρόνου και αλλαγή αυτή ερμηνεύεται ως βαρύτητα.

John Wheeler:

“Η ύλη υπαγορεύει στον χωροχρόνο πώς θα καμπυλωθεί, και ο βαθμός καμπύλωσης του χωροχρόνου υπαγορεύει στην ύλη πώς θα κινηθεί”.



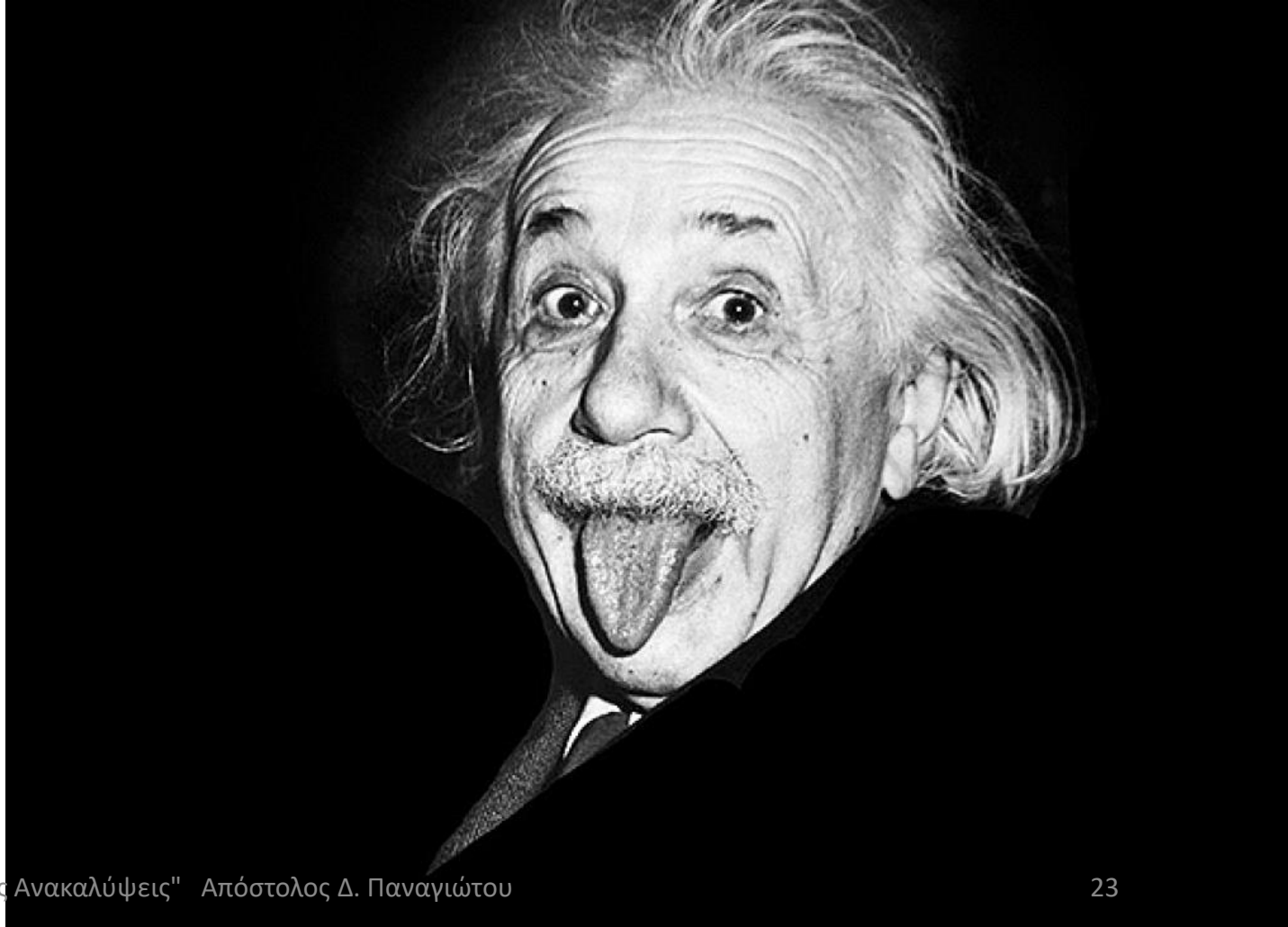
Χωροχρόνος



