Κοσμολογία με απλά υλικά

Τίνα Νάντσου Παιδαγωγική Υπεύθυνη
Playing with Protons Ελλάδα
2017

Organized by CMS εξερευνήσεις εκπαιδευτικά προγράμματα για παιδιά
Hosted by CERN Ideas
Funded by ΙΣΝ/SNF ΙΔΡΥΜΑ ΣΤΑΥΡΟΣ ΝΙΑΡΧΟΣ STAVROS NIARCHOS FOUNDATION
Under the auspices of ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων
Supported by CREATIONS Developing an Engaging Science Classroom

Τι θα κουβεντιάσουμε σήμερα;

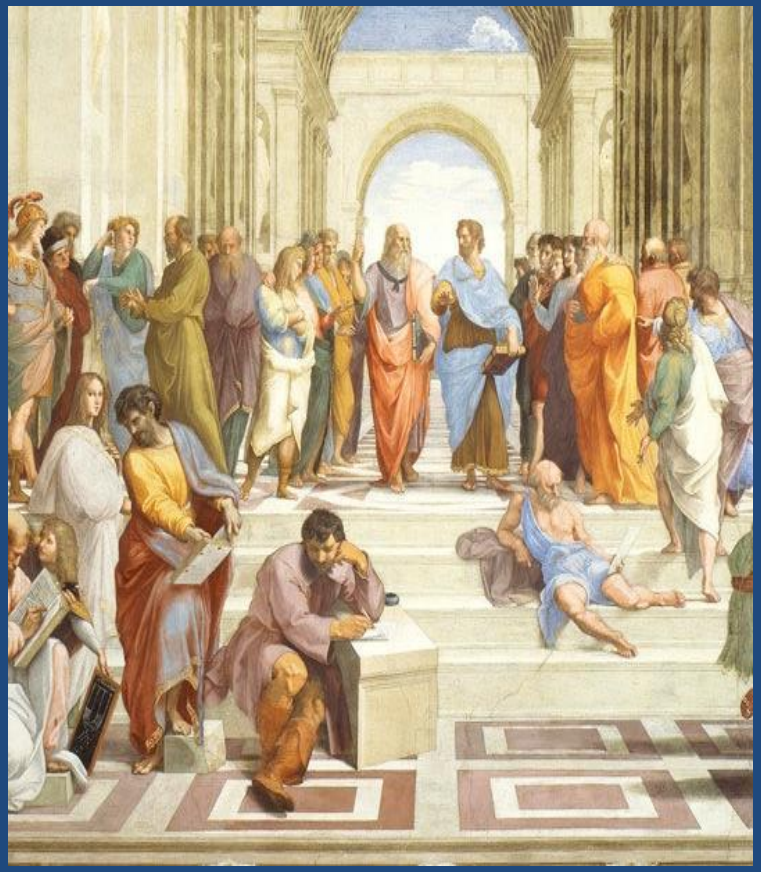
Σε αυτή την παρουσίαση θα αναφερθώ σε ένα μικρό αριθμό από επιλεγμένα θέματα από την κοσμολογία:

- Η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang)
- Κοσμική ακτινοβολία
- Τι σχέση έχει η κοσμολογία και το CERN;

Θεμελιώδη Ερωτήματα

Μερικά από τα βασικά ερωτήματα που διατύπωσε σκεπτόμενος ο άνθρωπος από την κλασσική αρχαιότητα και νωρίτερα:

- Πώς προέκυψε ο κόσμος;
- Πώς έγινε η αρχή του κόσμου;
- Πώς εξελίχθηκε;
- Από πού προήλθαμε;
- Υπάρχουν άλλα παράλληλα Σύμπαντα;



<u>Απαντήσεις:</u>

Θεολογικές, Φιλοσοφικές, Επιστημονικές

Από που ερχόμαστε, τι είμαστε, πού πάμε;

Paul Gauguin - D'ou venons-nous

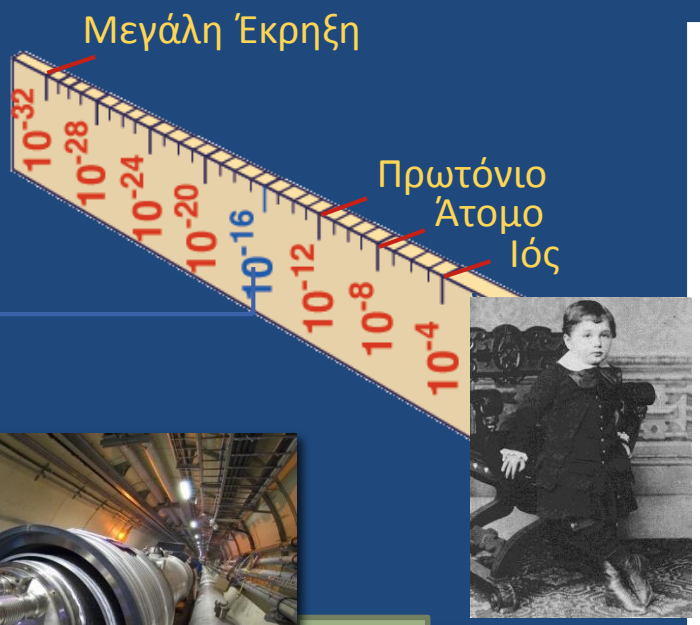
Τι είναι η κοσμολογία

Η κοσμολογία είναι η επιστήμη που προσπαθεί να εξηγήσει το Σύμπαν στο οποίο ζούμε.
Στην αρχαία Ελλάδα ονομαζόταν Κοσμογονία.
Τα ερωτήματα είναι:

- Πώς ξεκίνησε (αν ξεκίνησε) το Σύμπαν;
- Πώς εξελίσσεται;
- Πώς θα τελειώσει;

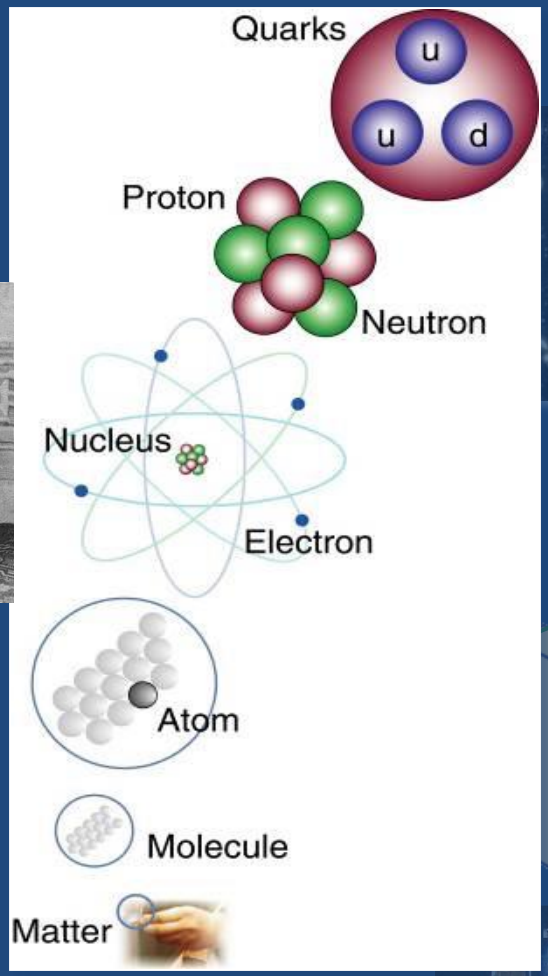
Η πραγματική απόσταση Γης- Σελήνης

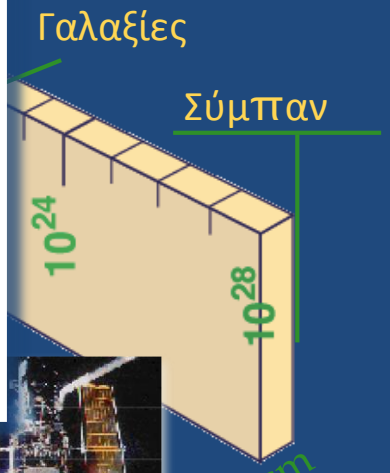
30 φορές περίπου η διάμετρος της Γης

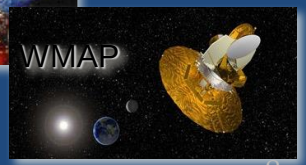


LHC

Super-Μικροσκόπιο







Οι νόμοι της φυσικής
στις πρώτες στιγμές μετά την Μεγάλη Έκρηξη.
Συμβίωση μεταξύ σωματιδιακής φυσικής,
αστροφυσικής, και κοσμολογίας.

Η πραγματική κλίμακα

Η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang)

- Η κοσμολογία έχει, όπως και η σωματιδιακή φυσική, το 'καθιερωμένο πρότυπο' της.
- Η θεωρία αυτή αναπτύχτηκε από τις αρχές του 20ου αιώνα, μετά την ανάπτυξη της Γενικής θεωρίας τις Σχετικότητας.

- Η θεωρία της Μεγάλης Έκρξης δεν είναι μια ακόμη θεωρία που προσπαθεί να εξηγήσει το Σύμπαν και την εξέλιξη του, είναι **Η θεωρία**.
- Η θεωρία έχει αποδειχθεί πειραματικά.
- Στην επιστήμη υπάρχει μόνο παρατήρηση, μέτρηση και επιβεβαιώνει ή όχι την θεωρία.

Η Μεγάλη Έκρηξη

Stephen Hawking - The Big Bang

Η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang)

- Είναι ενδιαφέρον πως η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης (Big Bang) δεν ήταν πάντα ‘της μόδας’.
- Όταν ο Einstein διετύπωσε τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας, είδε ότι το Σύμπαν δε μπορεί να είναι στατικό όπως ήταν η επικρατούσα θεωρία εκείνη την εποχή.
- Έβαλε ,λοιπόν, ‘με το χέρι’ μια ακόμη παράμετρο στην θεωρία του που έκανε το Σύμπαν «με το ζόρι» στατικό.
- Αργότερα, παραδέχτηκε πως ήταν το μεγαλύτερο λάθος της καριέρας του.

Η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang)

- Η θεωρία του Big Bang δεν ασχολείται (ούτε την ενδιαφέρει) τι συνέβη πριν την Μεγάλη Έκρηξη ή τι την προκάλεσε.
  Ασχολείται μόνο με το τι συνέβη *μετά* τη Μεγάλη Έκρηξη .
- Η θεωρία άρχισε να καθιερώνεται μετά τις μετρήσεις του Hubble και εδραιώθηκε μετά την ανακάλυψη της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου.

- Το εργαλείο για να αποτυπωθεί η φυσική διεργασία είναι τα μαθηματικά.

Η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang)

- Η επικρατούσα θεωρία στις αρχές του αιώνα θεωρούσε ότι το Σύμπαν είναι αιώνιο και αμετάβλητο.
- Είχε όμως ένα μικρό πρόβλημα:

  δε μπορούσε να εξηγήσει εύκολα το ‘παράδοξο του μαύρου νυχτερινού ουρανού’.
- Ένας Βέλγος φυσικός και ιερέας, ο Georges LeMaitre, εξέλιξε την θεωρία πως το Σύμπαν είχε αρχή.
- Ο αντίπαλος του Βρετανός αστρονόμος, Fred Hoyle, βάφτισε εμπαίζοντας την θεωρία αυτή ,‘μεγάλο γδούπο’ (Big Bang) .

Αποδείξεις για το Big Bang

Τα ισχυρότερα επιχειρήματα υπέρ της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης είναι :

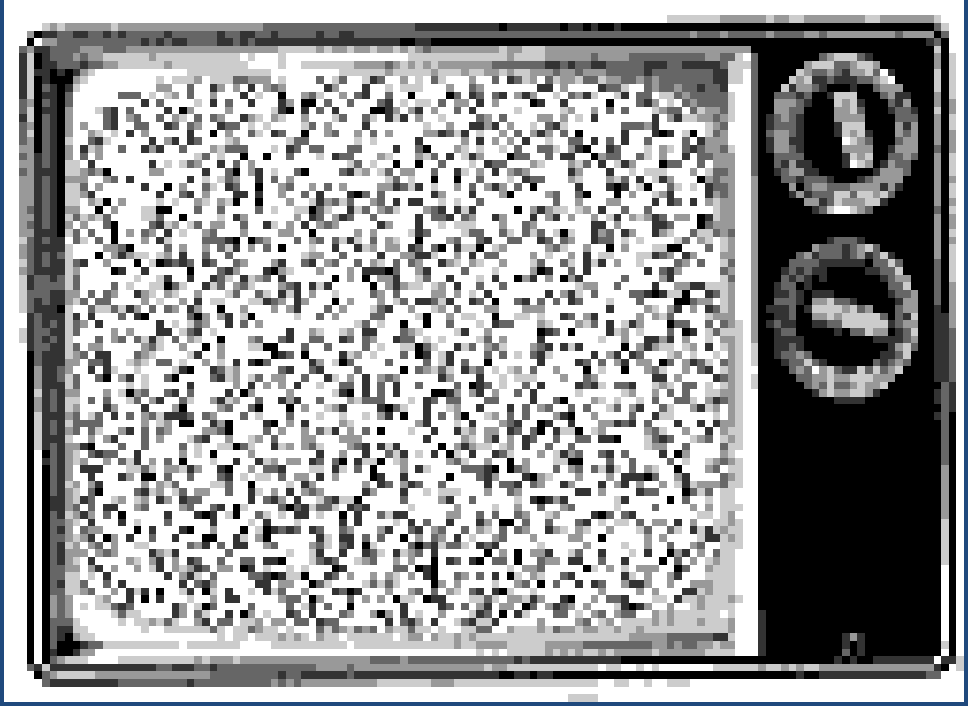
1. Οι παρατηρήσεις των αστρονόμων που αποδεικνύουν την διαστολή του Σύμπαντος - (Ο Edwin Hubble ήταν ο πρωτοπόρος)

2. Η ανίχνευση της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου (για πρώτη φορά ανιχνεύθηκε από τους Penzias και Wilson).

3. Ένα τρίτο ισχυρό επιχείρημα, που δεν αναφέρεται συχνά, είναι το γεγονός ότι η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης αναπαράγει με μεγάλη ακρίβεια τις παρατηρούμενες αφθονίες των ελαφρών στοιχείων ^{4}He, ^{2}H, ^{3}He και ^{7}Li.

Penzias- Wilson 1963

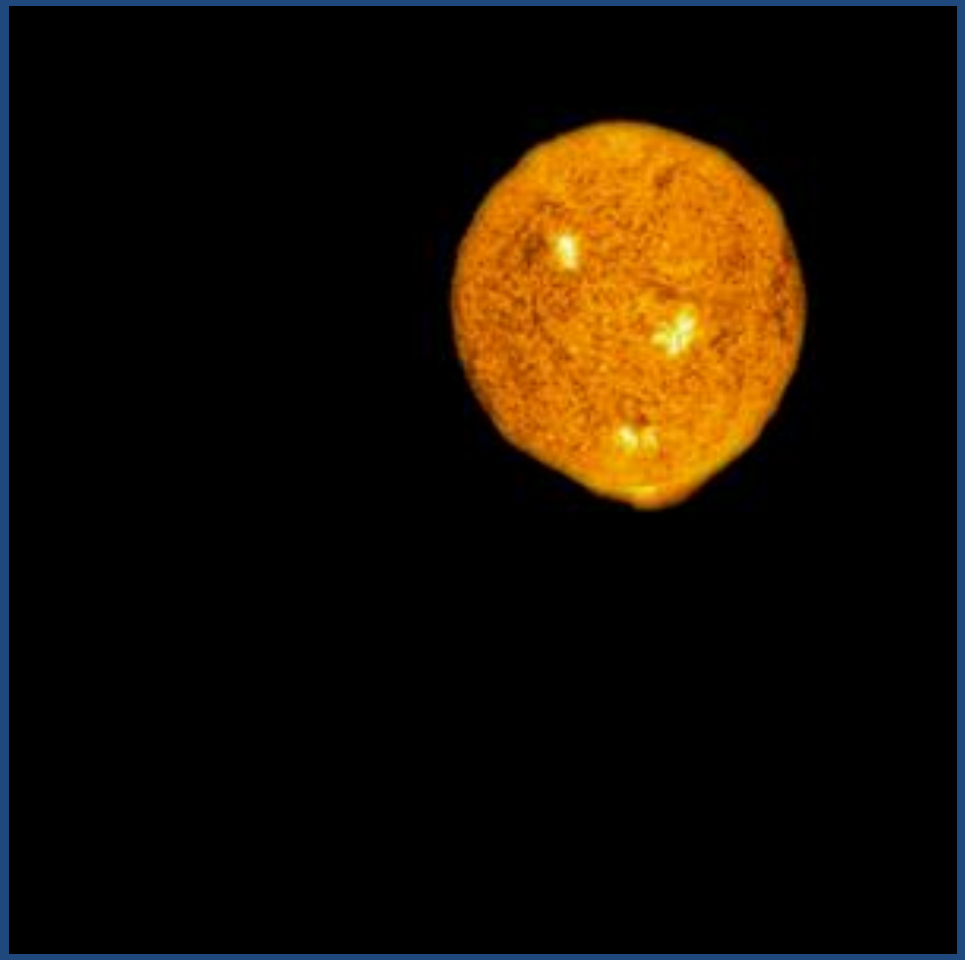
Μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου



Το Σύμπαν διαστέλλεται - το παράδοξο του Olbers

- Ο ουρανός είναι σκοτεινός το βράδυ. Γιατί;
- Αν το Σύμπαν είχε πάντα την ίδια συμπεριφορά…
- Σε κάθε σημείο του ουρανού θα υπήρχε ένας αστέρας
- Όλο το Σύμπαν θα ήταν θερμό σαν την επιφάνεια ενός άστρου

Το παράδοξο του σκοτεινού νυχτερινού ουρανού ή του Olbers(1826)



Πειράματα με απλά υλικά

- Γιατί ο ουρανός είναι κόκκινος κατά την ανατολή και την Δύση του Ηλίου;
- Γιατί ο ουρανός είναι μπλε την ημέρα;
- Το φάσμα του φωτός

Το πείραμα με το νουνού!

Πώς μαζεύουμε πληροφορίες για το διάστημα;

- Όλη η γνώση μας για τα αντικείμενα εκτός του Ηλιακού Συστήματος στηρίζεται αποκλειστικά στο φως που εκπέμπουν.

Γιατί ο ουρανός είναι κόκκινος κατά την ανατολή και την δύση του Ηλίου;

- Τα μόνα χρώματα που ακολουθούν την ευθύγραμμη πορεία τους μέσα στην ατμόσφαιρα ,χωρίς να ενοχλούνται από τα μόρια του αέρα είναι το κόκκινο, το πορτοκαλί και το πορφυρό.

