

Από το πολύ μικρό στο πολύ μεγάλο: Η φυσική στον 21^ο αιώνα

Εμμανουήλ Ν. Σαριδάκης

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Physics Department, Baylor University, Texas, USA

University of Science and Technology, Hefei, China

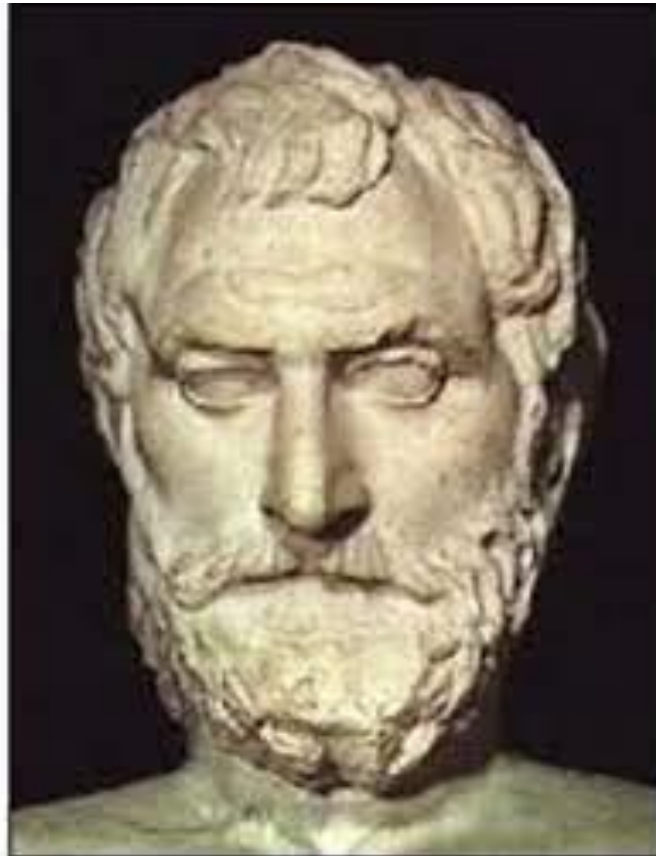




Επιστημονική Πρόοδος

- Η **εμβάθυνση** στη γνώση της **φυσικής πραγματικότητας** πάει χέρι χέρι με την **ανάπτυξη** της **τεχνολογίας** και των **παραγωγικών δυνάμεων**
- Η **θεωρητική φυσική**, η **αστροφυσική** και η **κοσμολογία** έχουν κάνει **ραγδαία πρόοδο** τις τελευταίες δεκαετίες

Θαλής 624 πΧ- 548 πΧ



Περιγραφή της **Φύσης** χωρίς **προκαταλήψεις**, **μύθο** ή **θηρσκεία**, αλλά με **παρατήρηση**, **πείραμα**, **συλλογισμό** και **επαγωγή**. Εμφανίζεται ο όρος **Φυσική**.