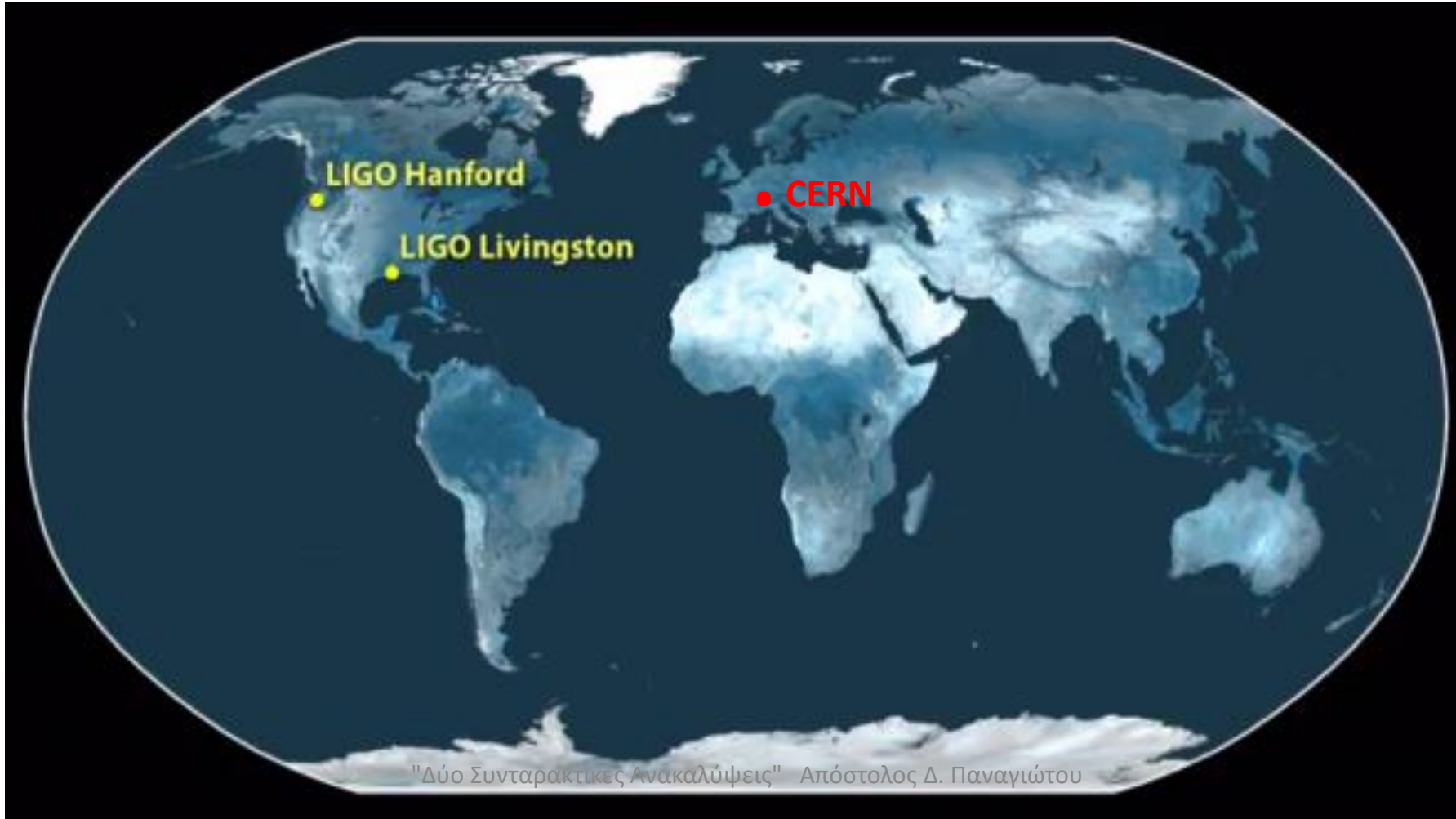
- Οποιαδήποτε κίνηση ενός ουράνιου σώματος δημιουργεί κυματισμούς στον χωροχρόνο.
- Τα βαρυτικά κύματα διαδίδονται στον χωροχρόνο με την ταχύτητα του φωτός και μεταφέρουν ενέργεια, τη “βαρυτική ακτινοβολία”.