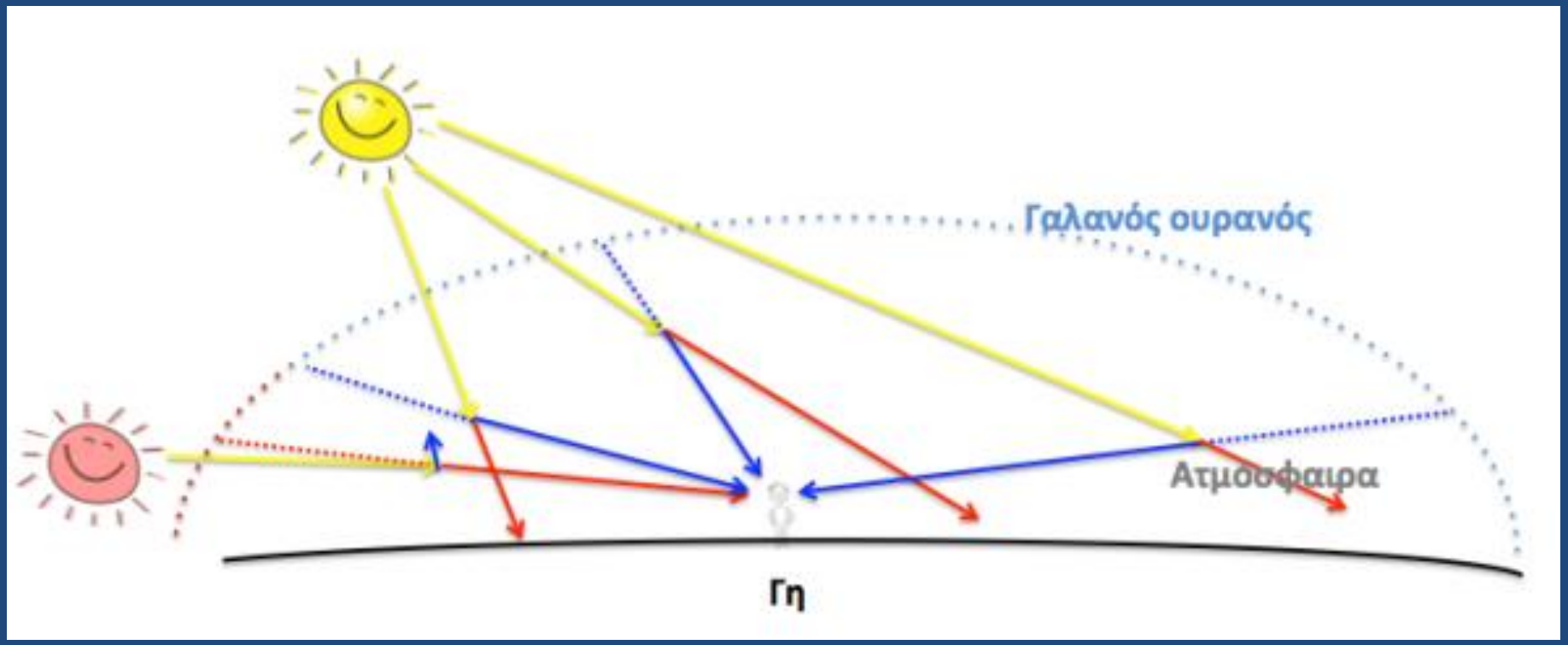
- Το γαλάζιο και το ιώδες συναντούν παντού εμπόδια και δεν καταφέρνουν να κάνουν τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα

Γιατί ο ουρανός είναι γαλάζιος;

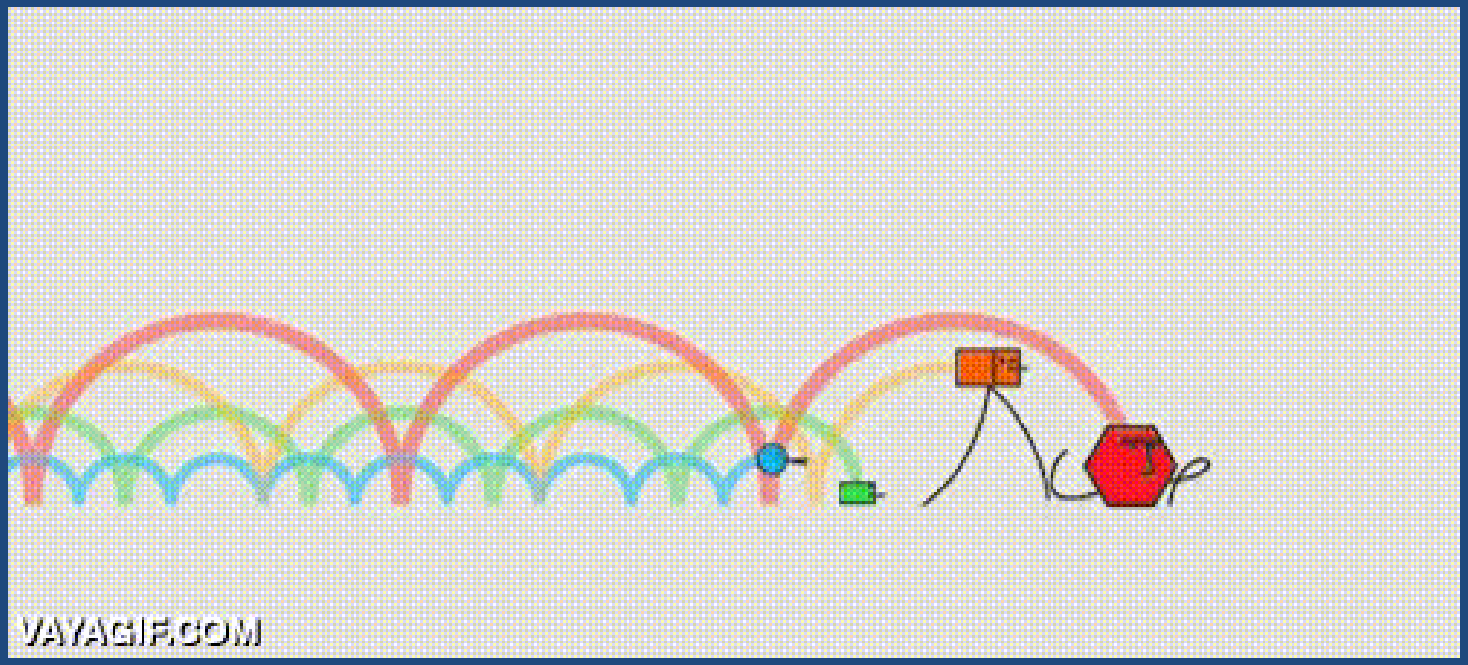
Γιατί ο ουρανός είναι γαλάζιος;

- Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος ενός χρώματος τόσο δυσκολότερο είναι γι’αυτό να διασχίσει την ατμόσφαιρα.
- Τα χρώματα που δυσκολεύονται περισσότερο είναι το ιώδες και το γαλάζιο.
- Ο Ήλιος εκπέμπει λιγότερο ιώδες χρώμα απ’ ότι γαλάζιο.
- Το μάτι μας αναμιγνύει το κίτρινο με το ιώδες και γίνεται γαλάζιο

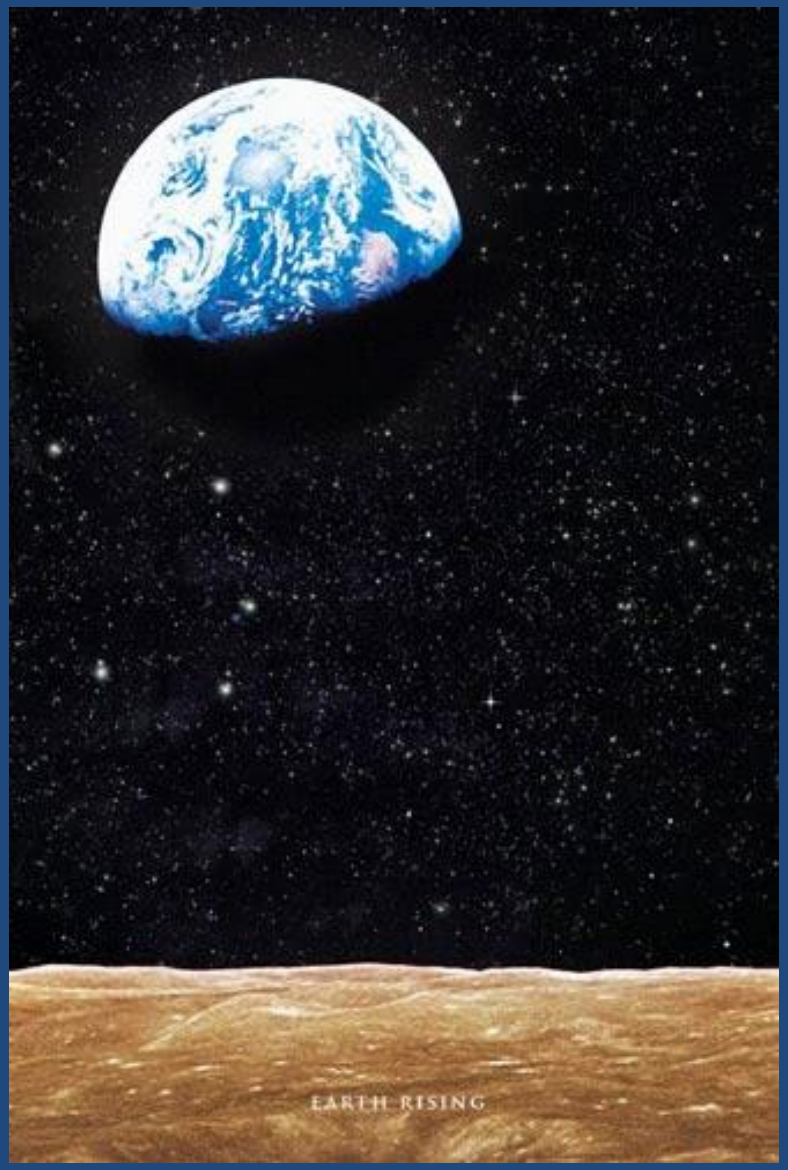
Η πορεία του φωτός



Τα μήκη κύματος



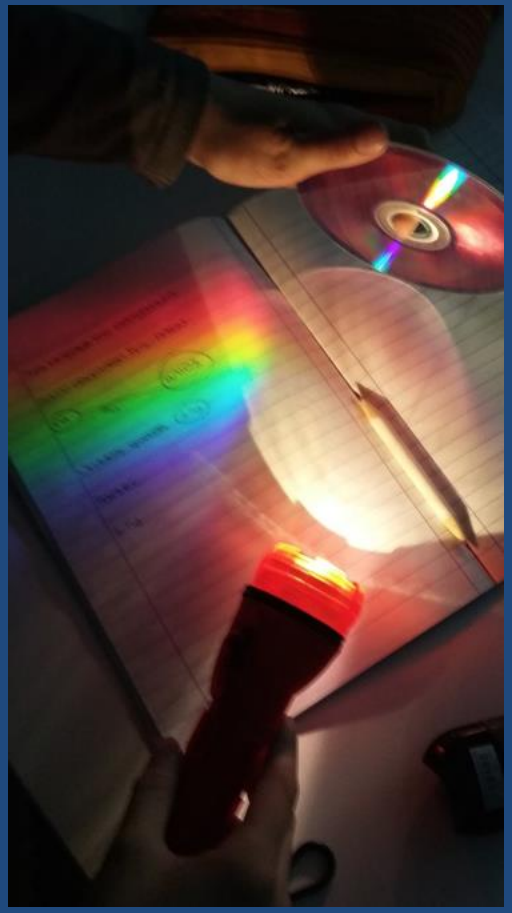
Πώς φαίνεται ο ουρανός από τη Σελήνη;



Ανάλυση του φωτός- φάσμα

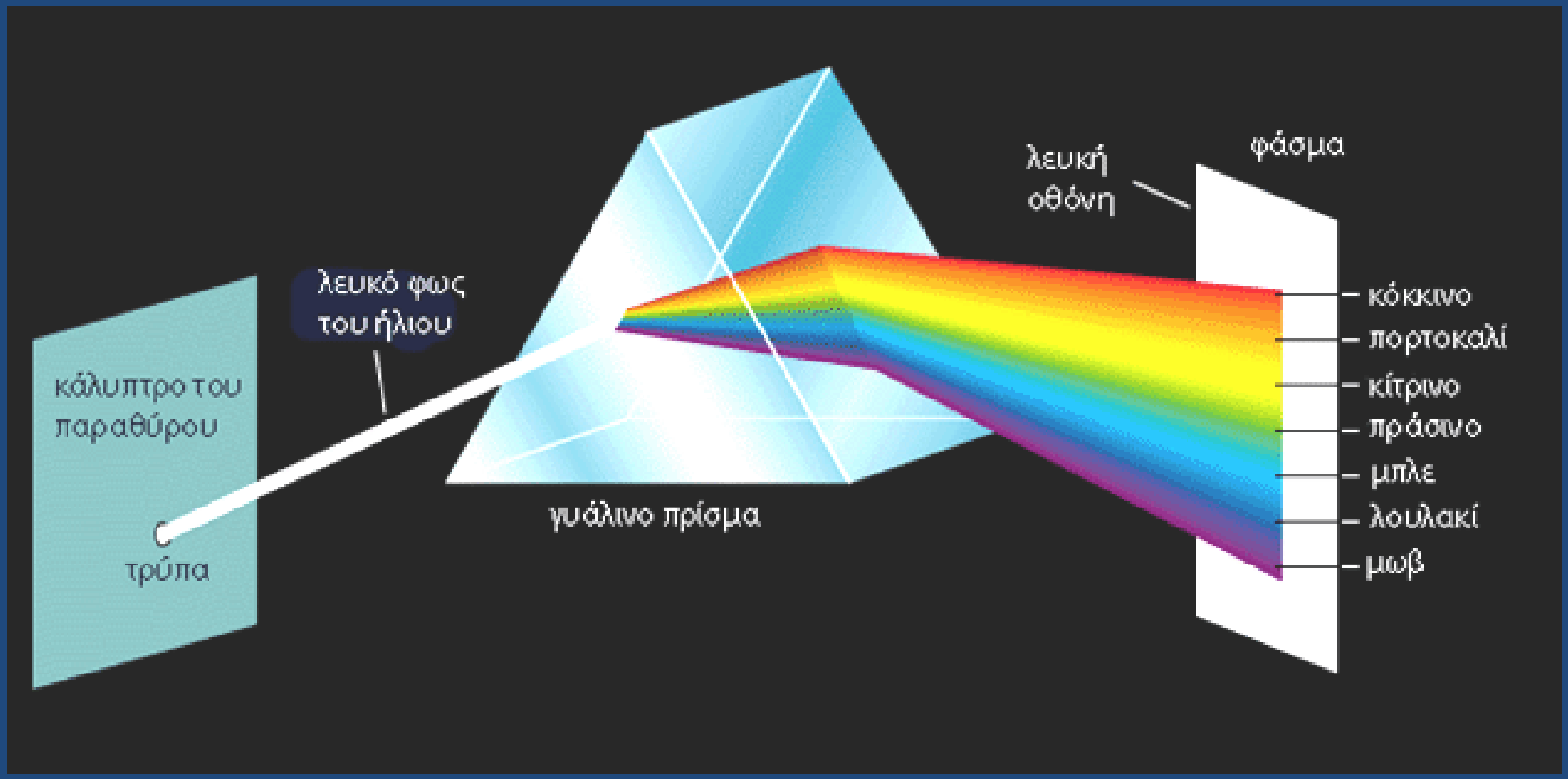
Ουράνιο τόξο στο ταβάνι

Φάσμα με cd



Φάσμα με CD

Ανάλυση του λευκού φωτός



O Hubble

Ο Hubble και το τηλεσκόπιο του

- Για πρώτη φορά έγινε τεχνικά δυνατόν να μετρήσει κάποιος την ταχύτητα των γαλαξιών σε σχέση με την απόσταση τους από τη Γη.
- Ο Hubble περίμενε να μετρήσει τους μισούς γαλαξίες να απομακρύνονται από τη Γη (red shifted) και τους άλλους μισούς να πλησιάζουν (blue shifted)
- Αυτό που μέτρησε ήταν πως όλοι οι γαλαξίες απομακρύνονταν από τη Γη.

Ο νόμος του Hubble

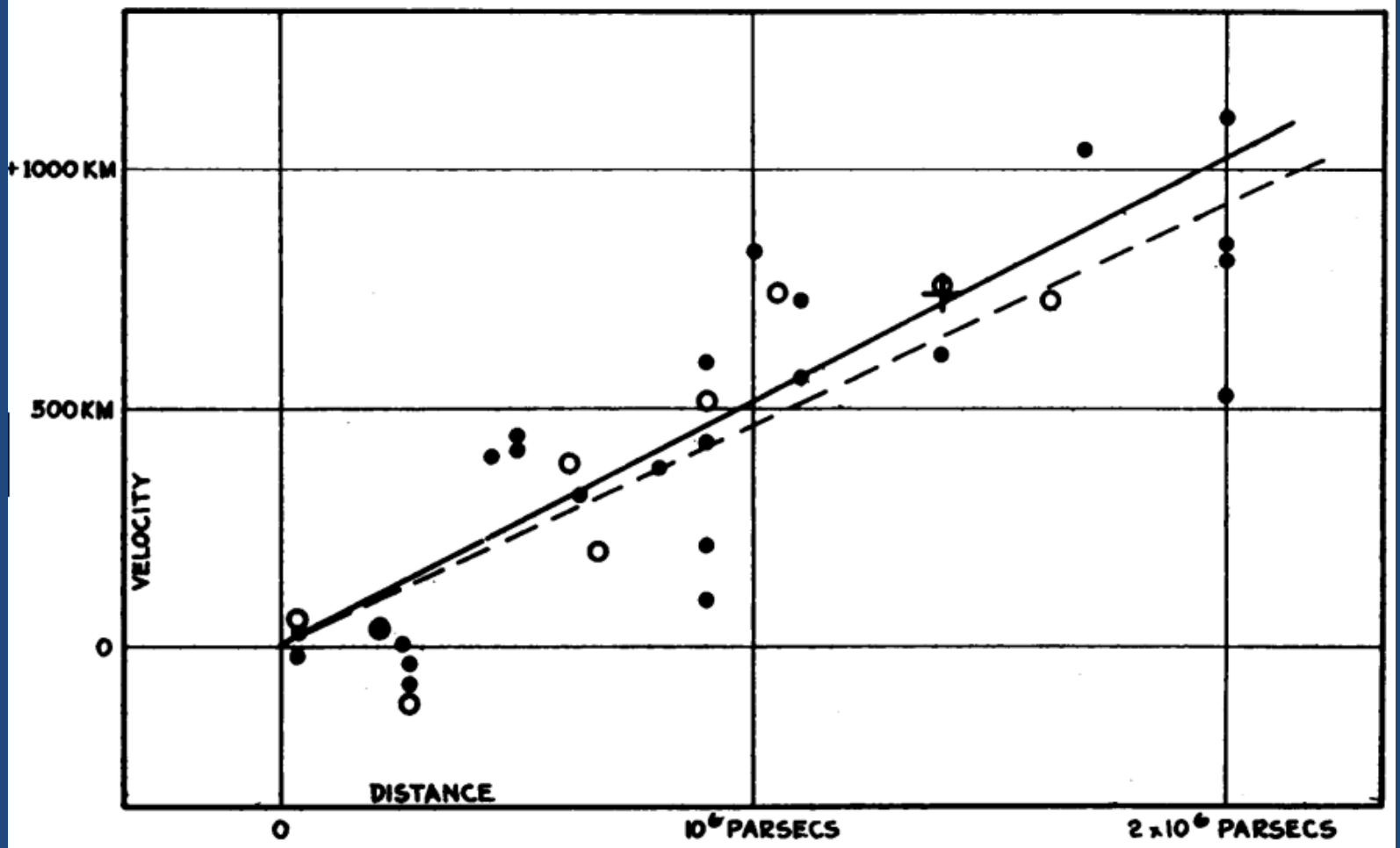


FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Το Σύμπαν διαστέλλεται

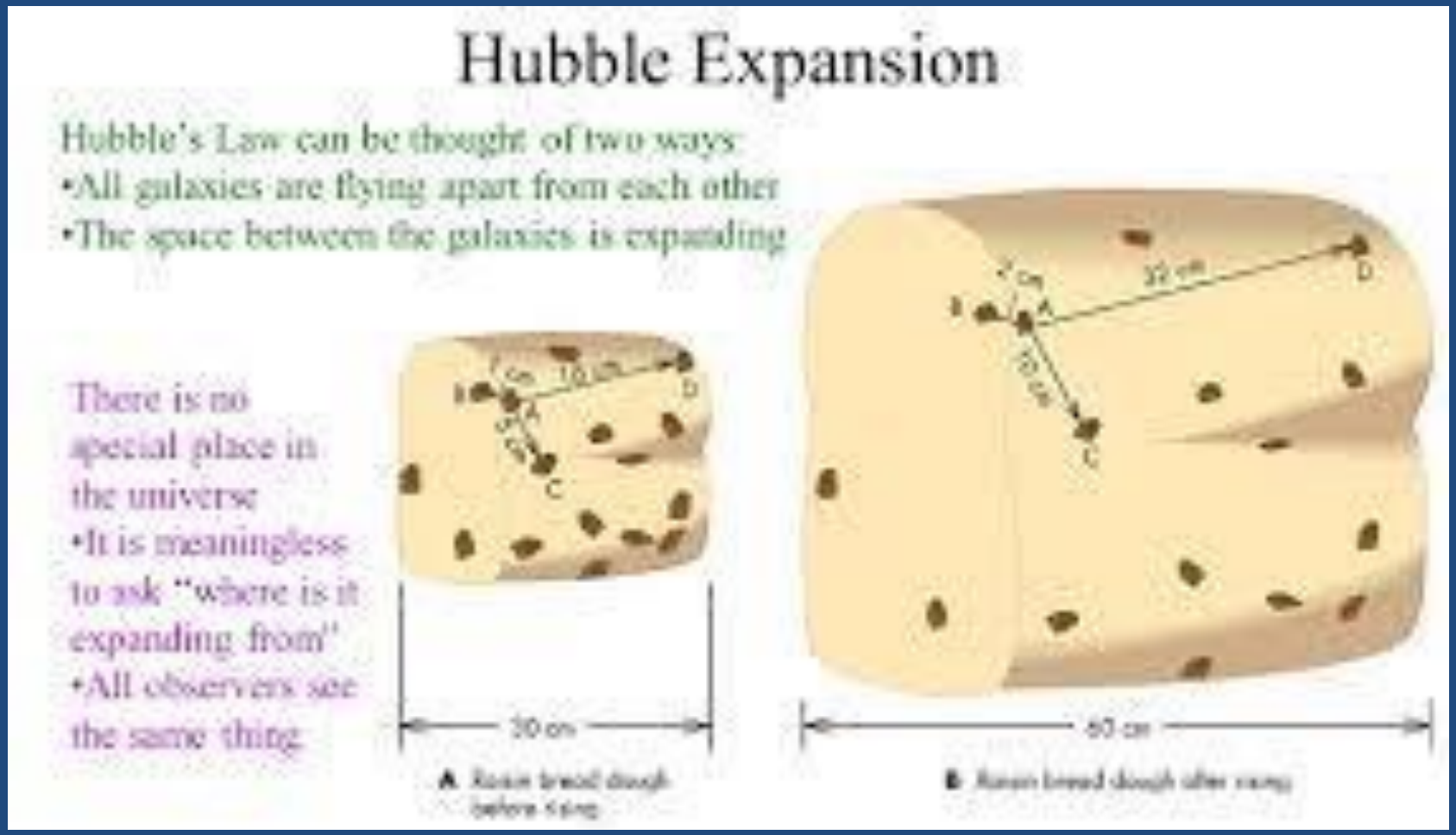
Οι γαλαξίες απομακρύνονται

Η απομάκρυνση των γαλαξιών χώρος 2 διαστάσεων

Η απομάκρυνση των γαλαξιών

- Ας φανταστούμε όντα δύο διαστάσεων που βρίσκονται πάνω στο μπαλόνι.
  Ας φανταστούμε 2 μυρμήγκια
- Πώς θα αντιλαμβάνονταν την απομάκρυνση των γαλαξιών;
- Τι θα γίνει αν χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά μπαλόνια;
- Η διαστολή έχει ή όχι κέντρο;