Πυθαγόρας 570 πΧ- 495 πΧ

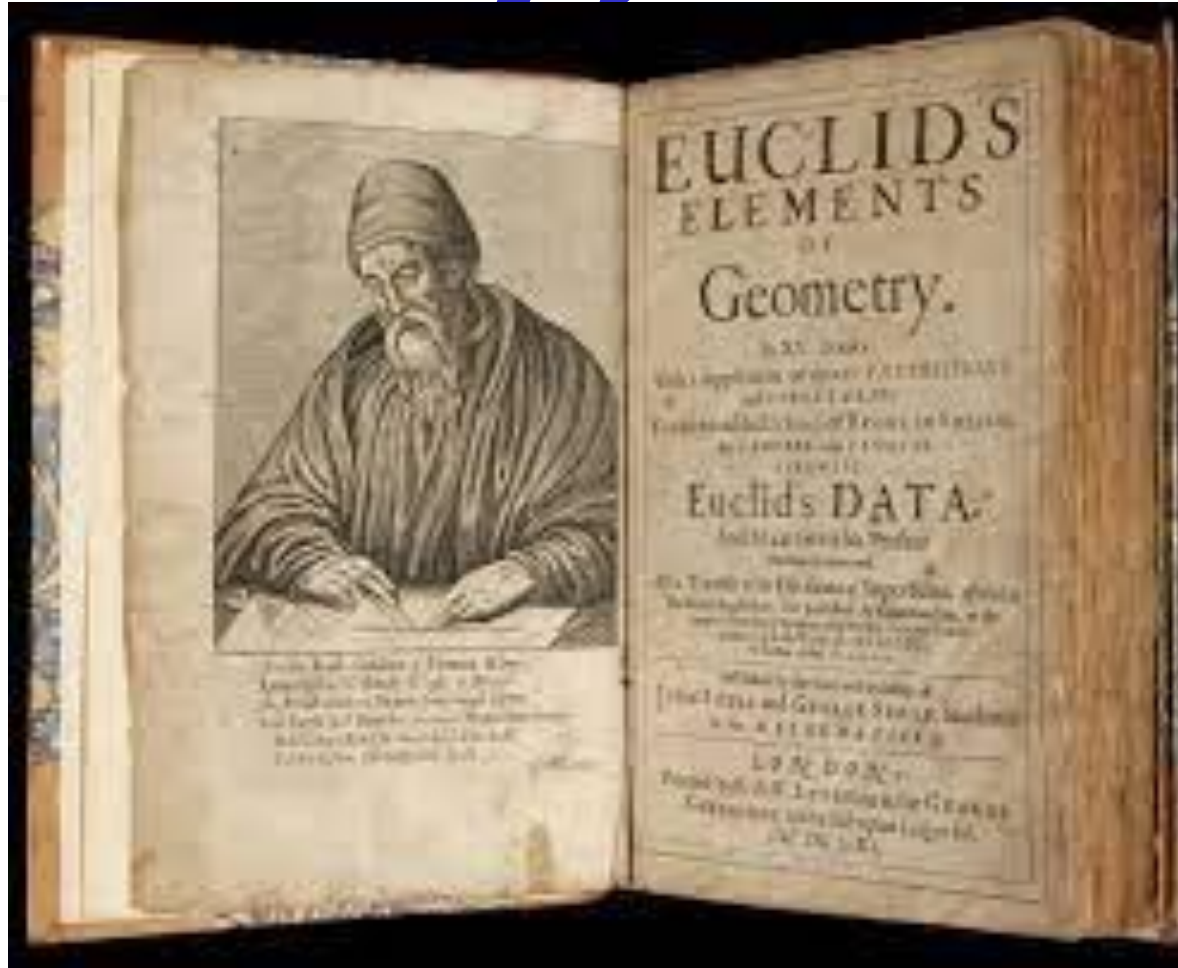


Pythagoras is often considered the first true mathematician.

The Pythagoreans' believed "All is Number," meaning that everything in the universe depended on numbers. They were also the first to teach that the Earth is a Sphere revolving around the sun.

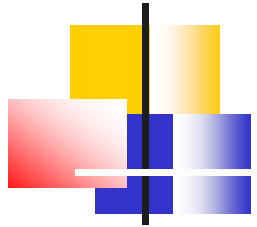
Εμφανίζεται ο όρος **Μαθηματικά** (αυτό που μαθαίνεται).

Ευκλείδης 325 πΧ- 270 πΧ

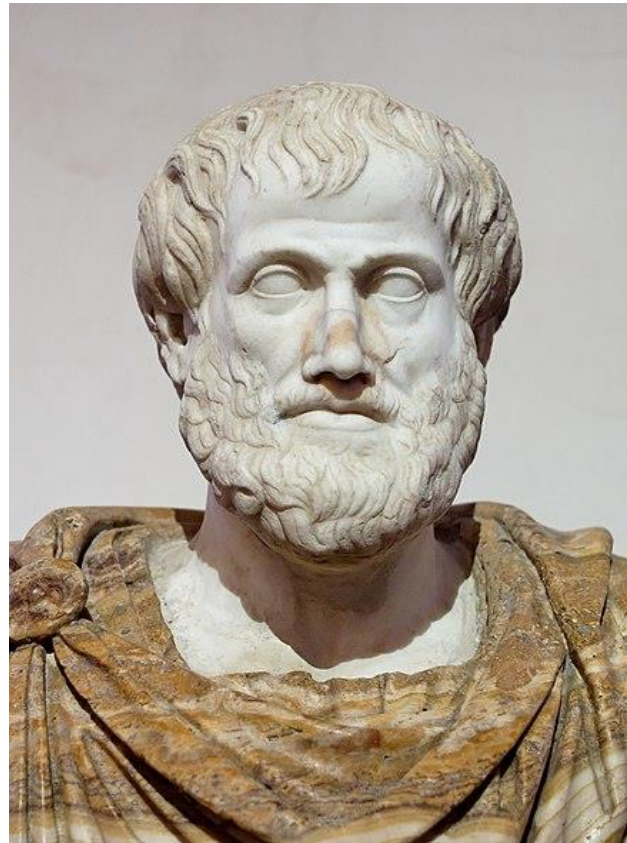


Πατέρας της **Γεωμετρίας** (Μέτρηση της Γης).

Αξίωμα, λήμμα, θεώρημα, απόδειξη.