100 χρόνια (1915 – 2015) μετά τη θεωρητική
πρόβλεψη της ύπαρξης βαρυτικών κυμάτων
από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του
Αϊνστάιν,

ΑΝΑΚΑΛΥΦΘΗΚΑΝ !!!



Ερευνητές από το πείραμα “**advanced LIGO**”, στις 14 Σεπτεμβρίου 2015, κατέγραψαν ένα σήμα βαρυτικών κυμάτων στον ανιχνευτή στο Livingston, Λουϊζιάνα και σχεδόν ταυτόχρονα στο δεύτερο ανιχνευτή στο Hanford, Ουάσιγκτον.

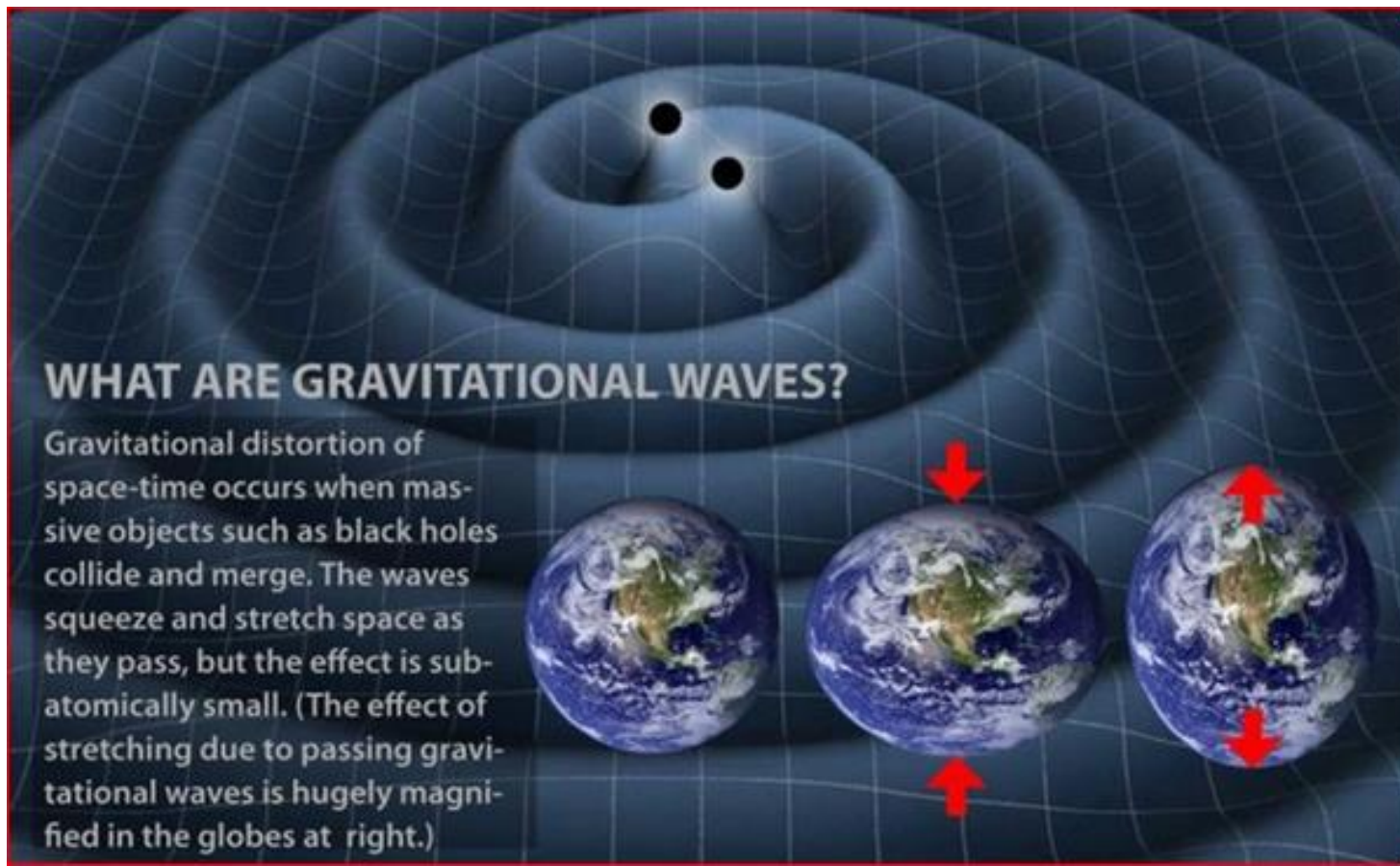


Παρατηρητήριο
Βαρυτικών Κυμάτων
μέσω Συμβολομέτρου Λείζερ”

Laser **I**nterferometry
Gravitational wave
Observatory, “**LIGO**”

Το πείραμα **LIGO**, μήκους
2 Km, έχει την ευαισθησία –
ικανότητα να μετρήσει σχετική
μετατόπιση μικρότερη από
 10^{-21} !!!