Το κέικ φουσκώνει,
οι σταφίδες απομακρύνονται

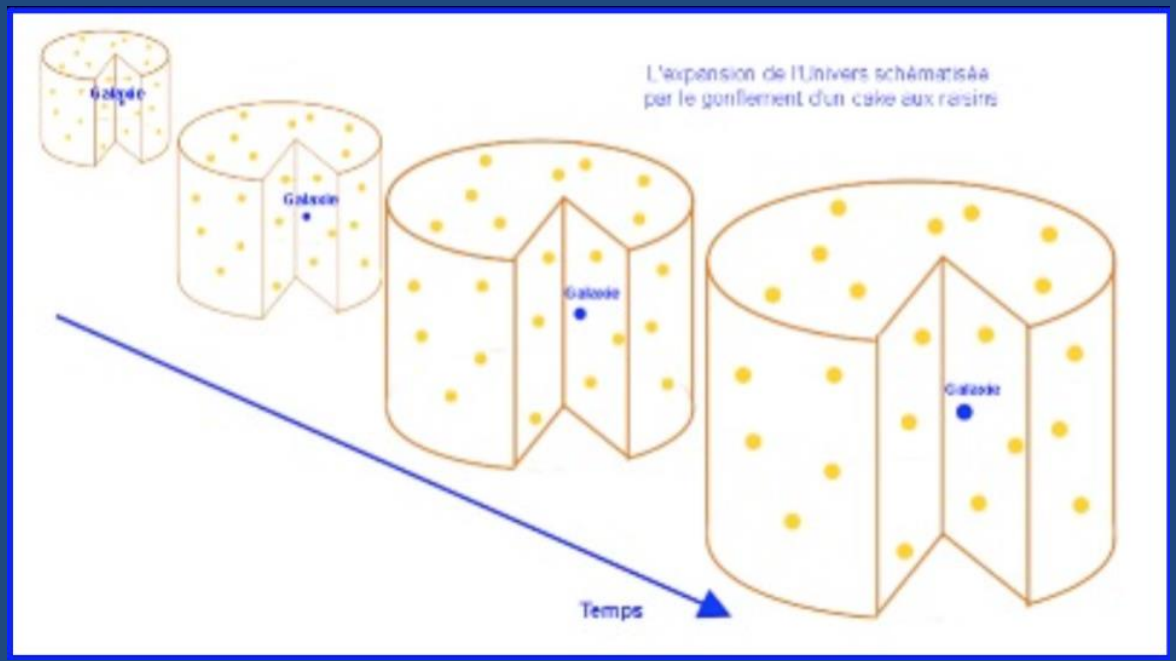


Νόμος του Hubble

- Πώς μπορούμε να υπολογίσουμε απλά τον νόμο του Hubble;
- Μετράμε την απόσταση ανάμεσα σε 2 σταφίδες
- Μετά από 2 λεπτά υπολογίζουμε τη νέα απόσταση
- Υπολογίζουμε την ταχύτητα με την οποία απομακρύνονται οι σταφίδες

Νόμος του Hubble

- Πώς μπορούμε να υπολογίσουμε απλά τον νόμο του Hubble;
- Μετράμε την απόσταση ανάμεσα σε 2 σταφίδες
- Μετά από 2 λεπτά υπολογίζουμε τη νέα απόσταση
- Υπολογίζουμε την ταχύτητα με την οποία απομακρύνονται οι σταφίδες



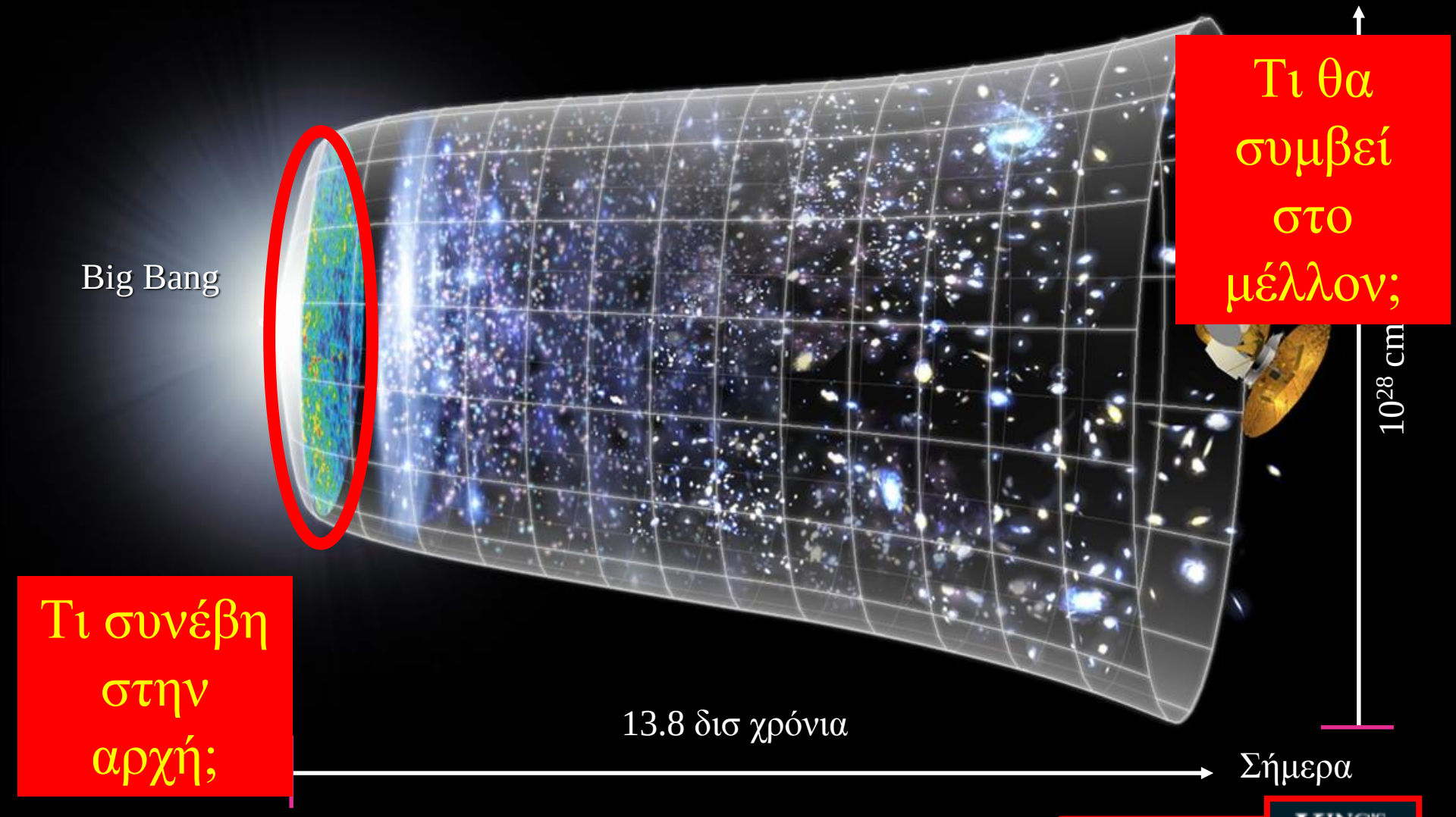
Μάντεψε ποιος

Μετά τη μεγάλη ανακάλυψη του Hubble
ποιος σκαρφάλωσε στο βουνό Wilson
για να παρατηρήσει την κίνηση των γαλαξιών;

Γιατί είναι σημαντική η ανακάλυψη;

Τι είναι η καμπύλωση του χωρόχρονου;

Η εξέλιξη του Σύμπαντος

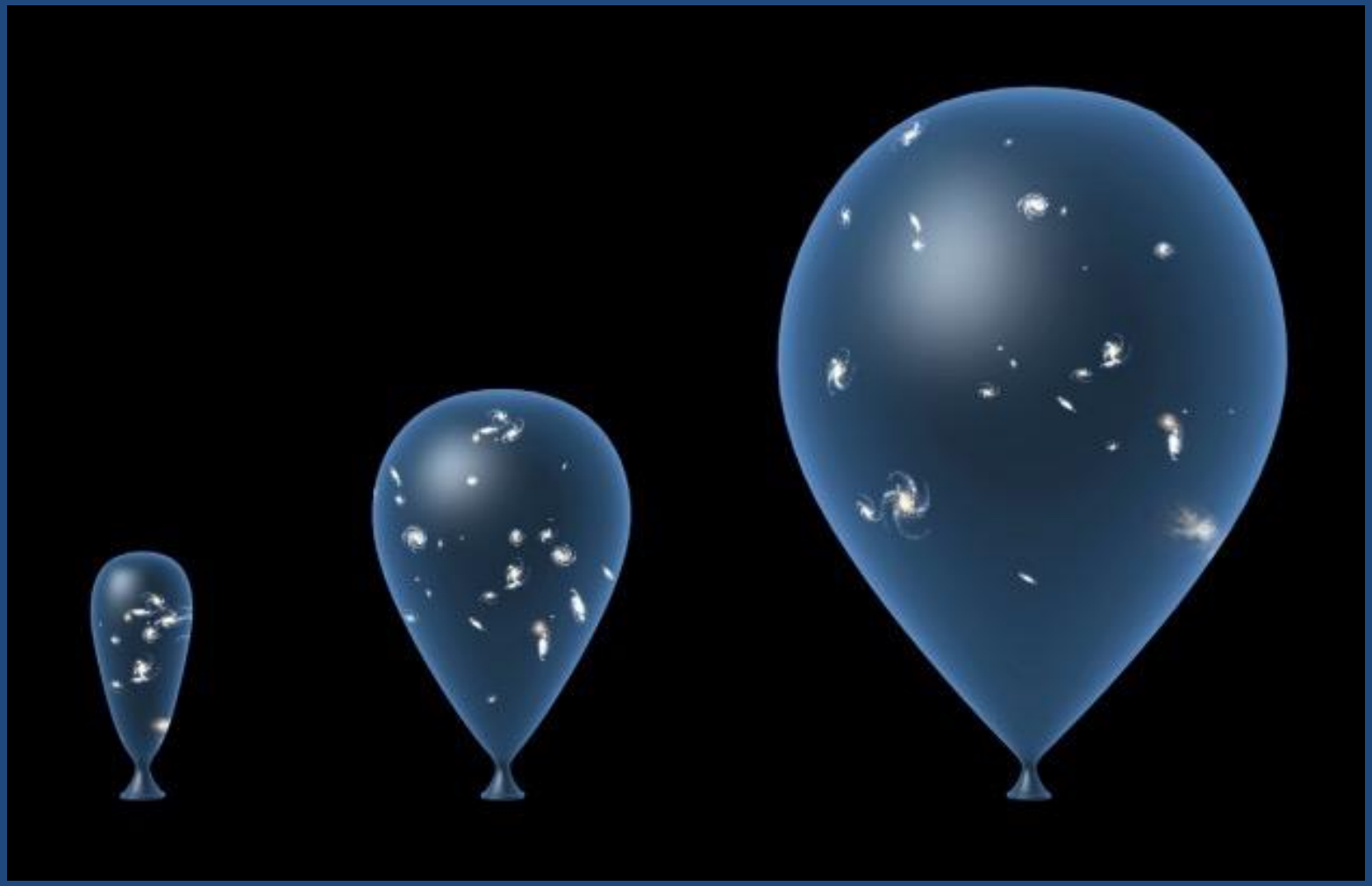


John Ellis
KING'S College LONDON

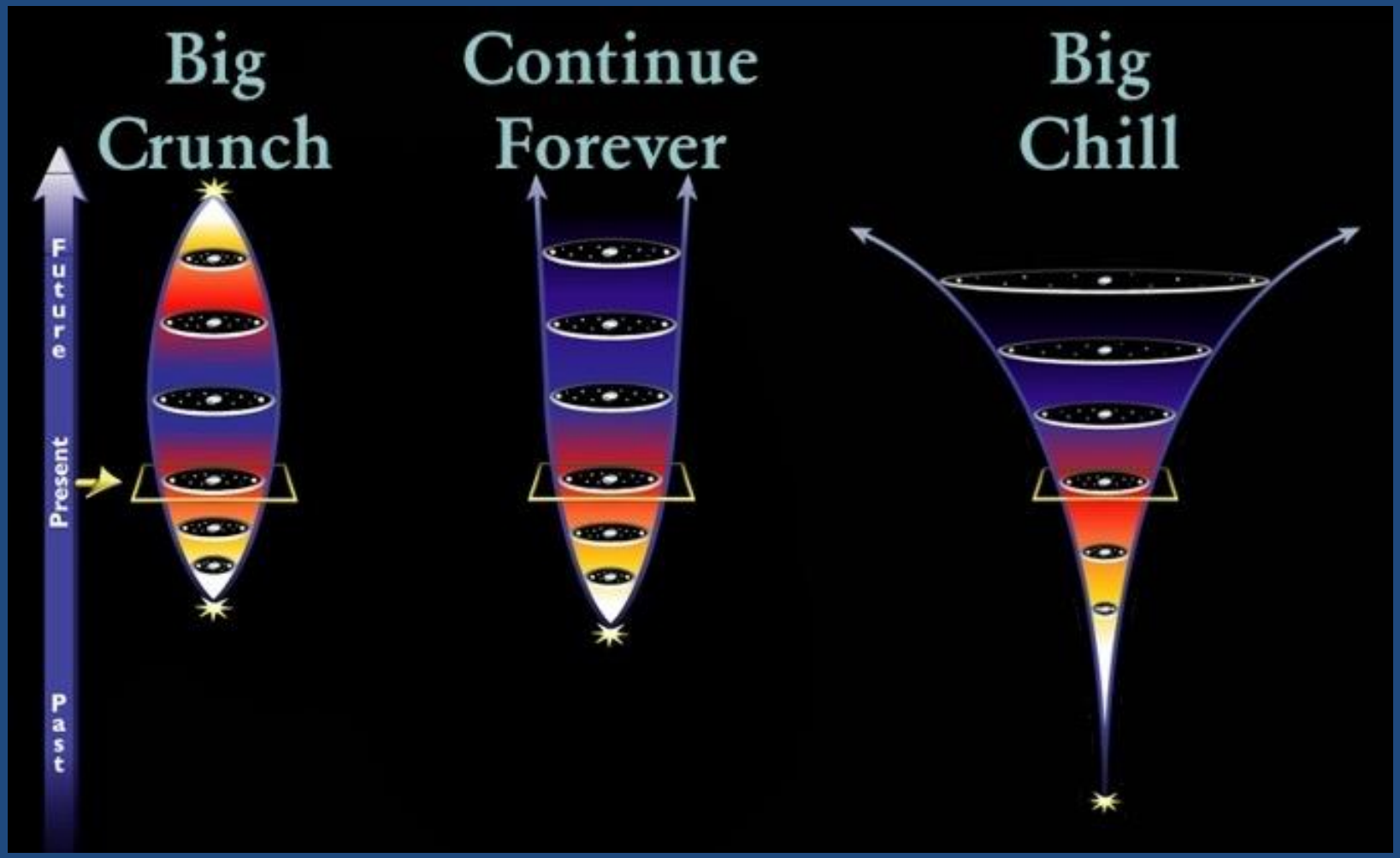
Το Καθιερωμένο Κοσμολογικό Μοντέλο

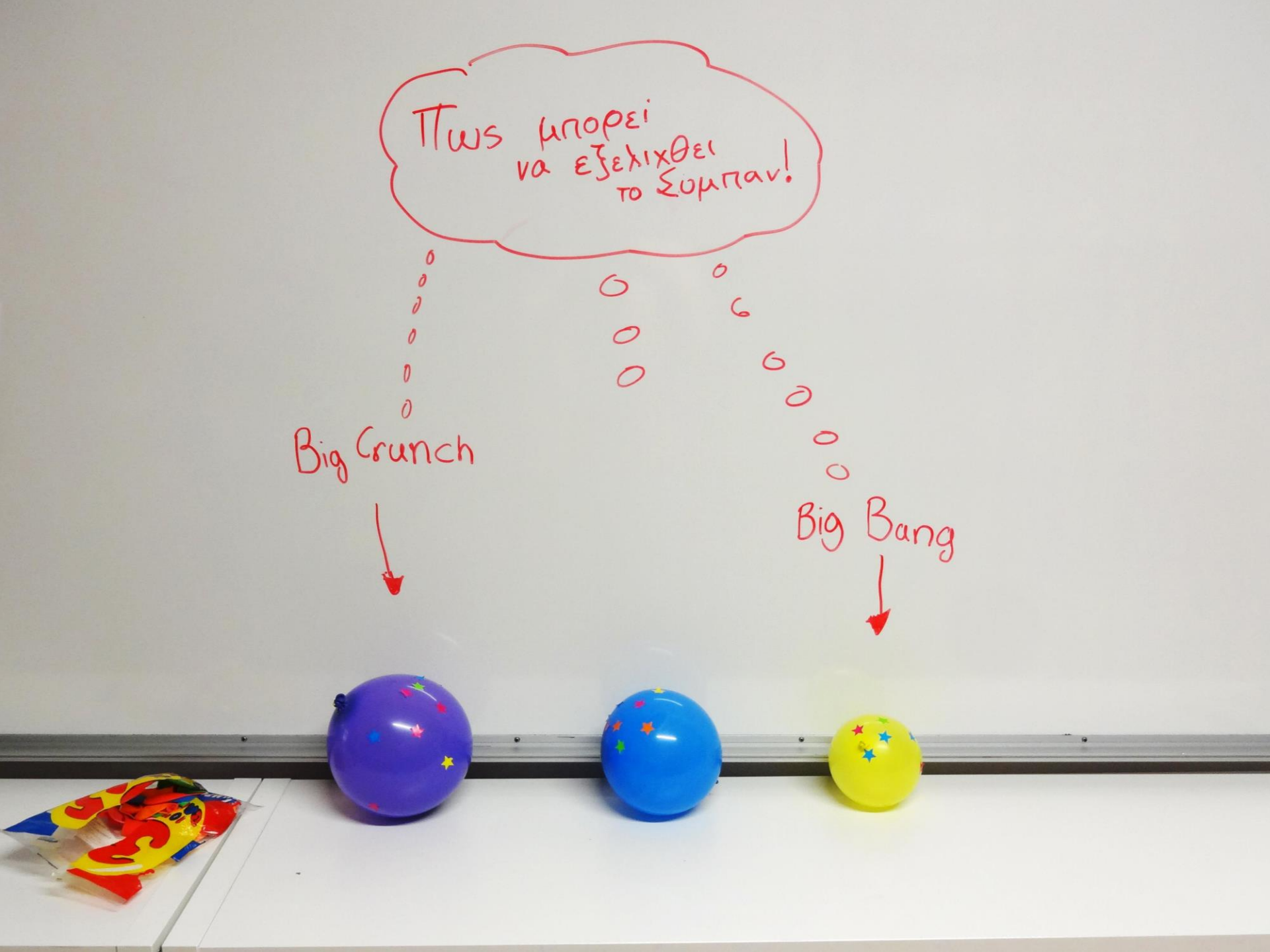
- Το Σύμπαν αποτελείται από ορατή ύλη, διάχυτη ακτινοβολία, σκοτεινή ύλη και σκοτεινή ενέργεια.
- Το Σύμπαν διαστέλλεται.
- Σε μεγάλη κλίμακα το Σύμπαν είναι ομοιογενές και ισότροπο.

Πώς θα δείξουμε το Big Bang ;

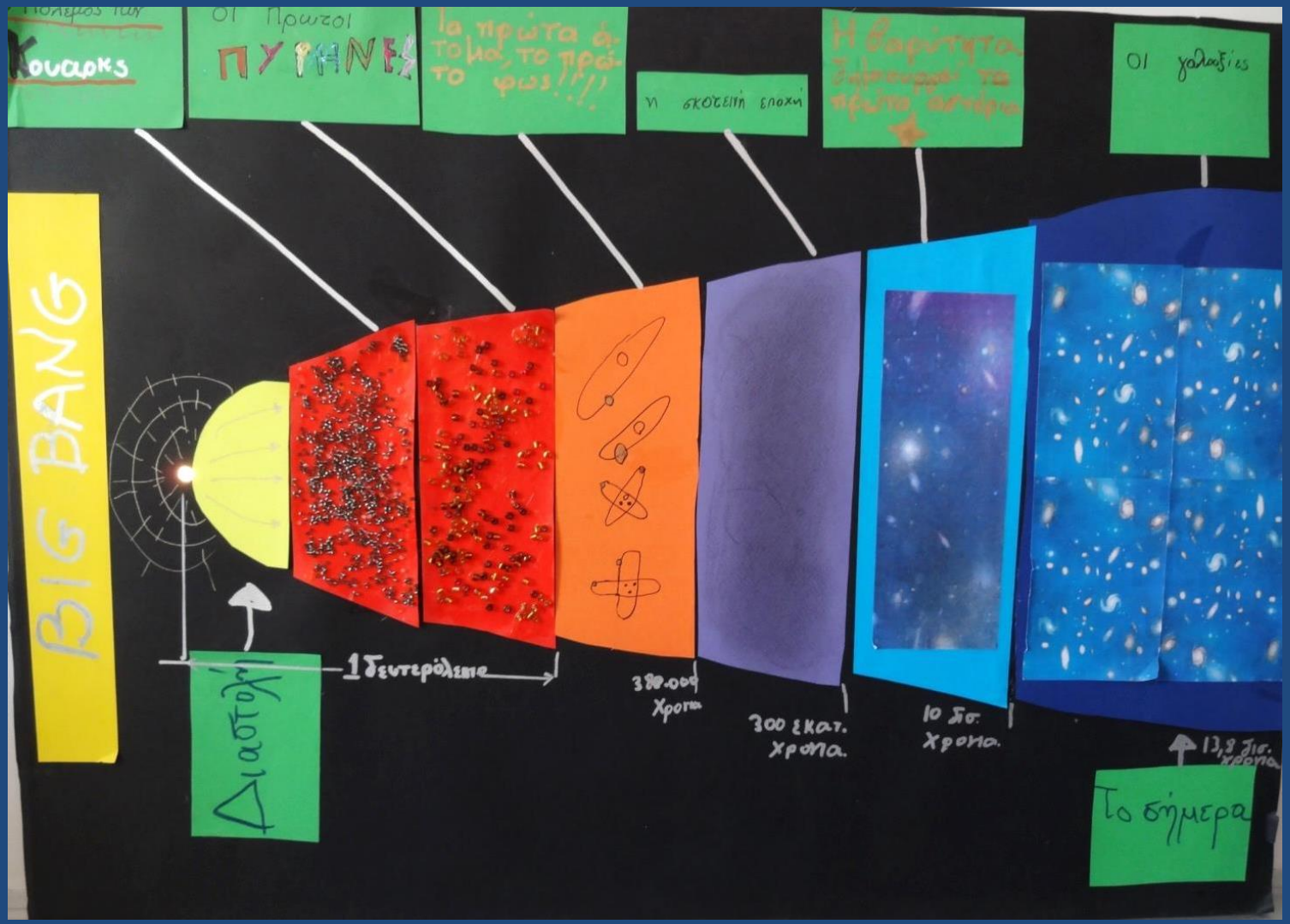


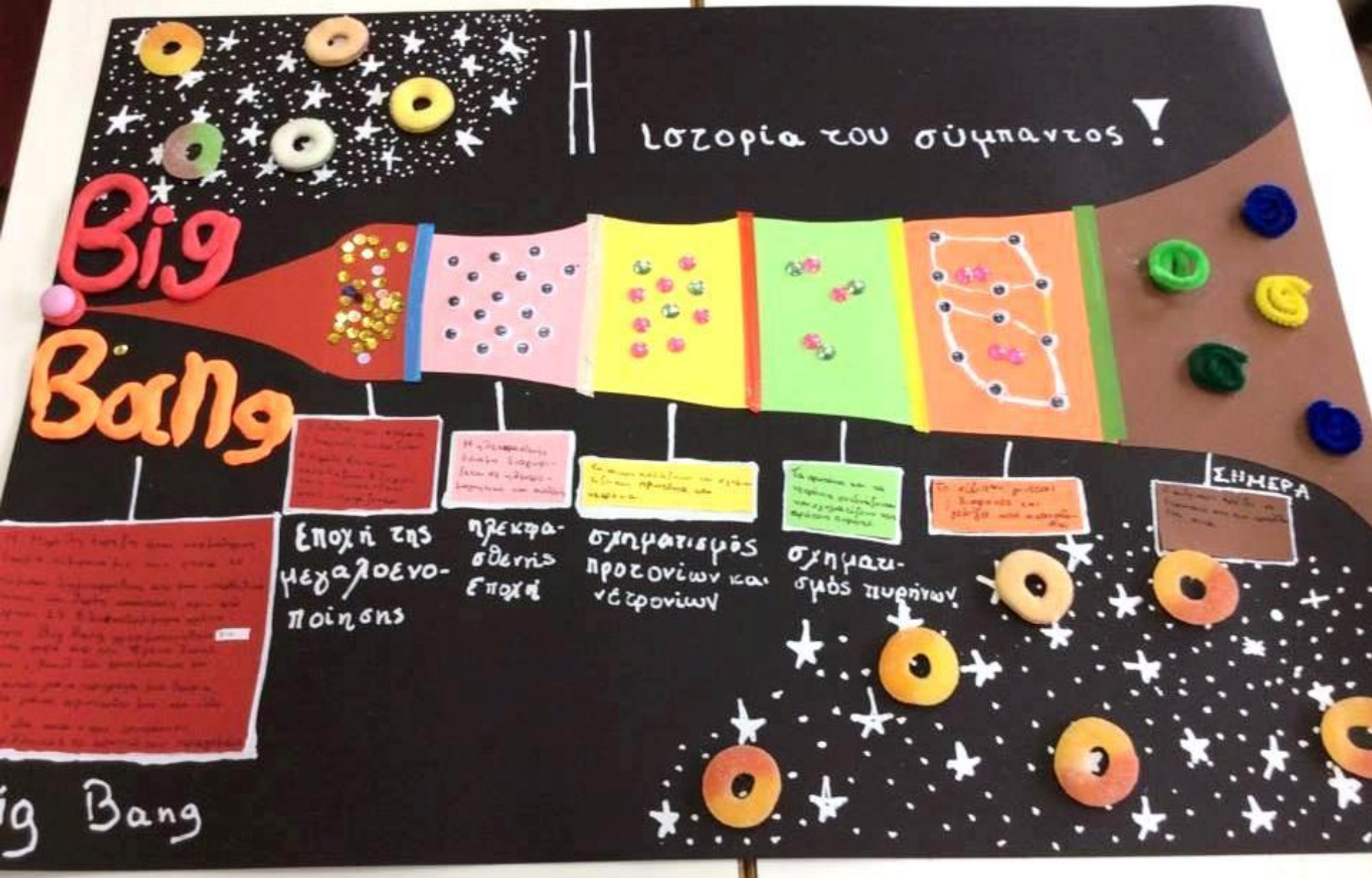
Πώς θα εξελιχθεί το Σύμπαν;




Πως μπορεί
να εξελιχθεί
το Σύμπαν!
Big Crunch
Big Bang

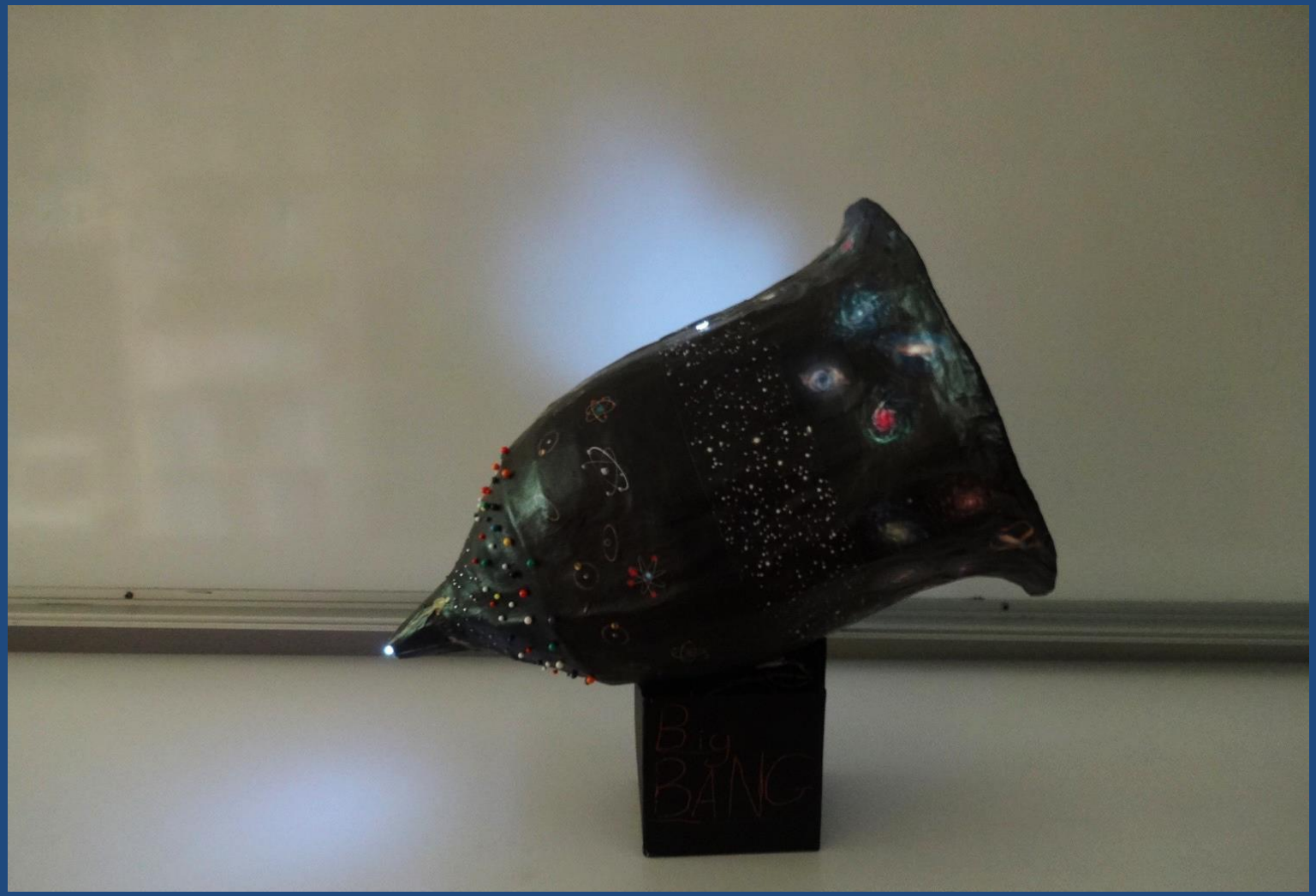
Η ιστορία του Σύμπαντος



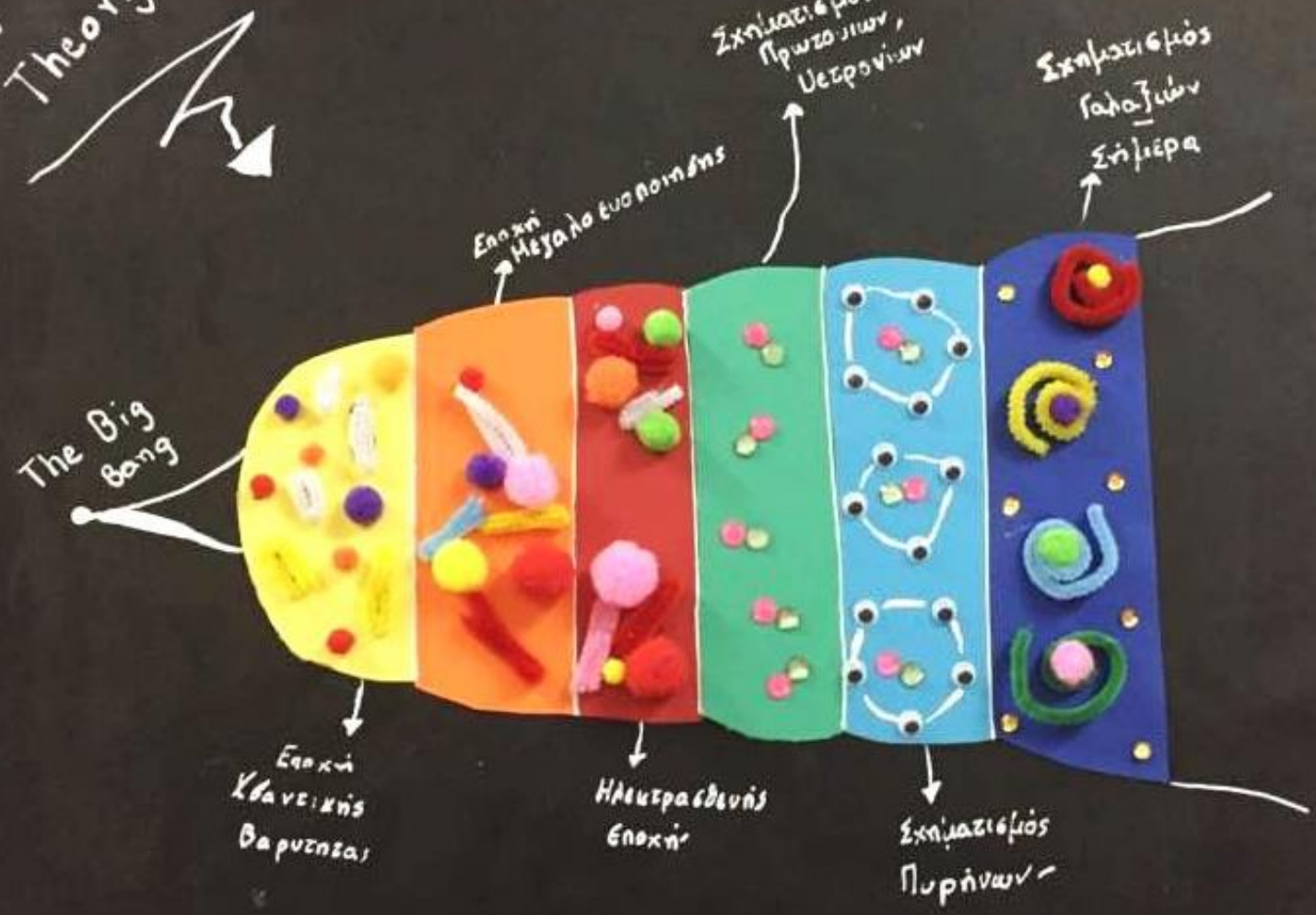

Ιστορία του σύμπαντος!
Big Bang
Εποχή της μεγαλοενοποίησης
πλεκτροαδυνής Εποχή
σχηματισμός πρωτονίων και νετρονίων
σχηματισμός πυρήνων
ΣΗΜΕΡΑ
ig Bang

To Big Bang

Η αρχή του Σύμπαντος είναι το φως



The Big Bang Theory...

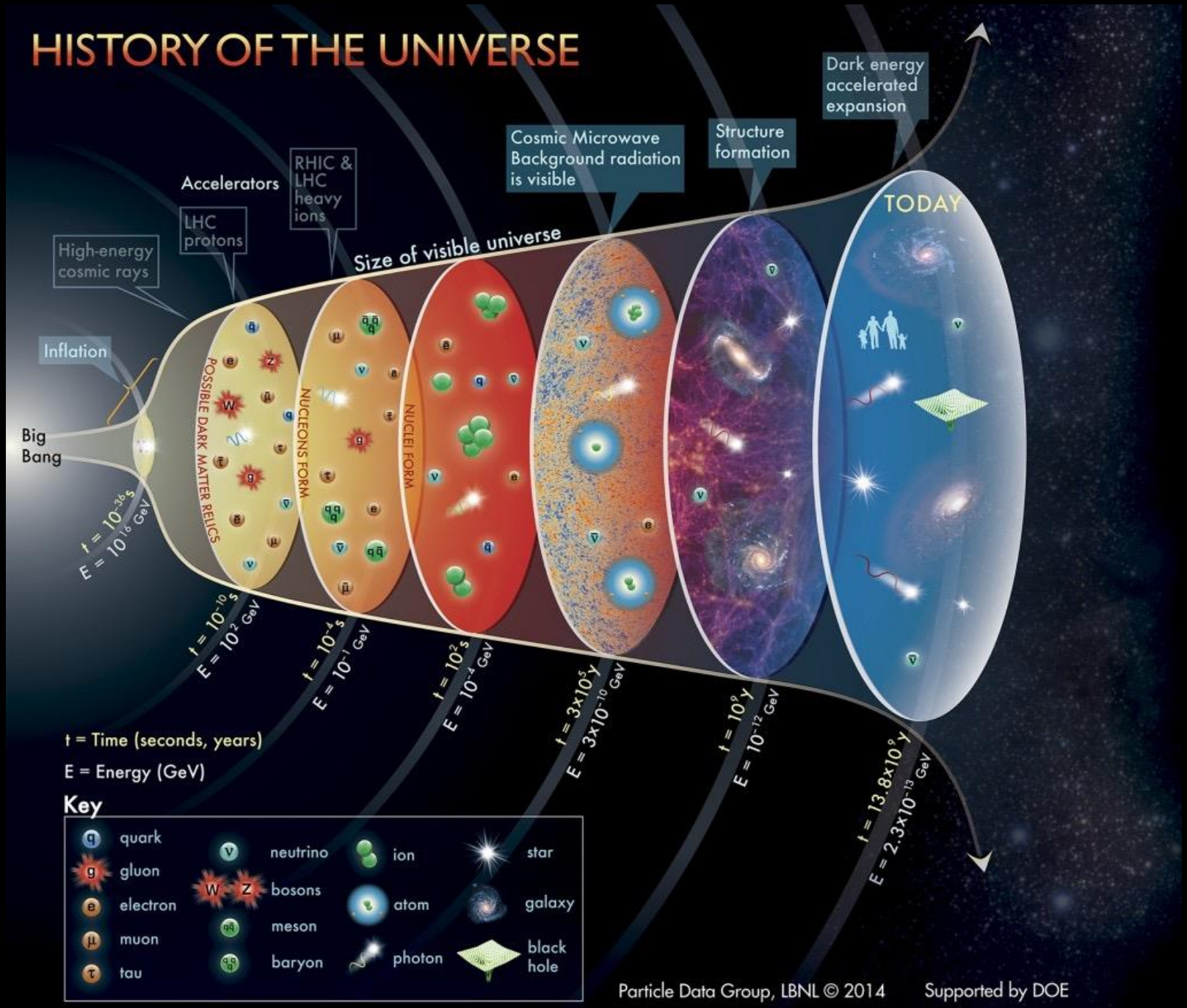


Χρήστος Τζώνης
Μαριλένα Μαριάνα

Φτιάξε την δική σου κατασκευή

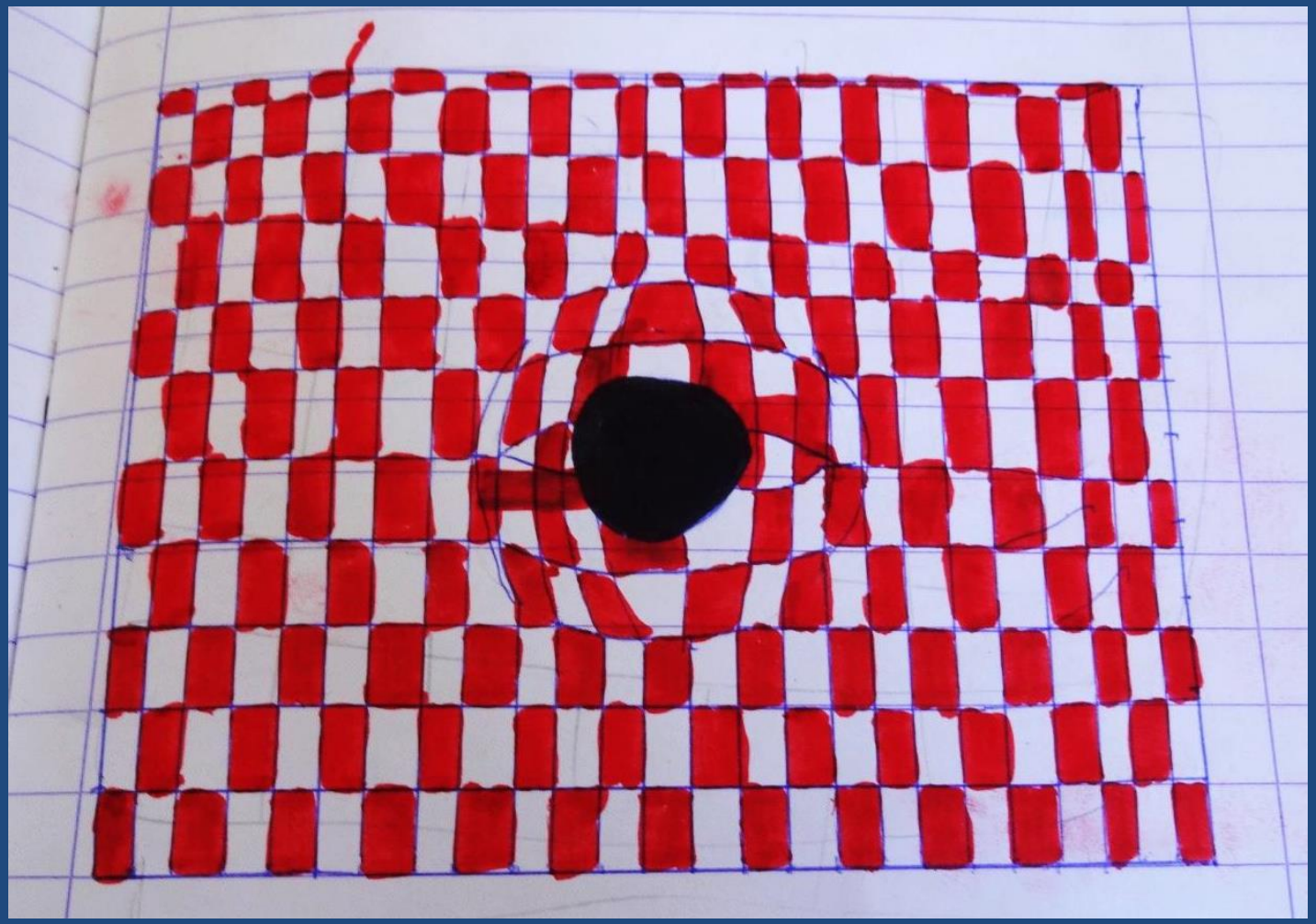
Χρησιμοποίησε τα παρακάτω υλικά:

- Χαρτόνια
- Καλώδια
- Λαμπάκια
- Μπαταρία

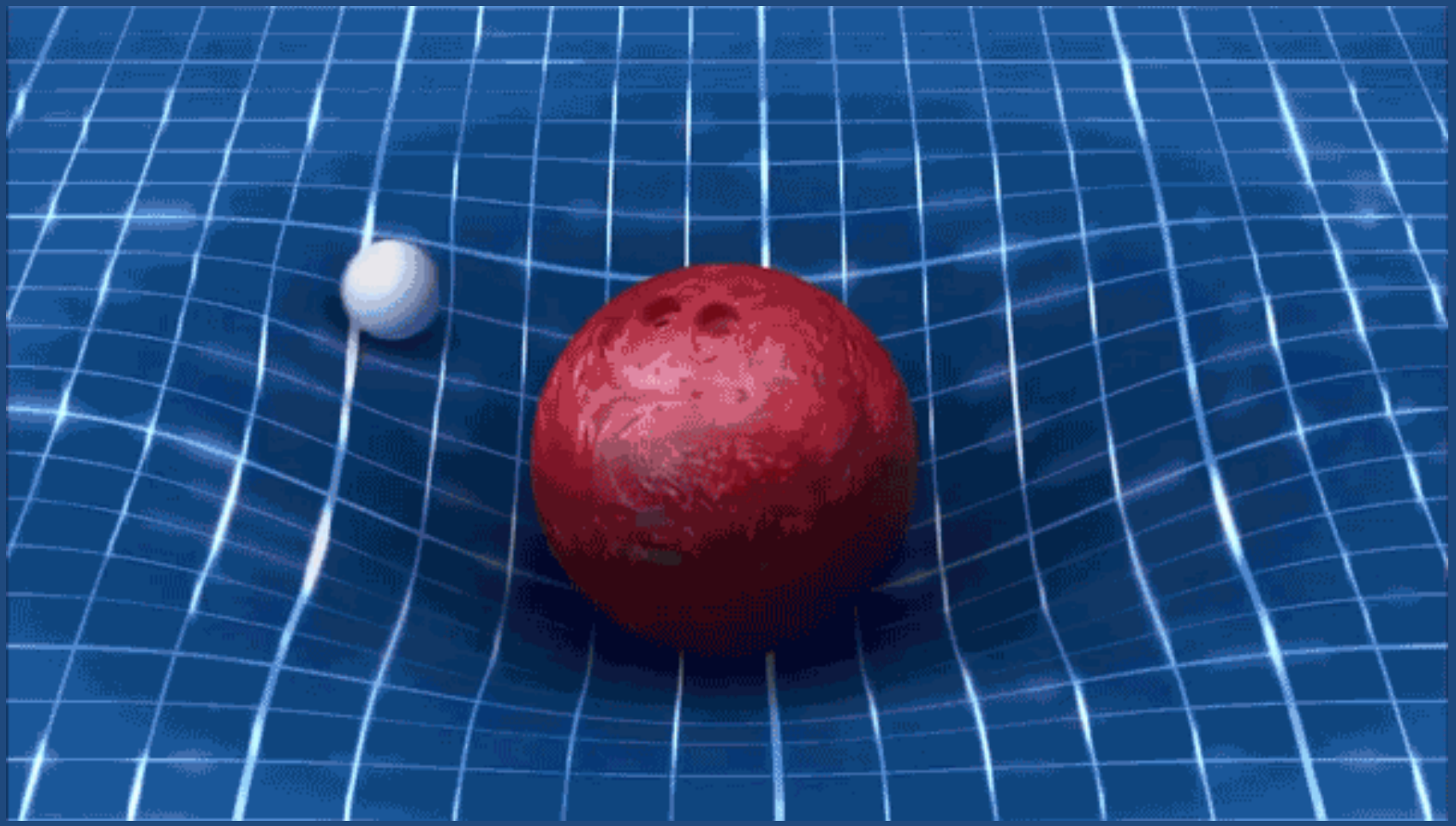

HISTORY OF THE UNIVERSE
Dark energy accelerated expansion
Structure formation
Cosmic Microwave Background radiation is visible
Accelerators
RHIC & LHC heavy ions
LHC protons
High-energy cosmic rays
Size of visible universe
TODAY
Inflation
Big Bang
POSSIBLE DARK MATTER RELICS
NUCLEONS FORM
NUCLEI FORM
t = 10^-36 s
E = 10^16 GeV
t = 10^-10 s
E = 10^2 GeV
t = 10^-4 s
E = 10^-1 GeV
t = 10^2 s
E = 10^-4 GeV
t = 3x10^5 y
E = 3x10^-10 GeV
t = 10^9 y
E = 10^-12 GeV
t = 13.8x10^9 y
E = 2.3x10^-13 GeV
t = Time (seconds, years)
E = Energy (GeV)
Key
quark
gluon
electron
muon
tau
neutrino
bosons
meson
baryon
ion
atom
photon
star
galaxy
black hole
Particle Data Group, LBNL © 2014
Supported by DOE

Το Big Bang

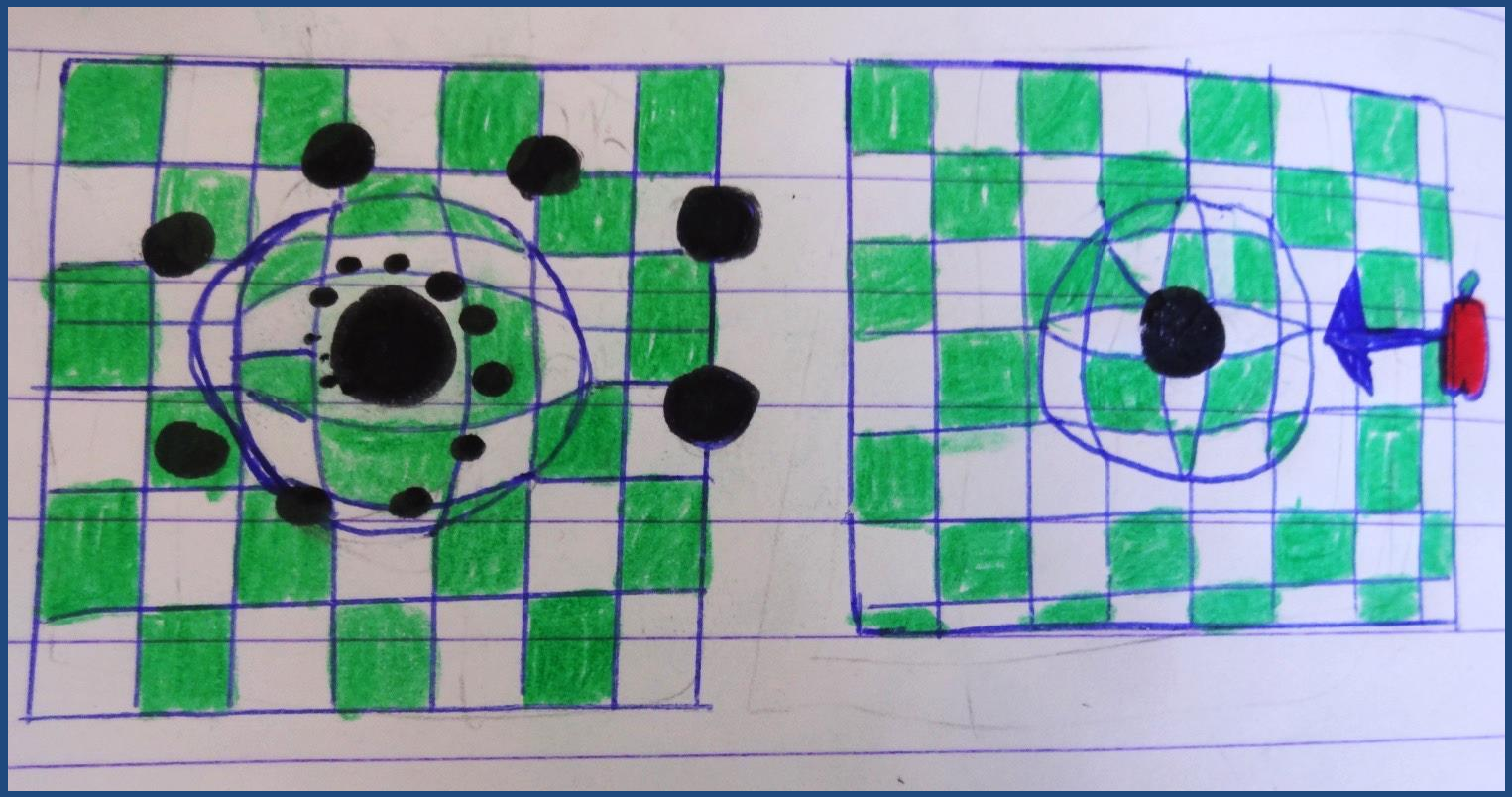
Γενική Θεωρία της Σχετικότητας



Γιατί περιστρέφονται οι πλανήτες γύρω από τον Ήλιο;



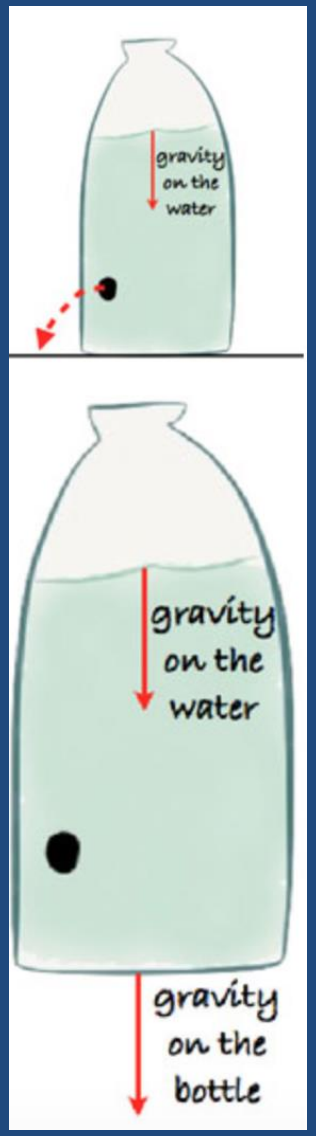
Τι είναι στην πραγματικότητα η βαρύτητα; Καμπύλωση του χωρόχρονου



Το πείραμα με το μπουκάλι

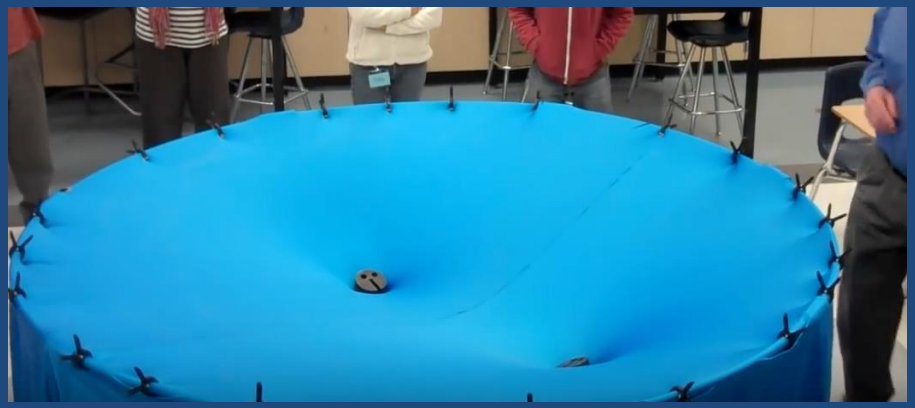
Τι είναι η βαρύτητα;

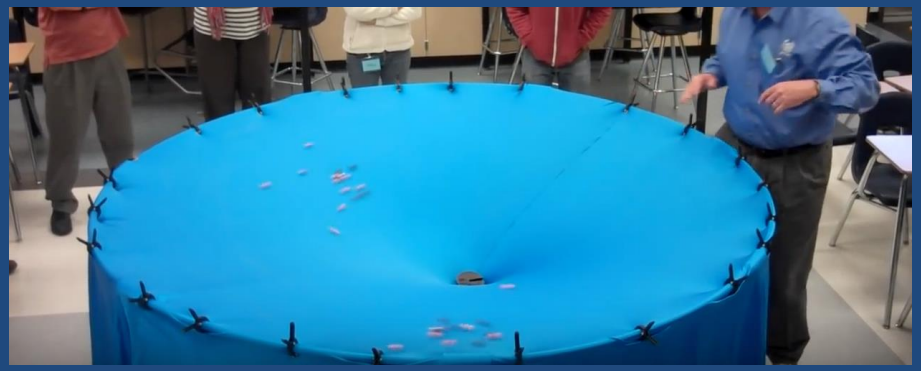
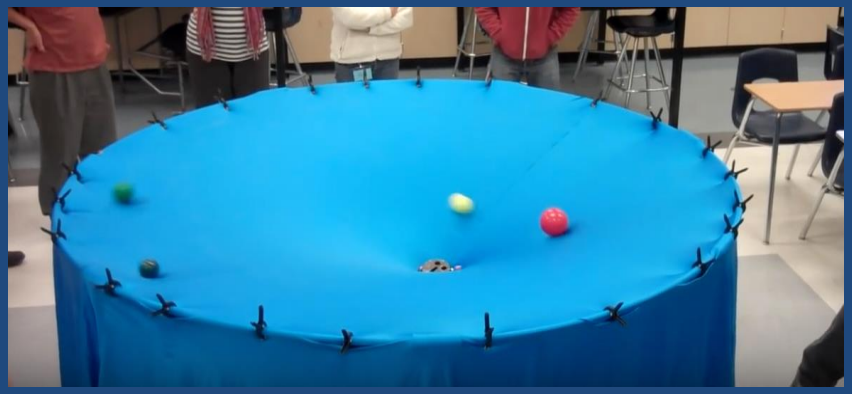
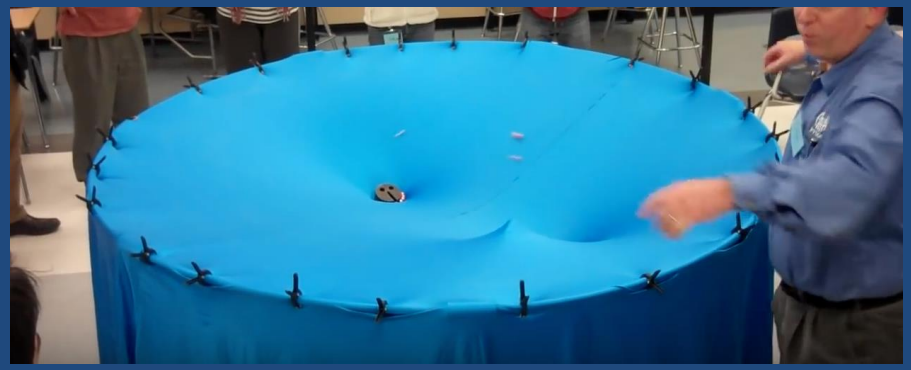
- Γιατί δεν βγαίνει το νερό από την τρύπα αφού υπάρχει η βαρύτητα της Γης;
- Το νερό και το μπουκάλι πέφτουν και τα δυο προς την Γη με τον ίδιο ρυθμό λόγω της βαρύτητας. Το νερό ακολουθεί κατά την πτώση ήδη τον πιο σύντομο δρόμο προς την Γη, πηγαίνει κάτω μαζί με το μπουκάλι!


gravity
on the
water
gravity
on the
water
gravity
on the
bottle

Γιατί πέφτει το μήλο;

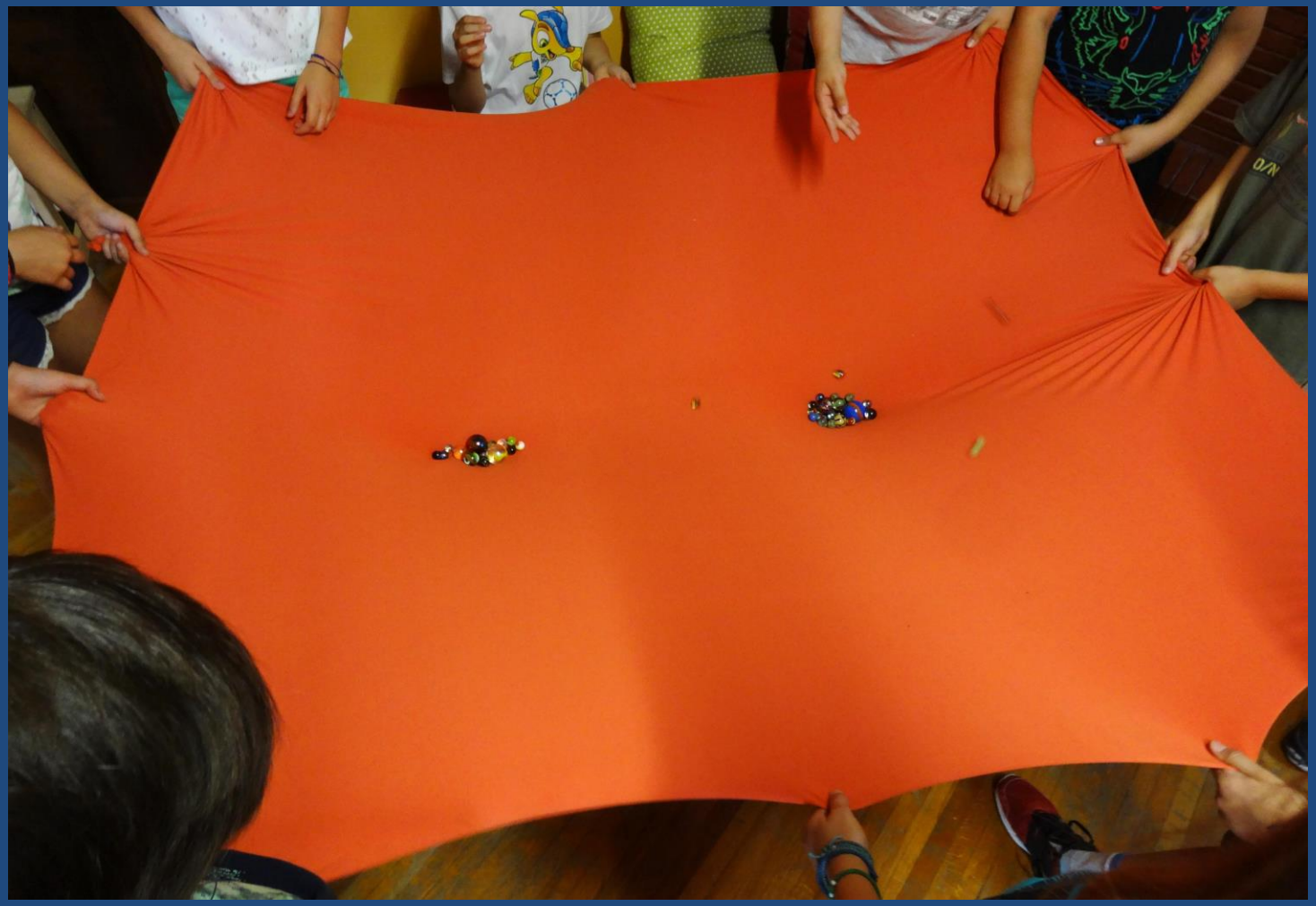
Τι γίνεται με τον χρόνο;