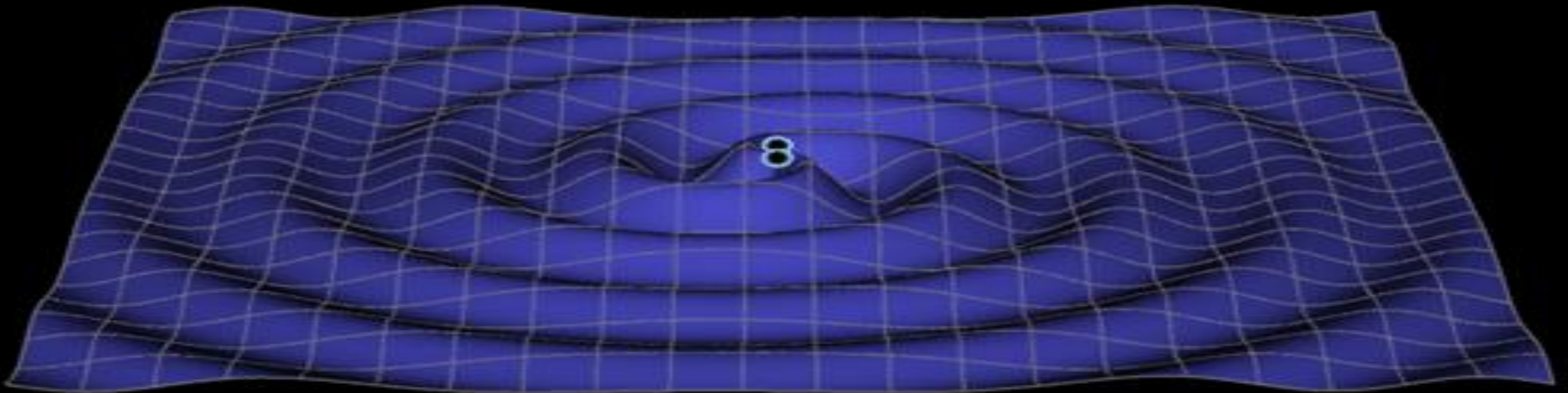




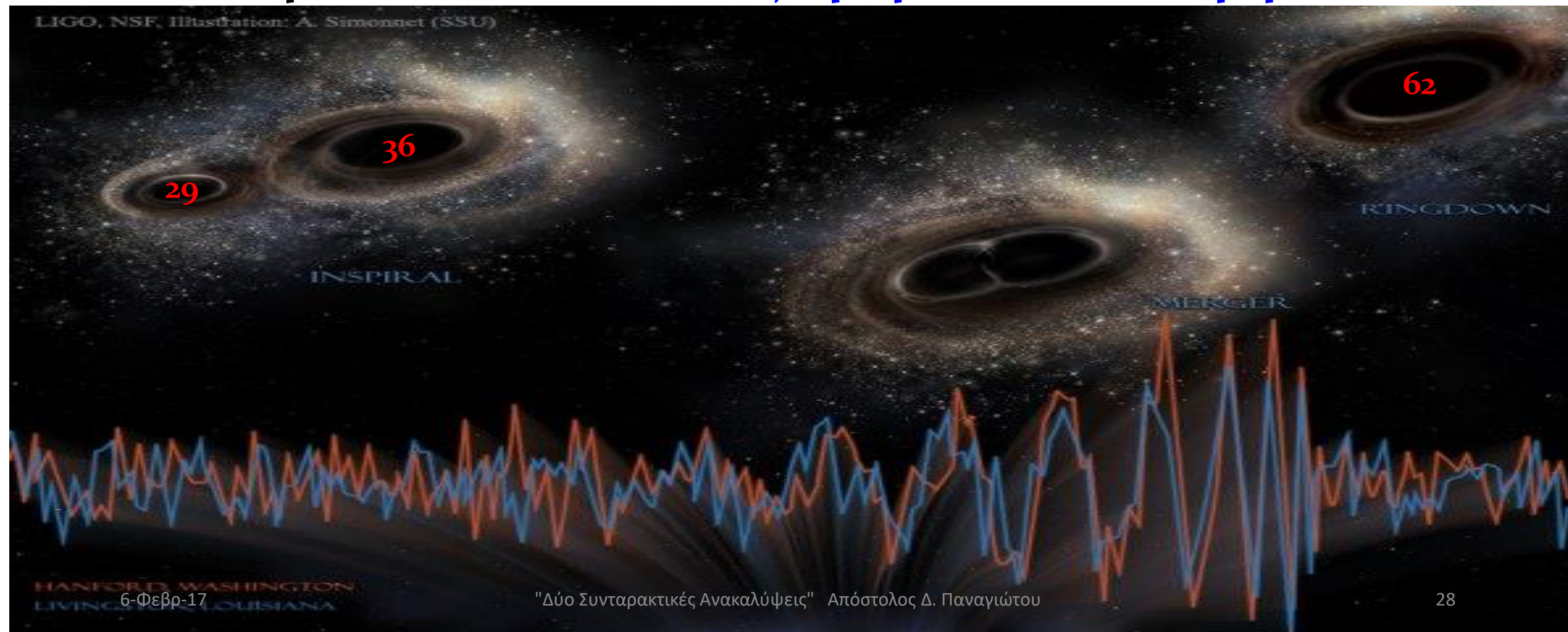
Η μεταβολή της απόστασης των καθρεπτών είναι της τάξης των 10^{-18} m, μικρότερη από 1/1000 της ακτίνας του πρωτονίου ($\sim 10^{-15}$ m) !

Η ένταση των βαρυτικών κυμάτων είναι εξαιρετικά ασθενής αν η πηγή δεν είναι ένα τρομερά βίαιο συμπαντικό φαινόμενο, όπως η σύγκρουση δύο μελανών οπών, ή αστέρων νετρονίων. Μία σύγκρουση δύο μελανών οπών δημιούργησε το σήμα που ανιχνεύθηκε από το πείραμα LIGO.

Δυο μαύρες οπές, **29** και **36** ηλιακών μαζών, **1,3** δισεκατομμύρια έτη
φωτός από τη Γη, στροβιλίστηκαν μεταξύ τους και συγχωνεύθηκαν
για να καταλήξουν σε μια μαύρη οπή **62**-ηλιακών μαζών,
δημιουργώντας βαρυτικά κύματα και εκπέμποντας ενέργεια
(βαρυτική ακτινοβολία) **3**-ηλιακών μαζών!..



Οι επιστήμονες ανέλυσαν τις καταγραφές των σημάτων στις 2 θέσεις και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η μορφή τους έχει τα χαρακτηριστικά των βαρυτικών κυμάτων από τη συγχώνευση δύο μελανών οπών, όπως προβλέπεται θεωρητικά.