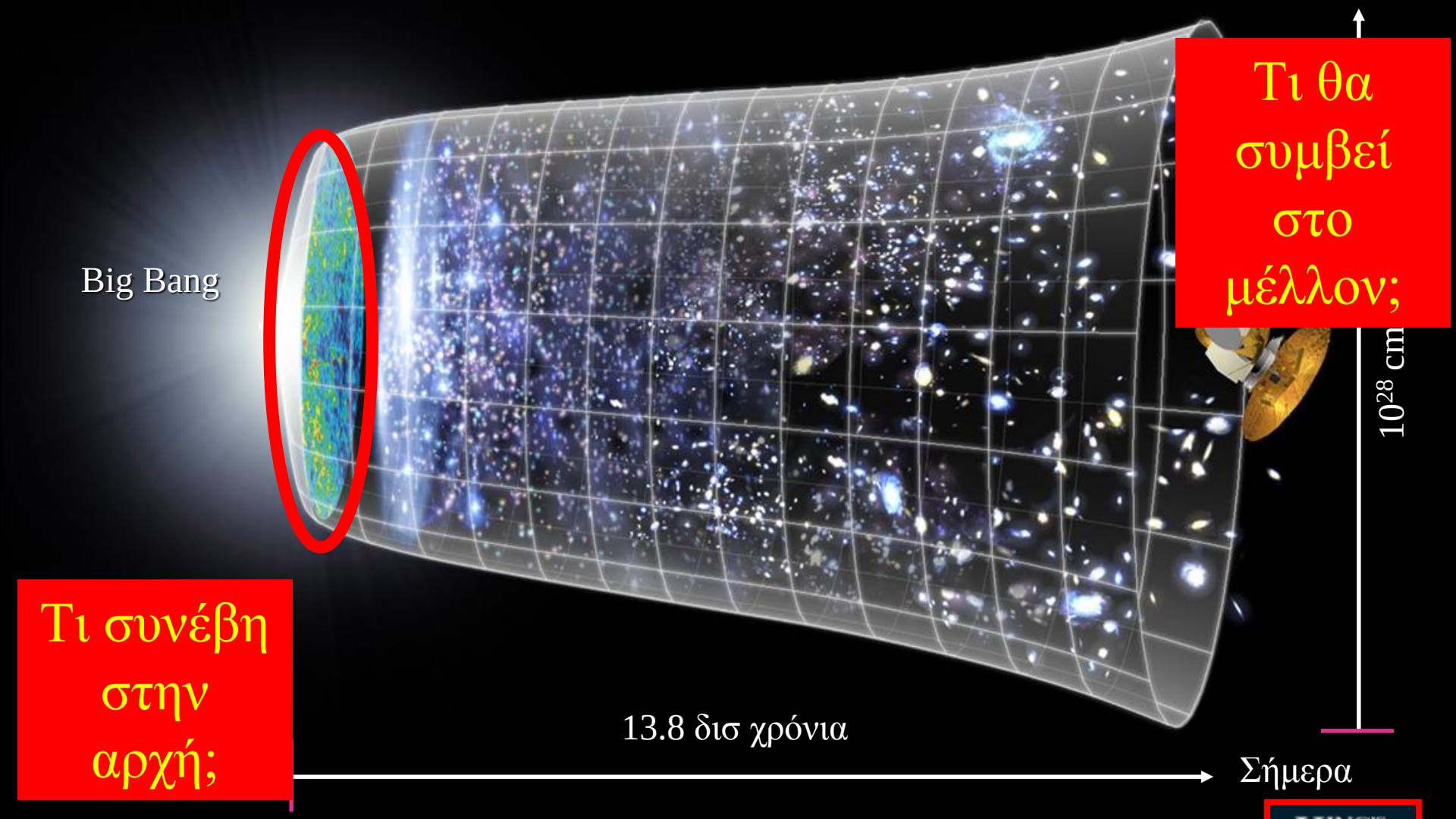




Τι γίνεται στις μαύρες τρύπες;

Η κίνηση των εξωπλανητών γύρω από δύο μαύρες τρύπες



Η εξέλιξη του Σύμπαντος



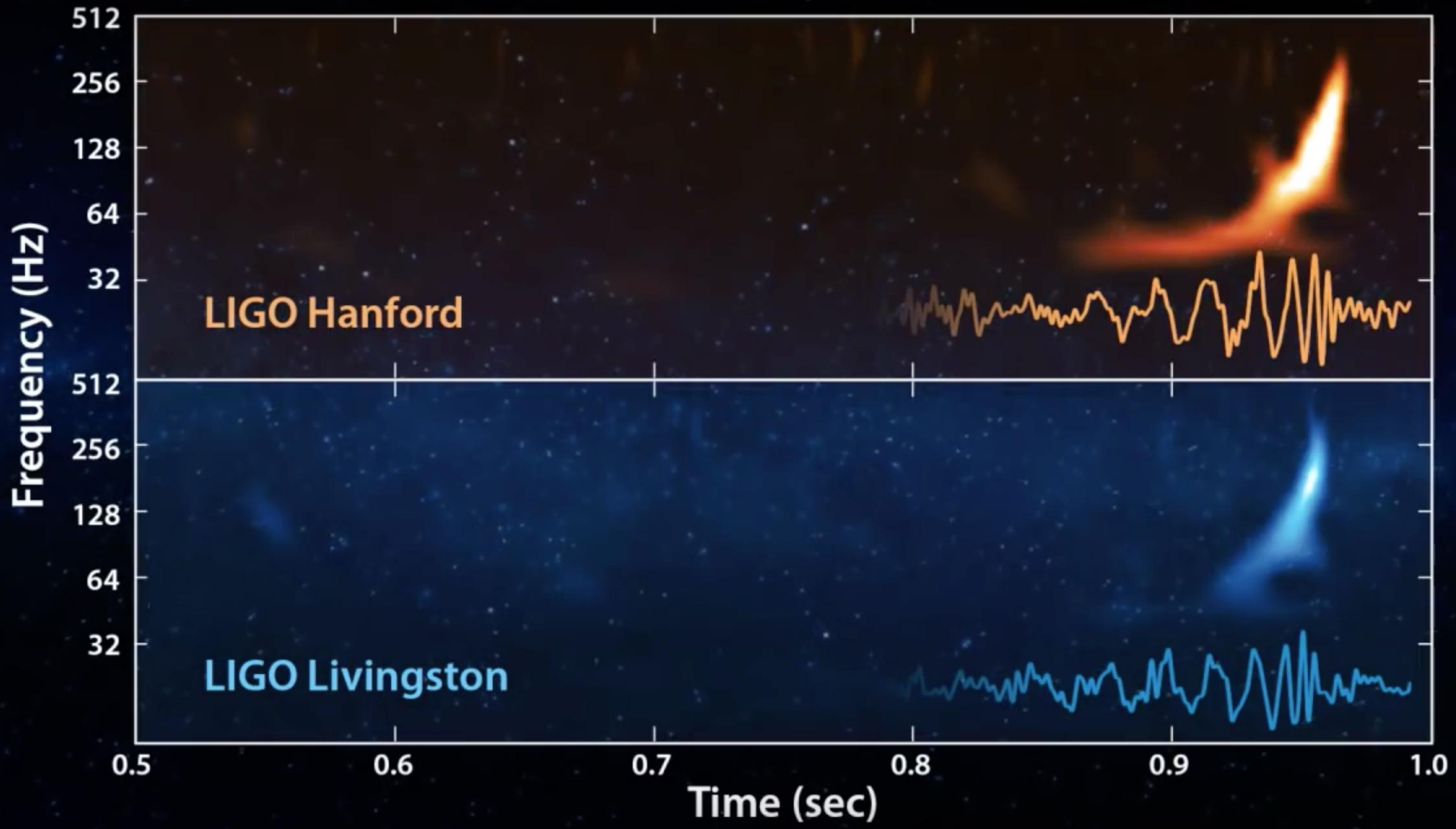
John Ellis
KING'S College LONDON

Τι είναι τα βαρυτικά κύματα;

Τι είναι τα βαρυτικά κύματα

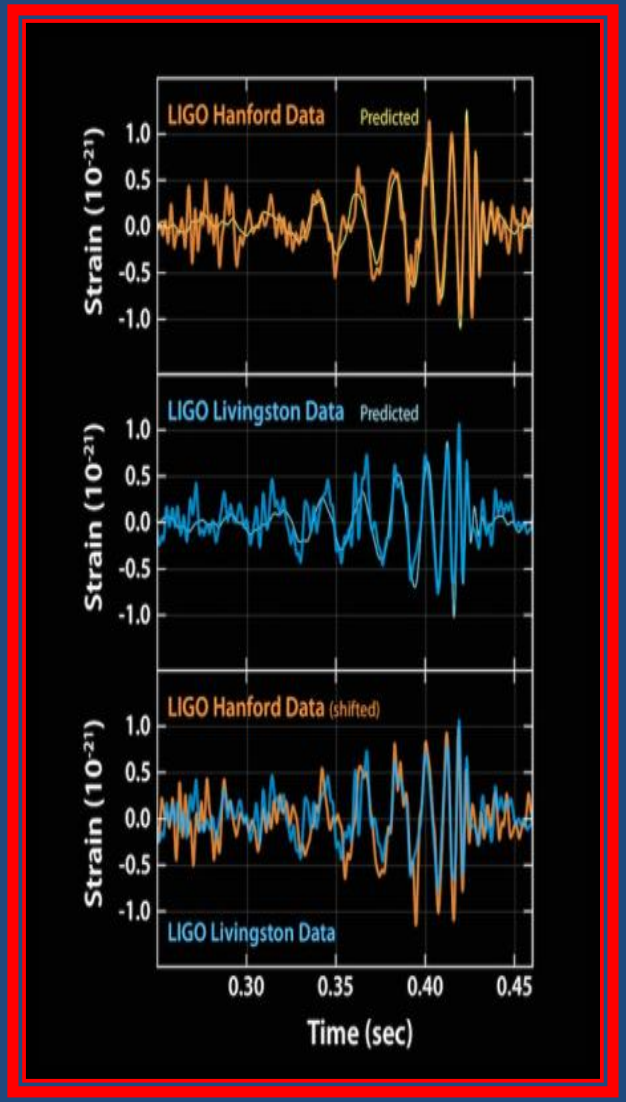
Η βίαιη (μη σημετρική) μετακίνηση μαζών εμφανίζονται ως πτυχώσεις (ταλαντώσεις) στη δομή του χωρόχρονου που μεταδίδονται με την μορφή Βαρυτικών Κυμάτων.

LIGO Gravitational Wave Chirp



0:03 / 0:12

Το Σήμα που Έφτασε στη Γη



Το πείραμα LIGO

Οι Πιθανότεροι Νομπελίστες Φυσικής 2018

Rainer Weiss
(MIT)
(MIT)

Kip Thorne
(CalTech)

Ronald Drever
(CalTech)

Οι δημιουργοί του LIGO

Τι είναι η κοσμική ακτινοβολία;

- Οι **κοσμικές ακτίνες** ή **κοσμική ακτινοβολία** είναι μία κατηγορία ακτινοβολίας που αποτελείται από σωματίδια υψηλών ενεργειών τα οποία παράγονται σε κάποιο μέρος του Σύμπαντος μακριά από τη Γη και προσκρούουν στην ατμόσφαιρα της Γης με ανιχνεύσιμα αποτελέσματα.

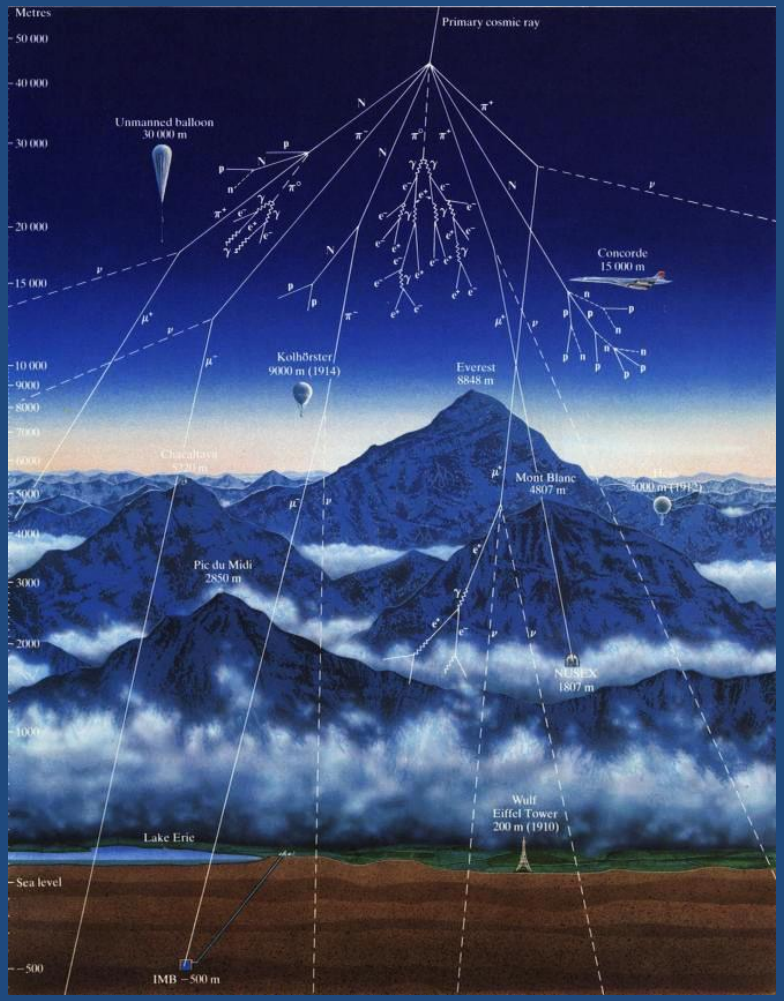
  Μία από τις κύριες πηγές, ίσως και μοναδική, των κοσμικών ακτίνων είναι οι υπερκαινοφανείς αστέρες, οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα την έκληση τεραστίων ποσοτήτων ενεργειών.

Τι είναι η κοσμική ακτινοβολία;

- **Οι κοσμικές ακτίνες** αποτελούνται κυρίως από ατομικούς πυρήνες, δηλαδή θετικά ηλεκτρικώς φορτισμένα σωματίδια, με αναλογία 87% πρωτόνια, 12% σωμάτια άλφα (πυρήνες ηλίου) και λίγους βαρύτερους πυρήνες (οι σχετικές περιεκτικότητες είναι συγκρίσιμες με τις ηλιακές).

  Ωστόσο, ένα μικρό ποσοστό των κοσμικών ακτίνων είναι φωτόνια) πολύ υψηλών ενεργειών.

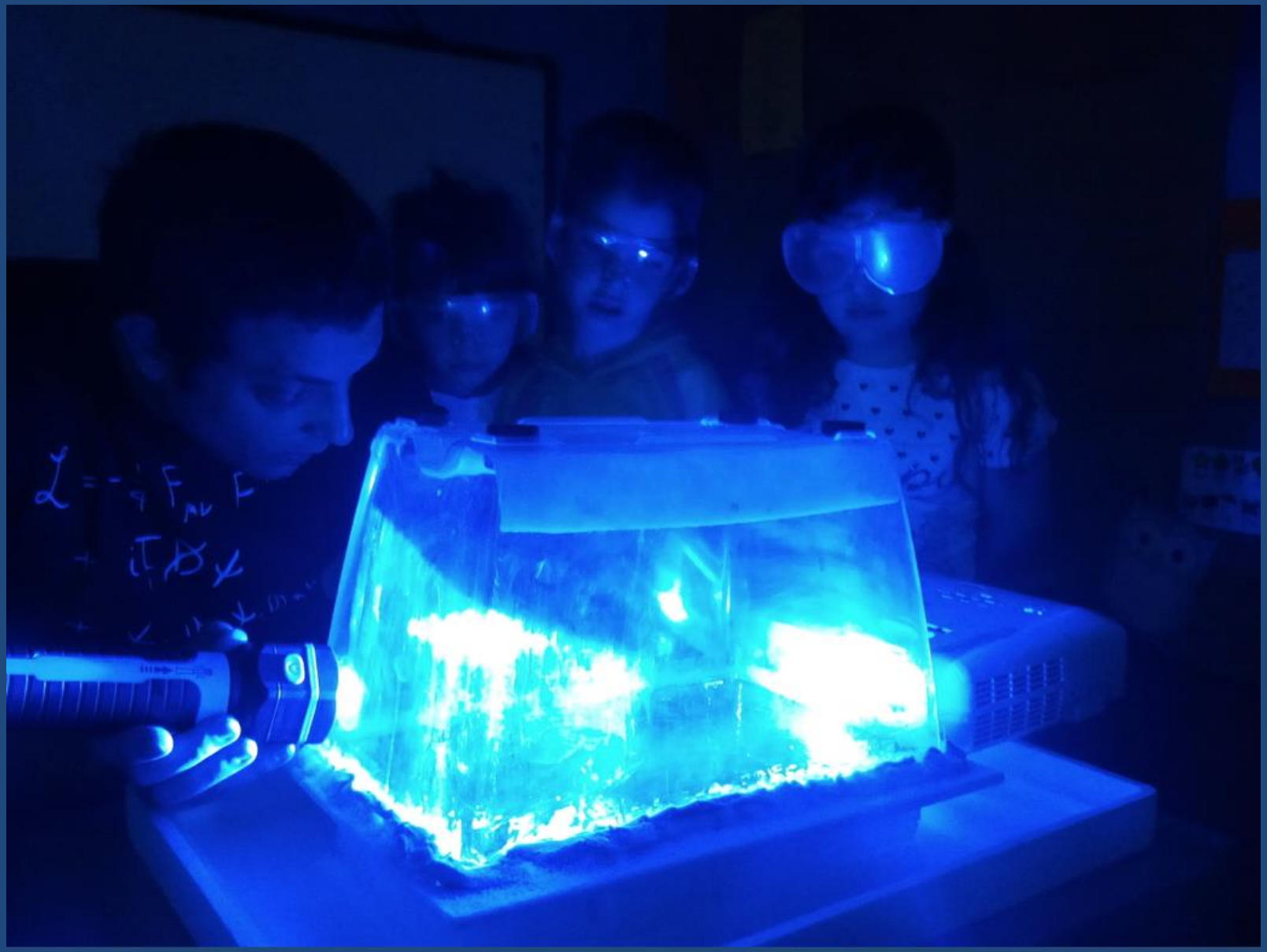
Πώς θα μελετήσουμε την κοσμική ακτινοβολία;



Ηλεκτροσκόπιο, ο πρώτος ανιχνευτής κοσμικής ακτινοβολίας

1.Ένα φαινόμενο που είχε παρατηρηθεί από τους φυσικούς του 18ου αιώνα ήταν η αυθόρμητη εκφόρτιση των ηλεκτροσκοπίων, παρά την ενίσχυση της μόνωσής τους.
Αναζήτηση για μια ερμηνεία του φαινομένου ,οδήγησε στην ανακάλυψη των κοσμικών ακτίνων.
2. Στις 7 Αυγούστου του 1912, ο Hess έκανε μετρήσεις σε ύψος 5300 μέτρων, κατά την διάρκεια μιας σχεδόν ολικής έκλειψης του Ηλίου. Επειδή ο ιονισμός της ατμόσφαιρας δεν μειώθηκε κατά τη διάρκεια της έκλειψης, υποστήριξε ότι η πηγή της ακτινοβολίας δεν ήταν ο Ήλιος, αλλά το απώτερο διάστημα.
3. Ψηλά στην ατμόσφαιρα της Γης ο Hess είχε ανακαλύψει μια φυσική πηγή σωματιδίων υψηλής ενέργειας: τις κοσμικές ακτίνες.
Και για αυτό βραβεύτηκε με το νόμπελ φυσικής το 1936

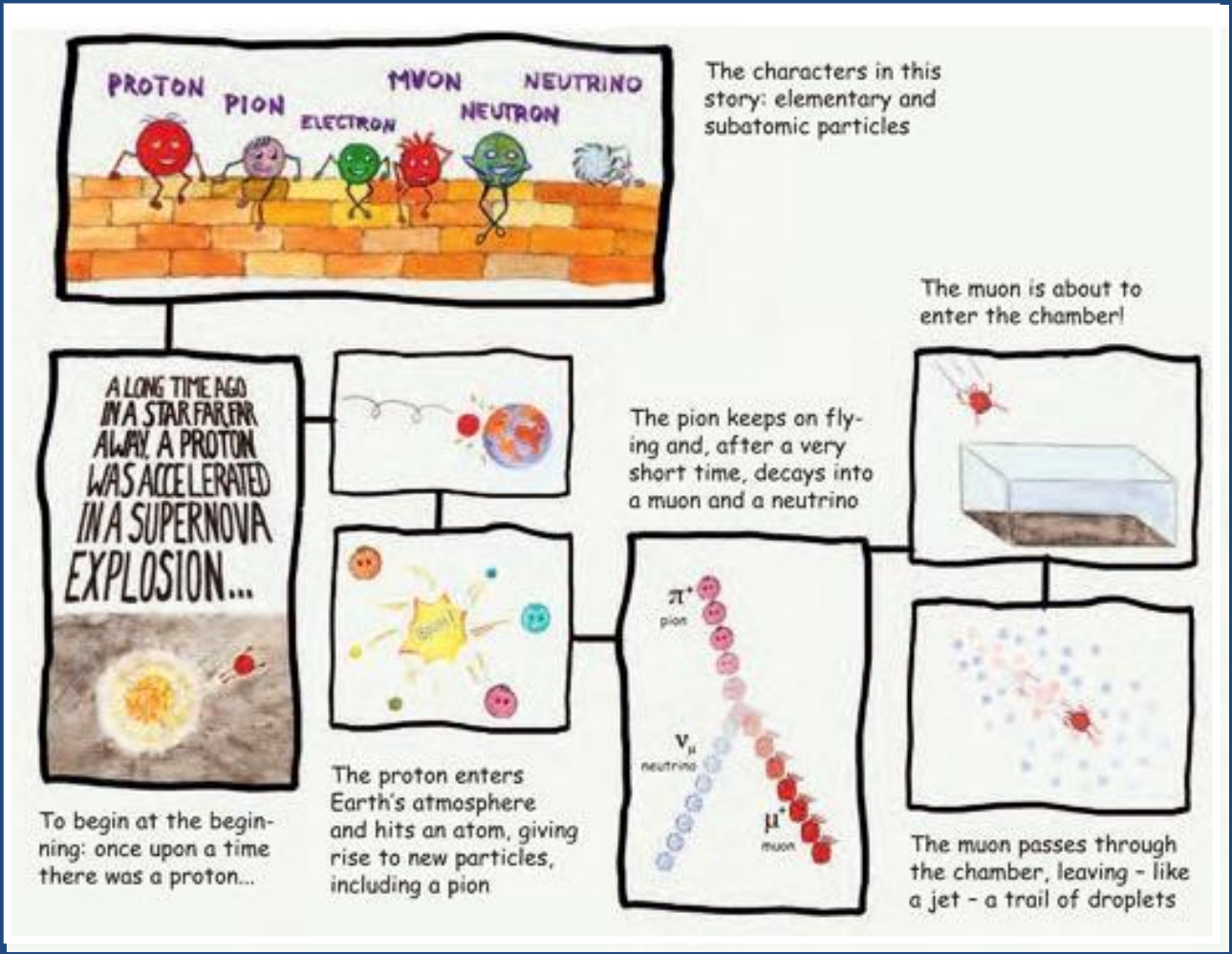
Το πείραμα Cloud Chamber



Το πείραμα έγινε σε νηπιαγωγείο!

2ο Νηπιαγωγείο Καμποχώρων Δαφνώνας Χίος

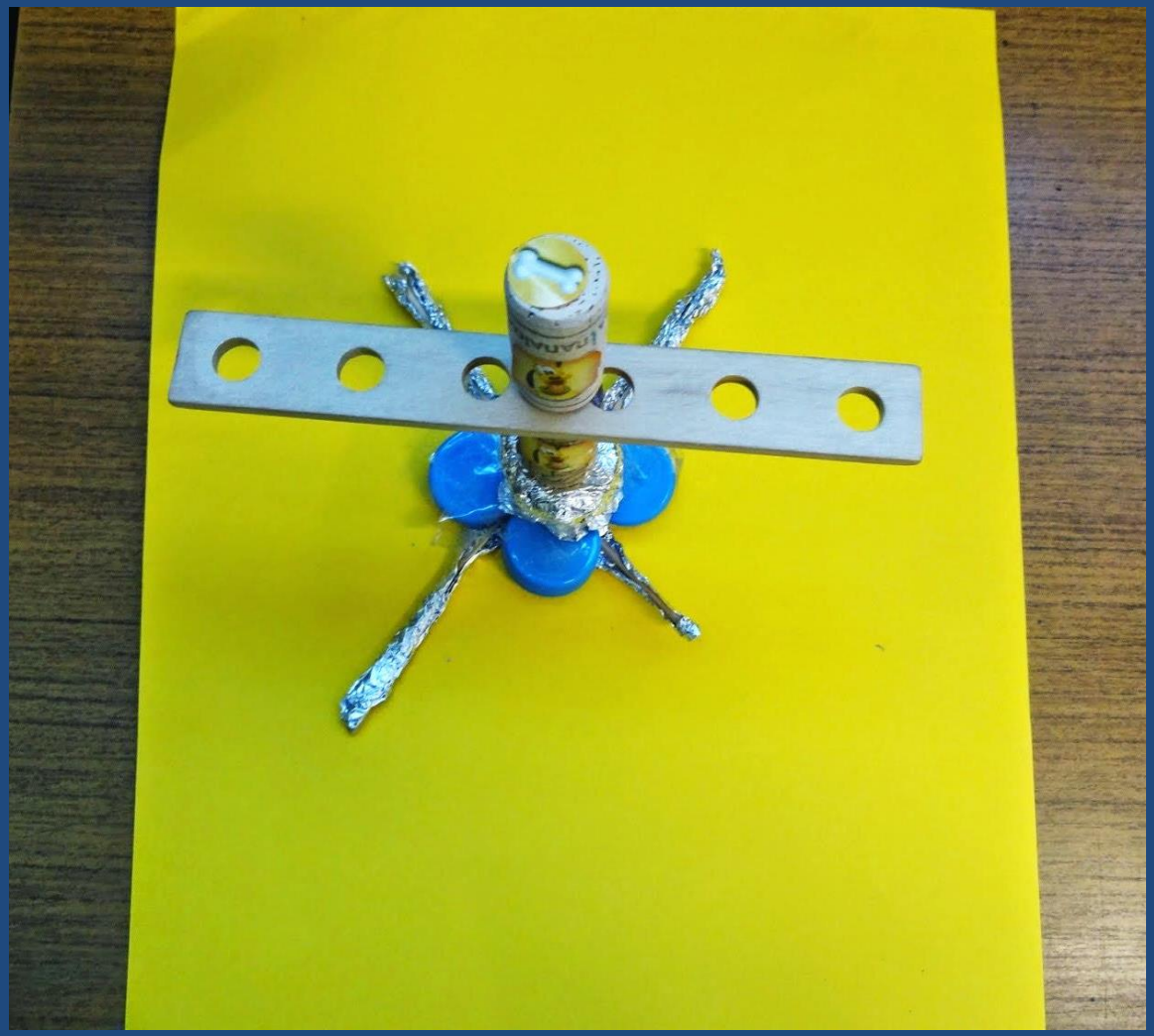
Cloud Chamber



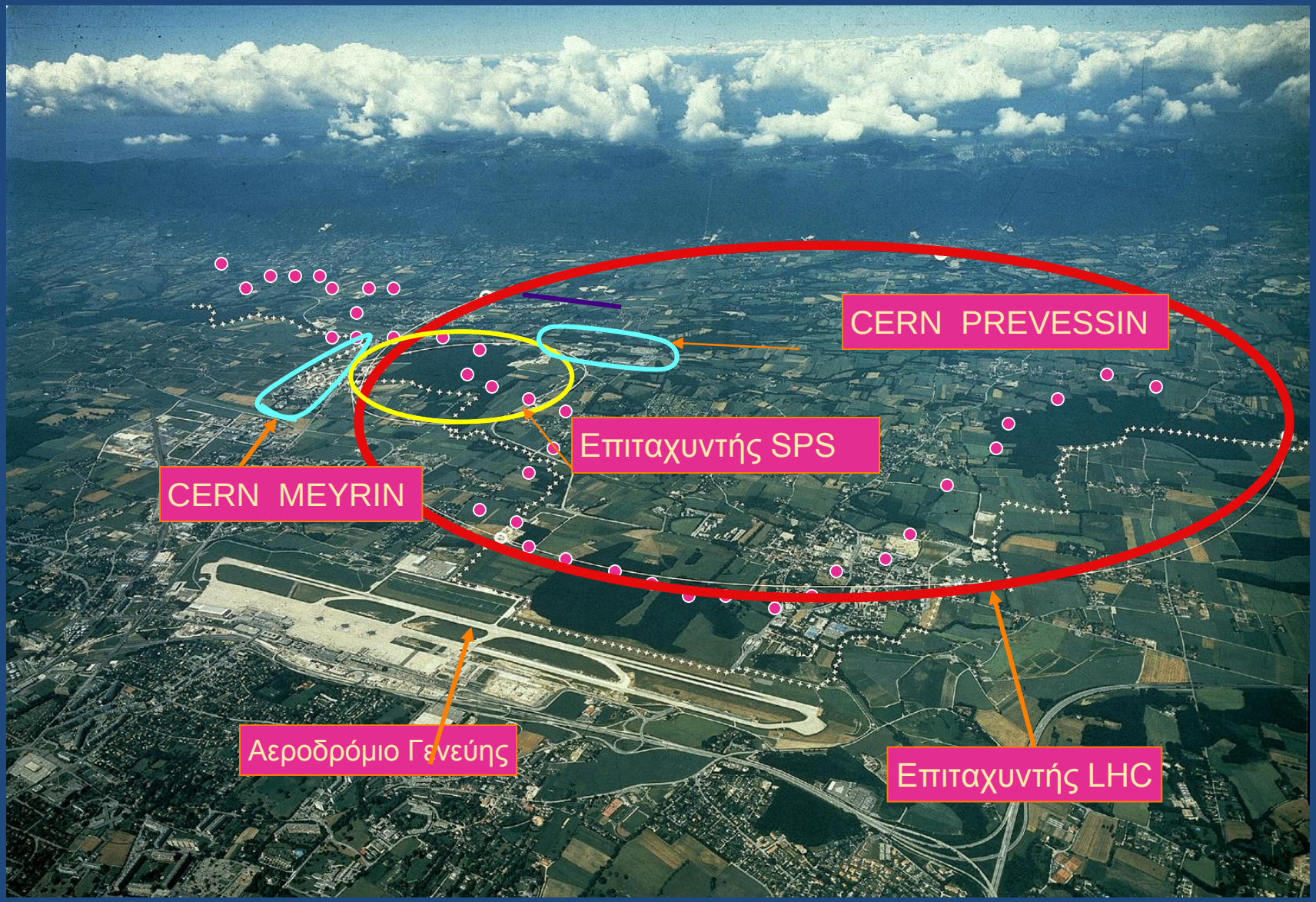
http://www.scienceinschool.org/2010/issue14/cloud

Τι άλλο θα δούμε στο CERN σε σχέση με το διάστημα;

Φτιάξε το δικό σου μοντέλο

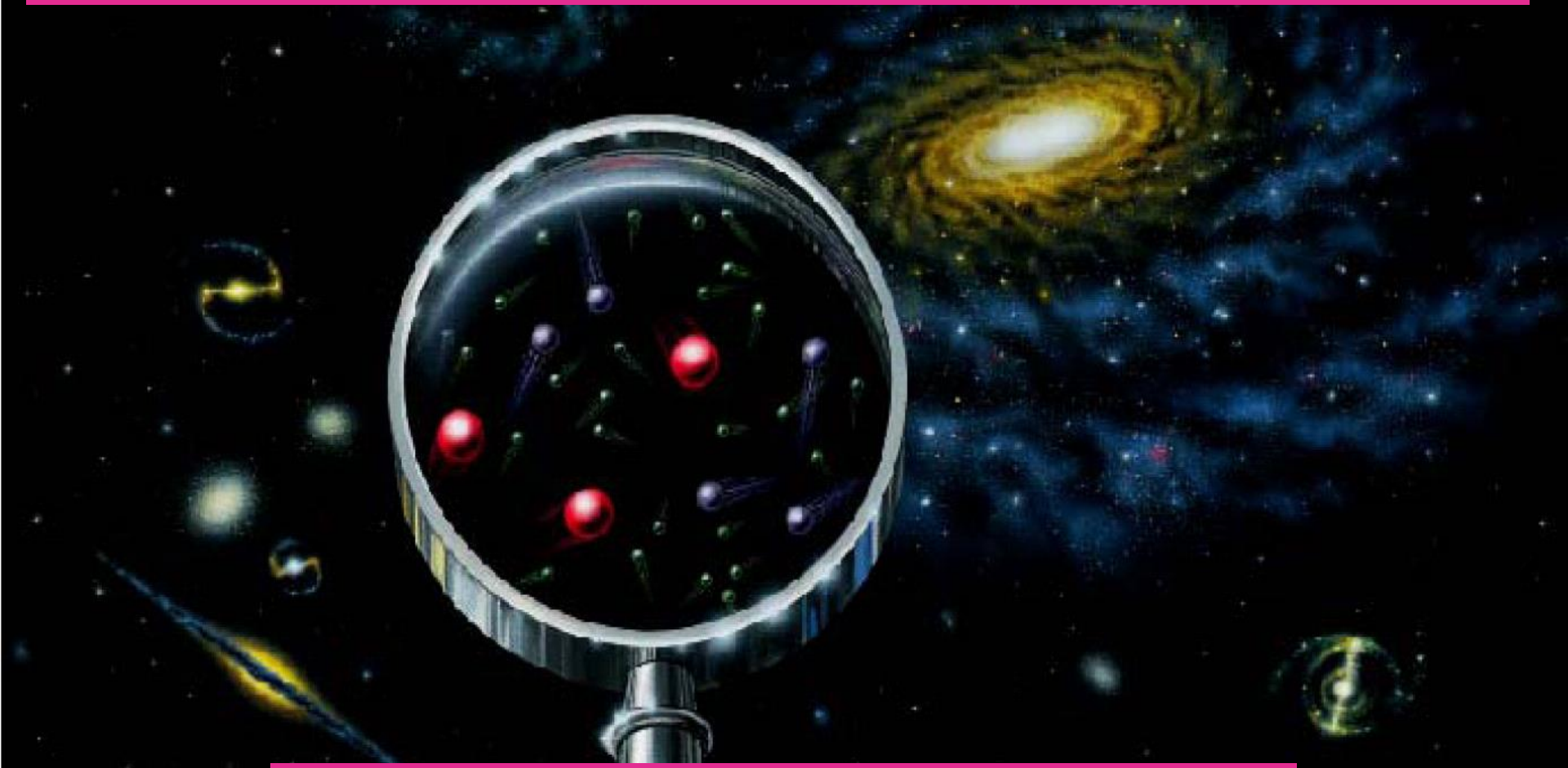


Οι εγκαταστάσεις του CERN



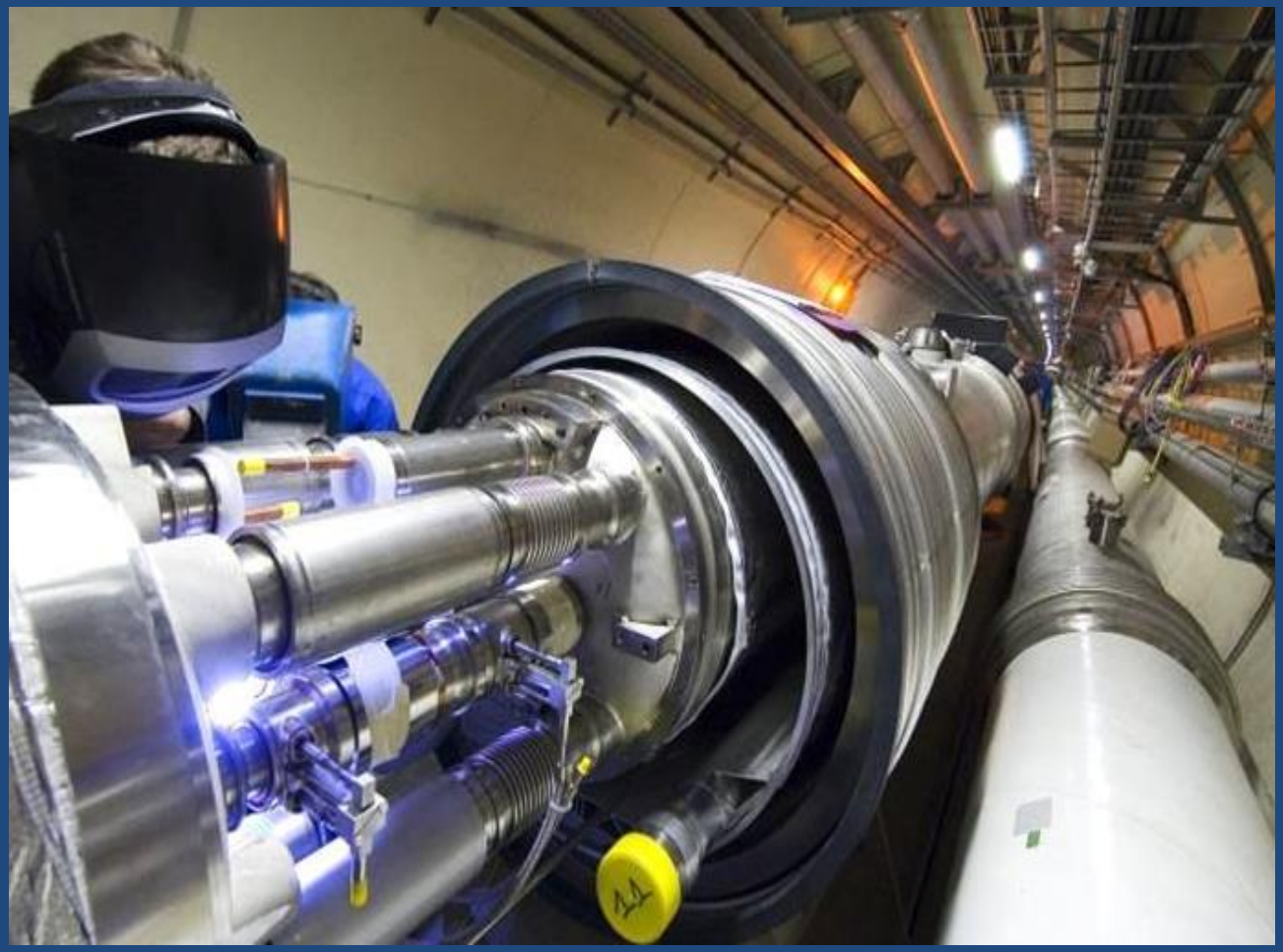
Η απάντηση σε όλες τις ερωτήσεις έρχεται από τον LHC

Το LHC είναι το πιο ισχυρό μικροσκόπιο στον κόσμο

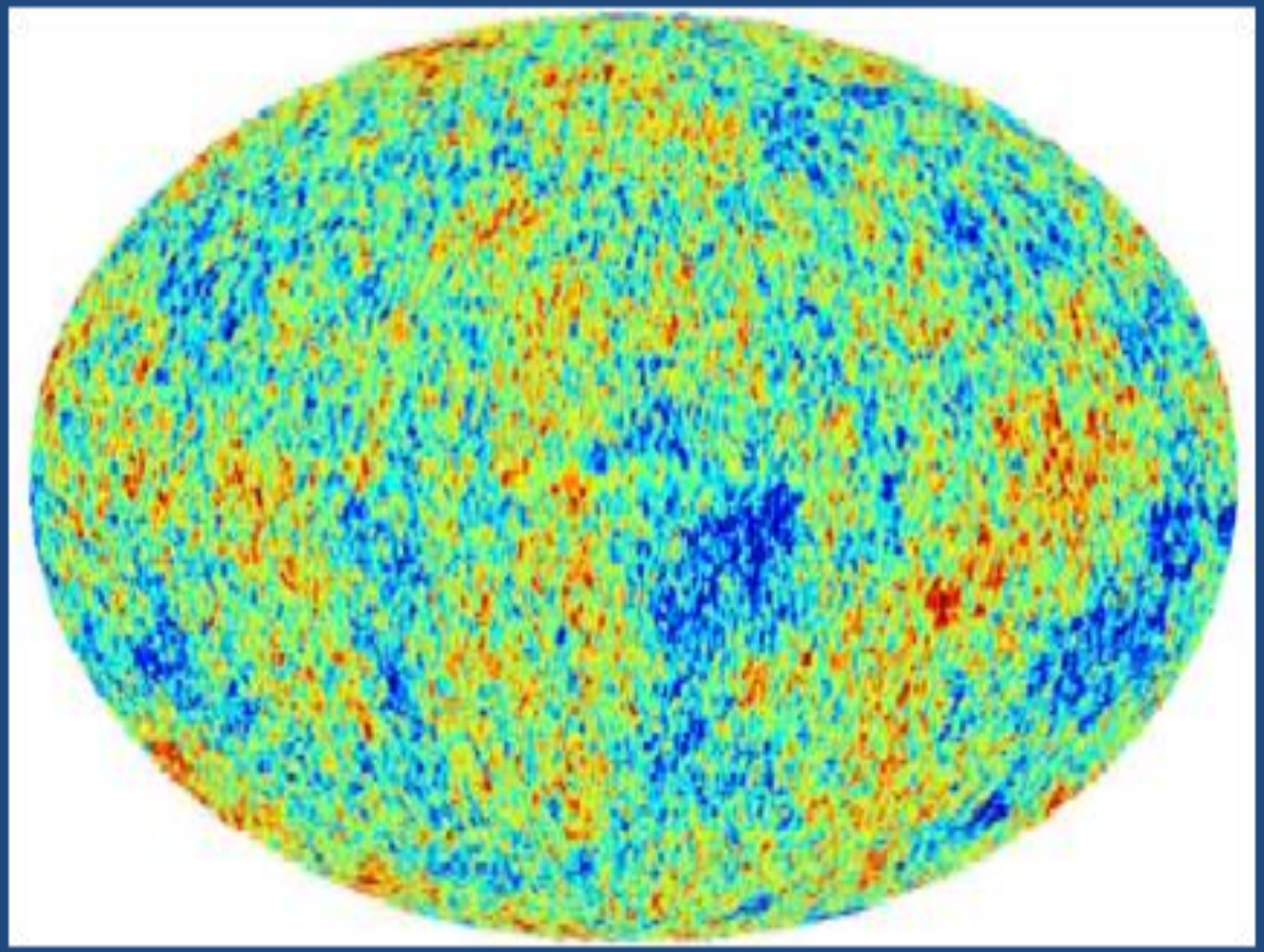


… και ένα τηλεσκόπιο που κοιτά στο παρελθόν αλλά και ίσως στο μέλλον

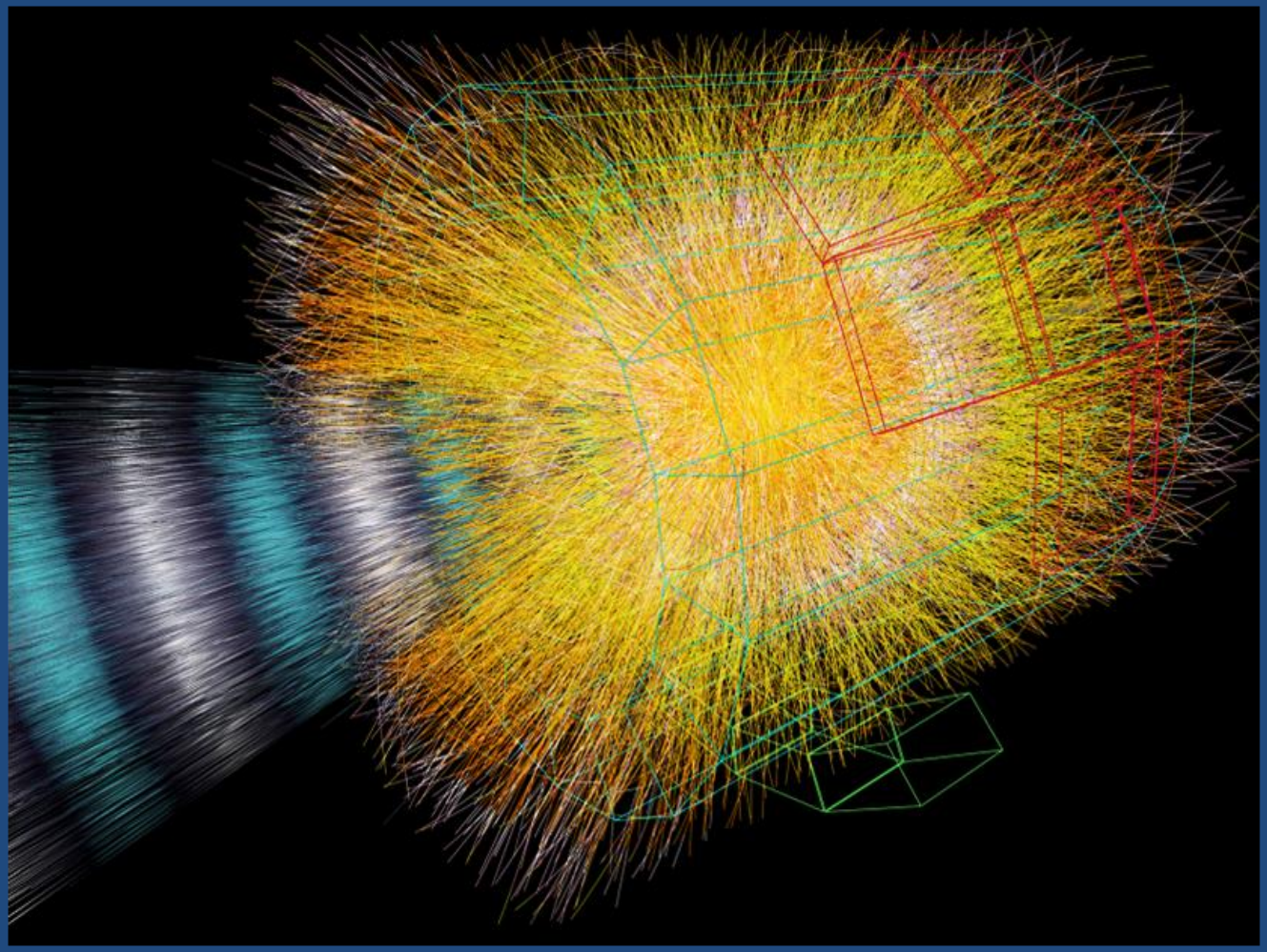
Το πιο κενό μέρος στο Ηλιακό μας Σύστημα!