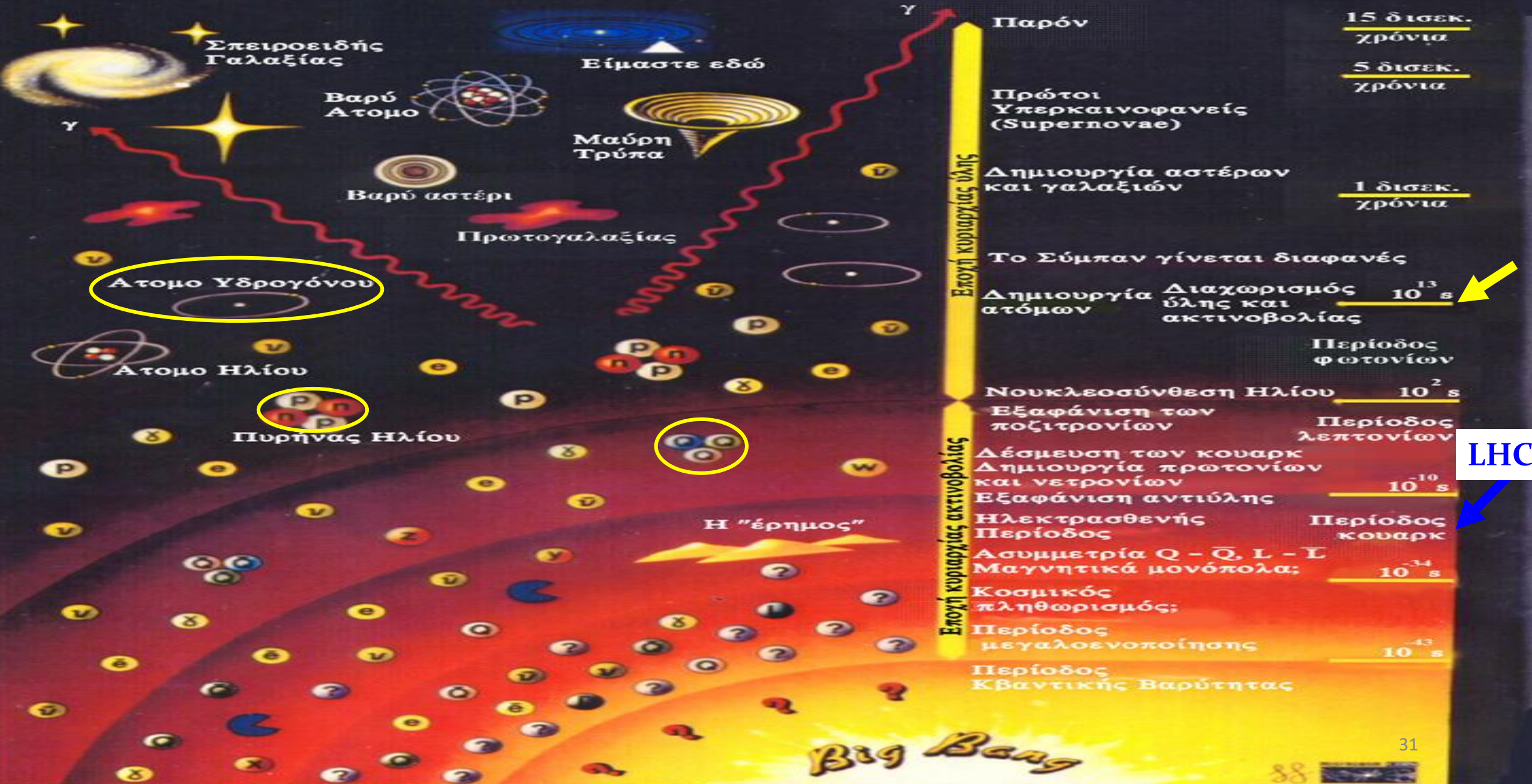


Επιβεβαιώθηκε, επιπλέον, ότι τα βαρυτικά κύματα κινούνται με την ταχύτητα του φωτός και μεταφέρουν πληροφορίες που περιγράφουν:

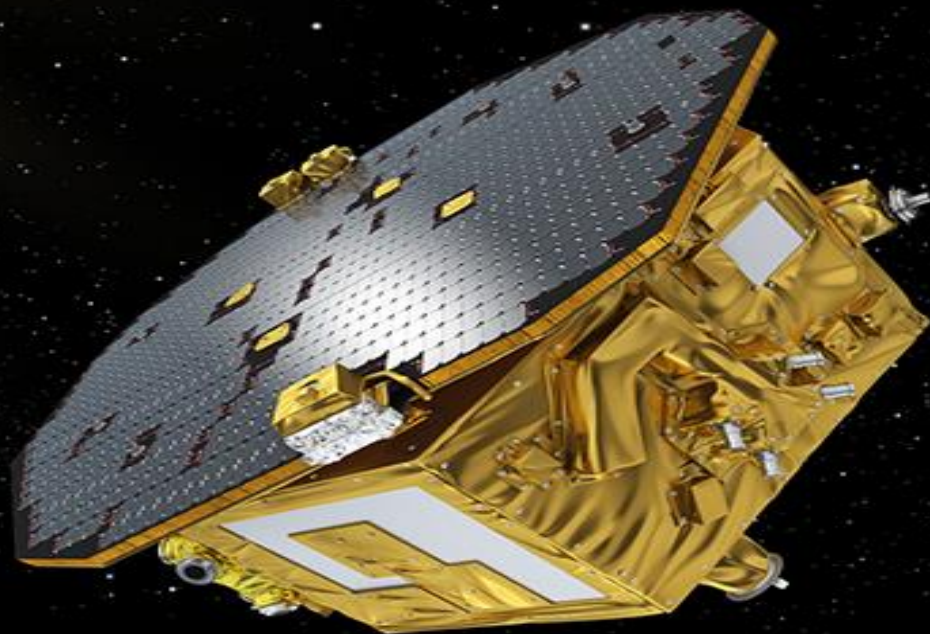
- την προέλευσή τους,
- την ιστορία της πηγής που τα δημιουργήσε,
- τη μάζα των αστρικών σωμάτων που συνέπραξαν,
- την ταχύτητα περιστροφής τους,
- το σχήμα της τροχιάς,
- το πώς σχηματίζονται τέτοια διπλά συστήματα,
- τη θέση και την απόσταση ενός τέτοιου συστήματος.

- Το πείραμα αυτό είναι ένα επίτευγμα της επιστήμης, που όχι μόνο επαληθεύει την πρόβλεψη της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας στο πιο βίαιο κοσμικό γεγονός, αλλά αποτελεί **ορόσημο** για ολόκληρη την ιστορία της Αστρονομίας – Αστροφυσικής !.
- Ανοίγεται τώρα ένα νέο «παράθυρο» στη μελέτη του Σύμπαντος και ένα νέο πεδίο έρευνας, η “Βαρυτική Αστρονομία” – πέρα από την μέχρι σήμερα “Ηλεκτρομαγνητική Αστρονομία” – η οποία θα διερευνήσει τα βίαια φαινόμενα του σύμπαντος που δεν εκπέμπουν φως, όπως οι μελανές οπές και η σκοτεινή ύλη, που όμως ακούγονται !..

Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ



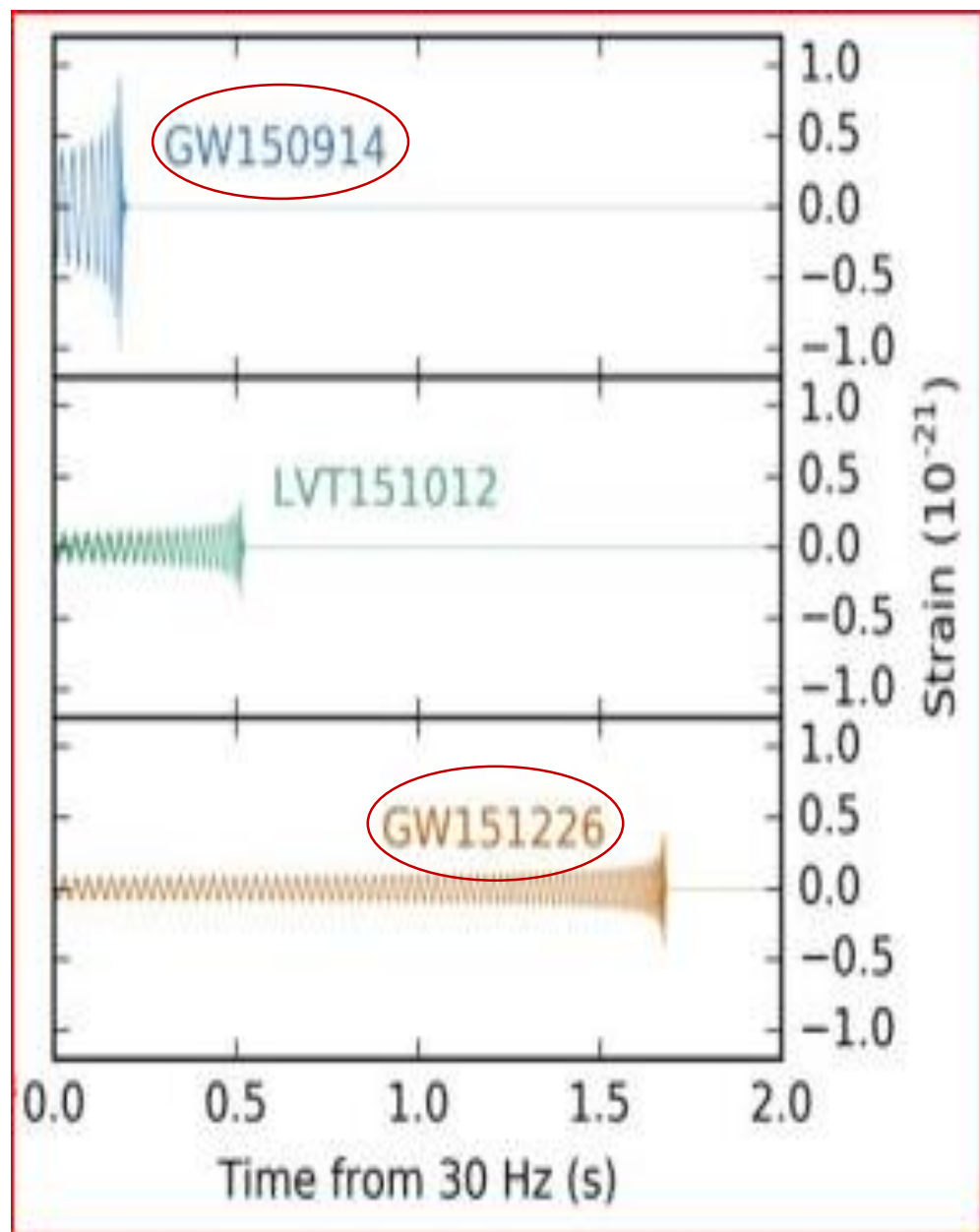
eLISA, στο διάστημα



Other proposed gravitational wave experiments include the evolved Laser Interferometer Space Antenna (eLISA), a project to bounce a laser beam between three satellites millions of kilometers apart to detect tiny ripples in space.

Άλλοι Ανιχνευτές – Πειράματα

- “Τηλεσκόπιο Αϊνστάιν”, 20 Km στην Ευρώπη (υπόγειος)
- KAGRA, στην Ιαπωνία



Το **LIGO** ανίχνευσε και 2^ο βαρυτικό κύμα (GW151226) στις 26 Δεκεμβρίου 2015, τρεις μήνες μετά την **πρώτη** ανίχνευση βαρυτικού κύματος στην ιστορία της φυσικής στις 14 Σεπτεμβρίου 2015 (GW150914). Αυτή τη φορά τα βαρυτικά κύματα δημιουργήθηκαν από τη συγχώνευση δυο μαύρων οπών, 1,4 εκατομμύρια έτη φωτός από τη Γη, με **14** και **8** ηλιακές μάζες, δημιουργώντας μια νέα μαύρη οπή **21** ηλιακών μαζών.

Σπάσιμο Συμμετριών → Εξέλιξη του Σύμπαντος