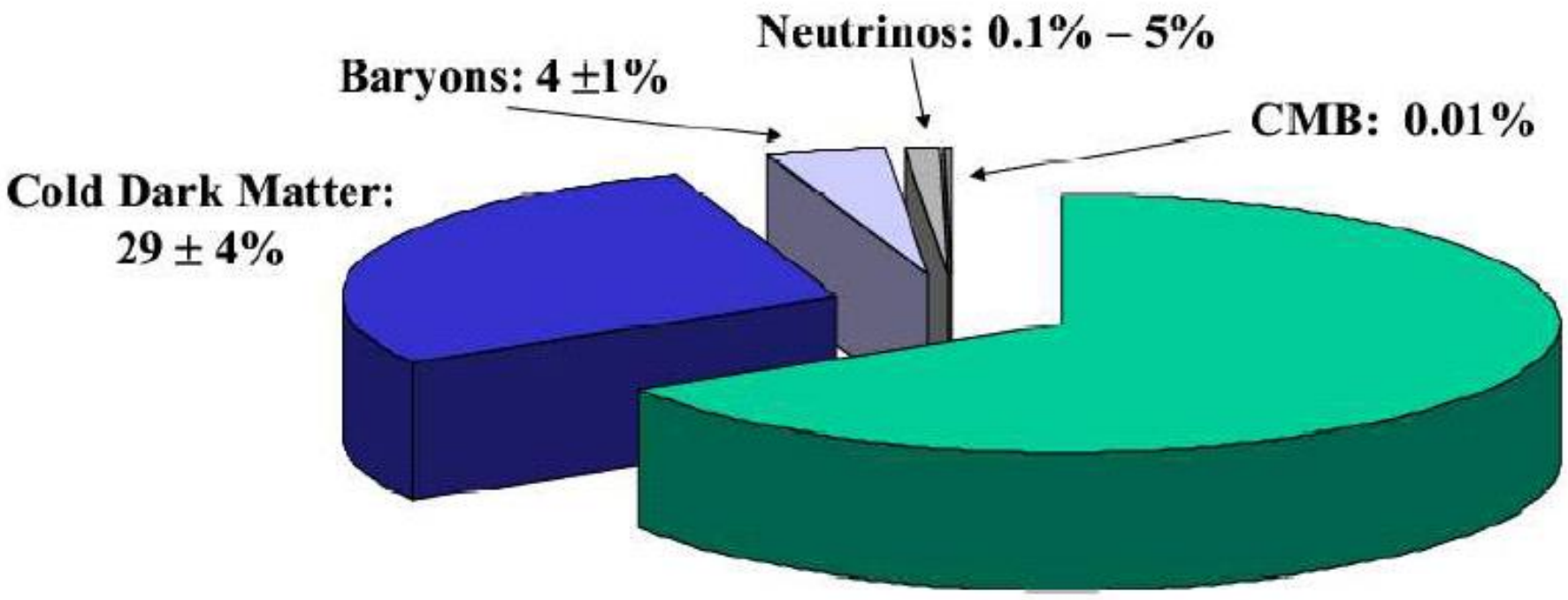
Πιο κρύο και από το γνωστό Σύμπαν



Αλλά και πάρα πολύ θερμό λόγω των συγκρούσεων



Η περίεργη συνταγή του Σύμπαντος



Μήπως να φτιάξουμε μια κοσμική πίτσα;

Το καθιερωμένο μοντέλο του Σύμπαντος σύμφωνα με την Κοσμολογία

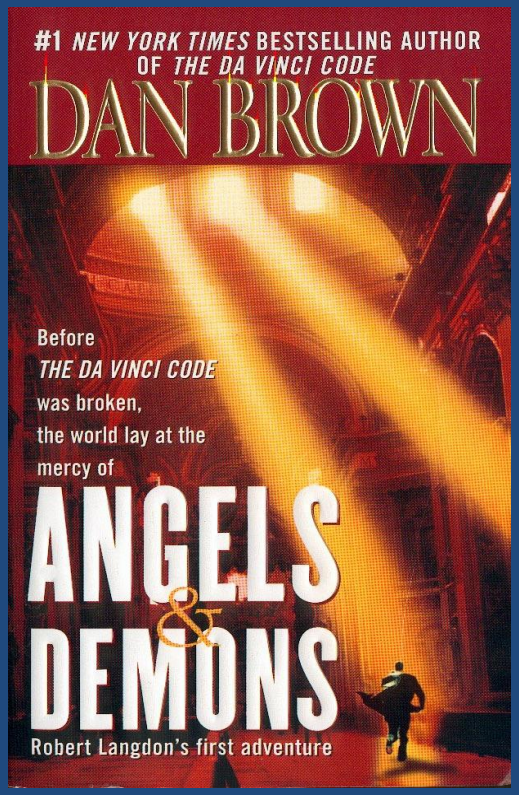
Απολαμβάνοντας την κοσμική πίτσα του Ellis!

Μαύρες τρύπες και σινεμά

Παγκόσμιο ενδιαφέρον για την αντιύλη

Έχει σχέση με την πραγματικότητα;

Η κύρια πλοκή…



Αστυνομική ιστορία για μια μυστική κοινωνία που…

... κλέβει 1 γρ. αντιύλης από έναν φυσικό που δουλεύει στο 'LHC' σε ένα μέρος που ονομάζεται "CERN" ...

... Για να ανατινάξει το Βατικανό, έναν παλιό "εχθρό της επιστήμης και του CERN".

Και η αλήθεια…

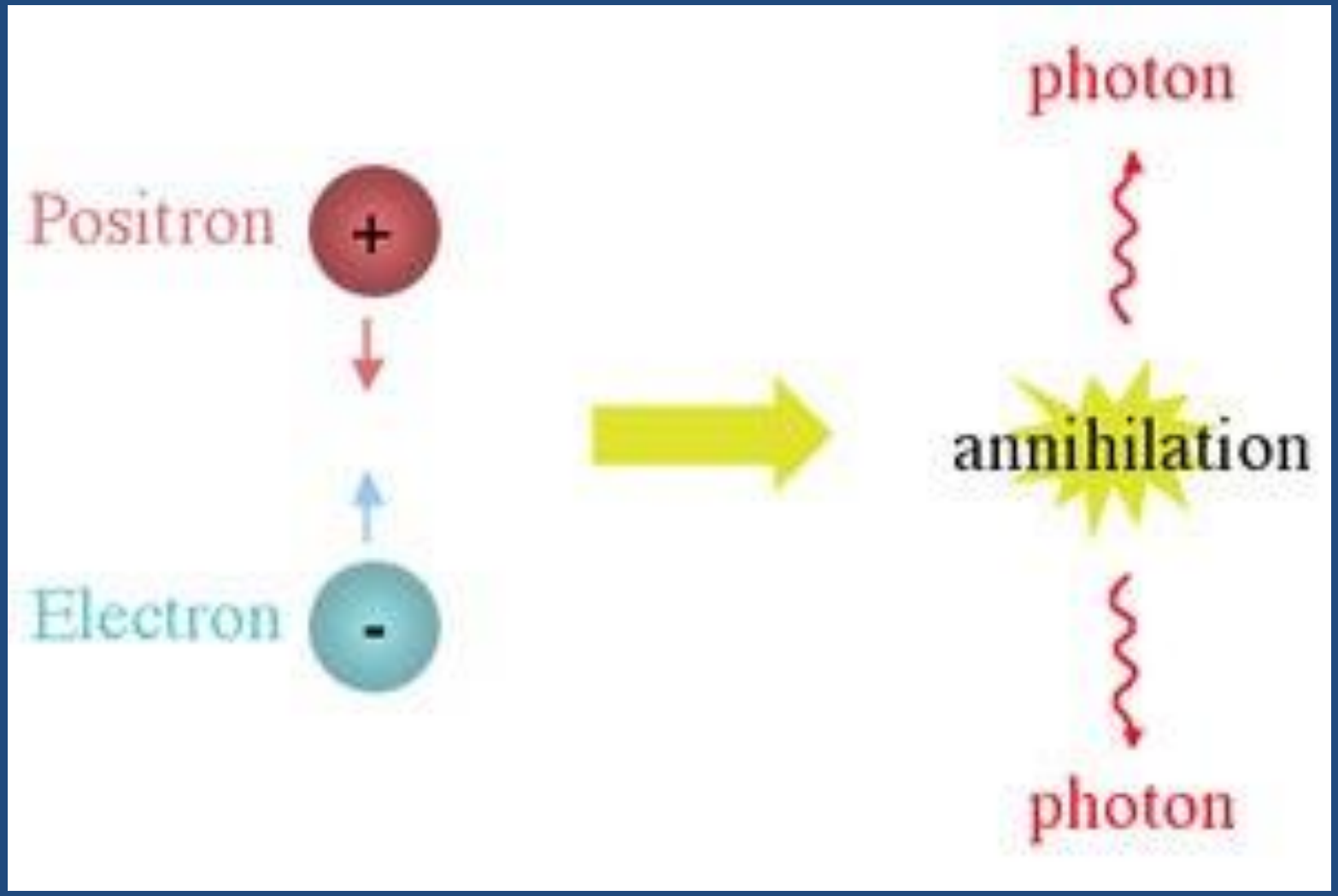
Dan Brown:
Η Αντιύλη είναι η πηγή ενέργειας του μέλλοντος

Όχι

Η παραγωγή αντιύλης **χρειάζεται ενέργεια**

1.000.000.000 φορές περισσότερη ενέργεια **επενδύεται** παρά **ελευθερώνεται** από την αλληλοεξουδετέρωση

Τι είναι η αντιύλη;

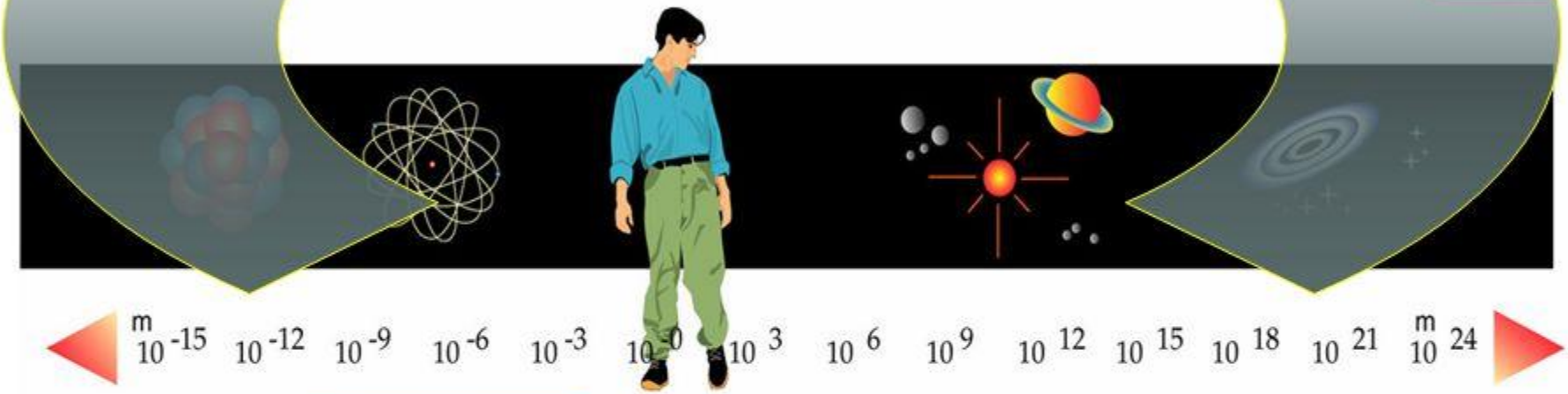


Τι νομίζουν όλοι ότι είναι η αντιύλη

Goal of CERN is particle physics research (which links to the physics of the universe)

Particle physics looks at matter in its smallest dimensions.

Astrophysics looks at matter in its largest dimensions.



Microscopes
Microscopes

Jumelles
Binoculars

Telescopes optiques & radio
Optical & radio telescopes

L'oeil nu.
Naked eye

Accélérateurs et détecteurs
Accelerators and detectors

THE TWO FRONTIERS OF PHYSICS

CERN…

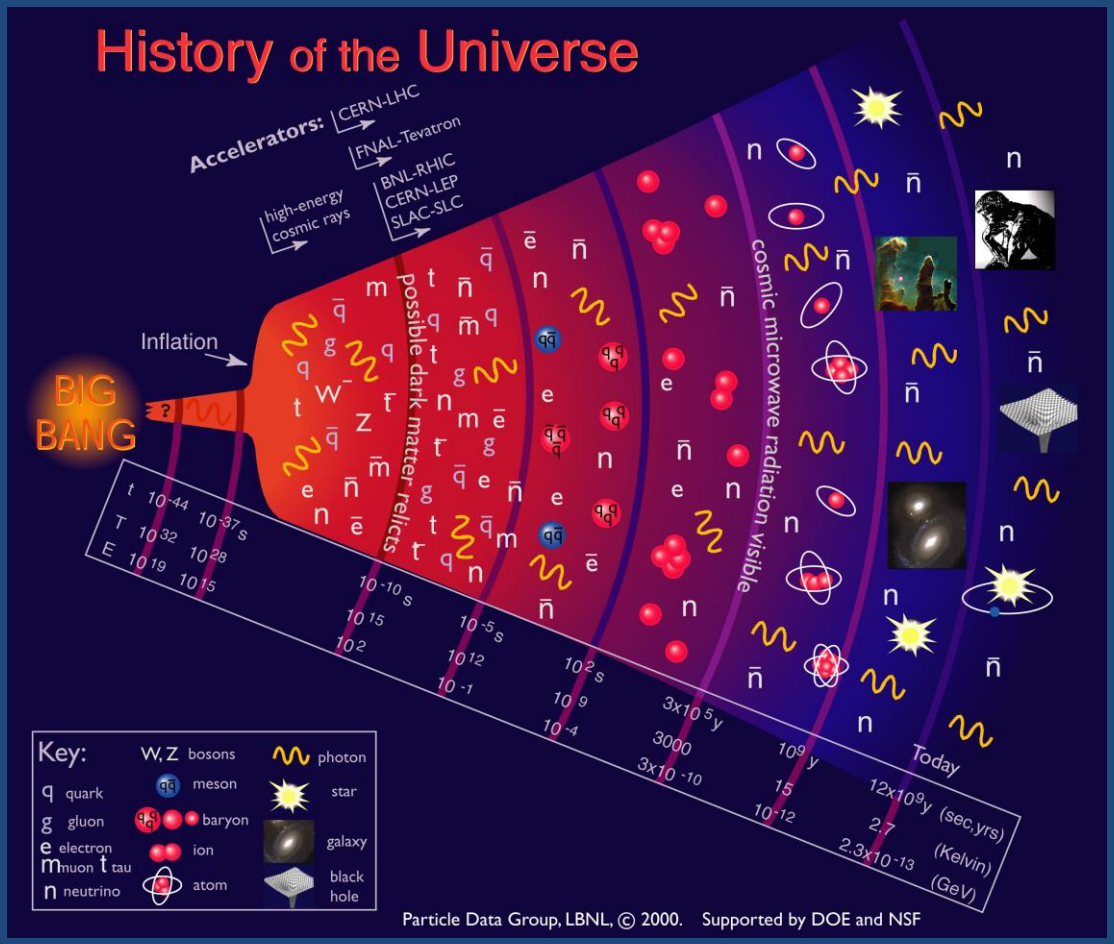
- Ζητά απαντήσεις σε ερωτήσεις για το Σύμπαν.
- Προωθεί τα όρια της τεχνολογίας αιχμής.
- Εκπαιδεύει τους επιστήμονες του αύριο.
- Φέρνει τις χώρες πιό κοντά μέσω της επιστήμης

Βιβλιογραφία

Αρχεία των Δρ.Τσεσμελή, Δρ.Γαζή, Δρ .Storr , Δρ .Αλεξόπουλου
http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=269114
LHC στο CERN: Η μεγαλύτερη μηχανή του κόσμου, Αναστασόπουλος Πασχάλης
http://www.physics.ntua.gr/GREECE_AND_CERN/index.html
http://hep.physics.uoc.gr/DOC/OUTREACH/MICROCOSM/DETECTORS/whatiscern.html
http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/index.html
http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/LHC/lhc_atlas.swf
http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/BEAMLINE/beamline.html
Ανδρέας Βαλαδάκης Φυσικός βίντεο
https://www.youtube.com/user/PHYSICSALL?feature=watch
http://www.physicscentral.com/experiment/physicsathome/free-fall.cfm
ΕΚΦΕ Δημόκριτος παρουσίαση CERN
Διονύσιος Σιμόπουλος Βαρυτικά Κύματα Παρουσίαση
Κοσμολογία Π. Καντή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2008
Σωματιδιακή Φυσική. Μια εισαγωγή στη Βασική Δομή της Ύλης, Κ. Βαγιονάκης, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2013.
A.R. Liddle, Introduction to Cosmology, John Wiley and Sons Chichester UK 2003
Διαφάνειες 11 Σαράντης Χέλμης
Διαφάνειες 54,57 Ελενα Ελληνιάδου
Διαφάνειες 21,74 Εκδήλωση Playing with Protons NOESIS Κική Ζερβού

Ευχαριστώ πολύ την καθηγήτρια Ανδρομάχη Τσίρου (CERN) ,τον καθηγητή Γεώργιο Καλκάνη(ΕΚΠΑ), τον αστρονόμο και επίτιμο Διευθυντή του Ευγενιδείου Πλανηταρίου Διονύσιο Σιμόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και τις διορθώσεις.

Η ιστορία του Σύμπαντος



13,8 BILLION YEARS AGO, A FEW SECONDS BEFORE THE CREATION OF OUR UNIVERSE...
All set. Let's fire up this Large Hadron Particle Collider and see what happens!
MOREU

2nd

PLAYING WITH PROTONS GREECE CPD COURSE

26-30 AUGUST 2017 CERN

PLAYING WITH PROTONS

Bringing together Greek primary teachers, science education specialists and CERN scientists to develop creative approaches for engaging 5th and 6th grade students with science, technology and innovation.

Organized by — CMS, εξερευνήσεις εκπαιδευτικά προγράμματα για παιδιά

Hosted by — CERN, Idea^2

Funded by — ΙΣΝ/SNF ΙΔΡΥΜΑ ΣΤΑΥΡΟΣ ΝΙΑΡΧΟΣ STAVROS NIARCHOS FOUNDATION

Under the auspices of — ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ Υπουργείο Παιδείας, Έρευνας και Θρησκευμάτων

Supported by — CREATIONS Developing an Engaging Science Classroom