Αριστοτέλης 384 πΧ- 322 πΧ



**Αυτόλυκος, Εύδοξος, Κάλλιπος, Απολλώνιος, Κόνων, Αρχιμήδης,
Ίππαρχος, Σωσιγένης, Πτολεμαίος**

Αριστοτέλης - 350 πΧ

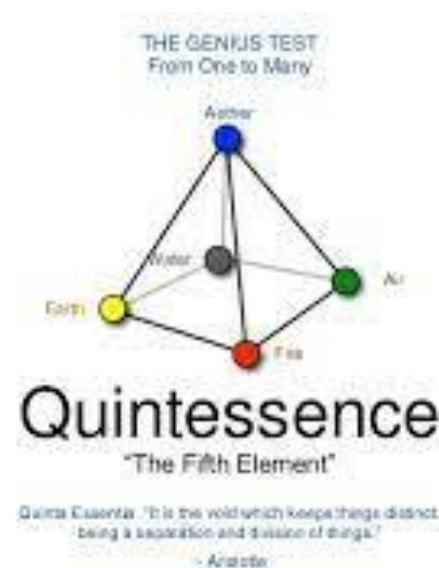
- Κατά τον **Αριστοτέλη** τα **βαρύτερα σώματα** πέφτουν **γρηγορότερα**.
- Τα σώματα **πέφτουν** για να γυρίσουν στην «**αρχική τους κατάσταση**».



Αριστοτέλαιο - Πτολεμαϊκό Προτυπο

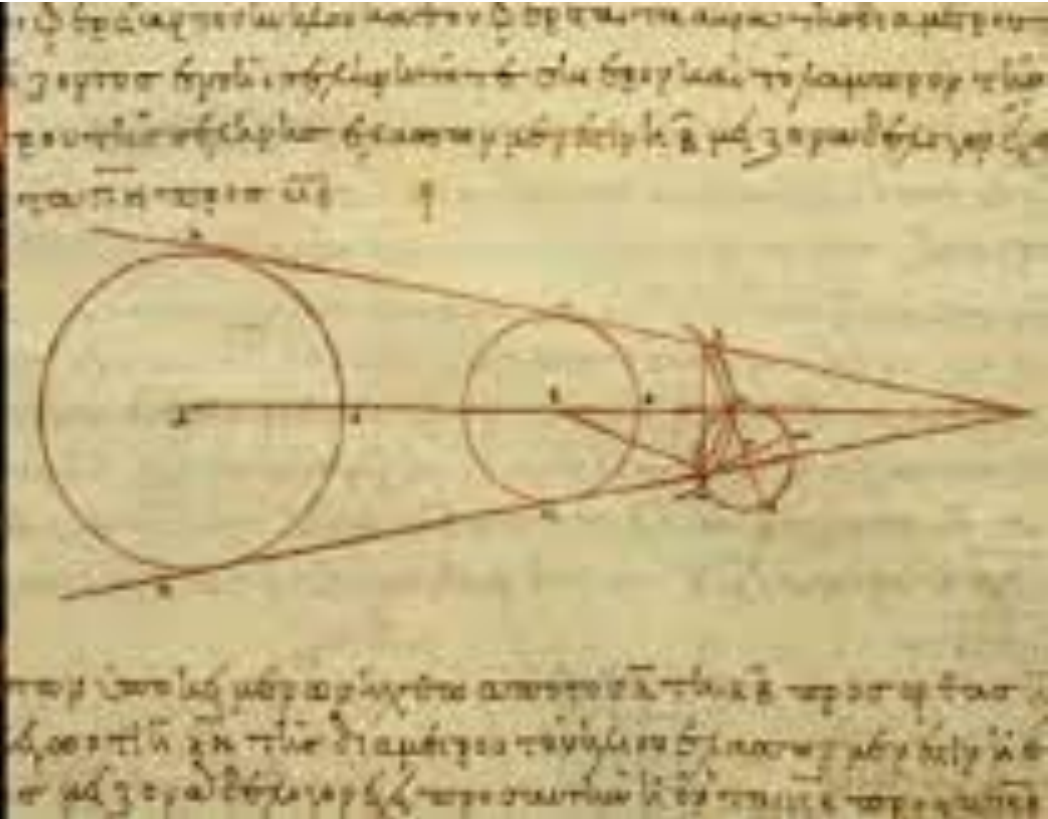
- Η Γη βρίσκεται **στο κέντρο του Σύμπαντος** και είναι **ακίνητη**
- 10 **ομόκεντρες σφαίρες** με της Σελήνη τους πλανήτες, και τα άστρα.
- 4 **στοιχεία** (Γη, Νερό, Αέρας Φωτιά), και η Πέμπτη Ουσία (**Πεμπτουσία**)

Schema huius praeiussae diuisionis Sphaerarum .

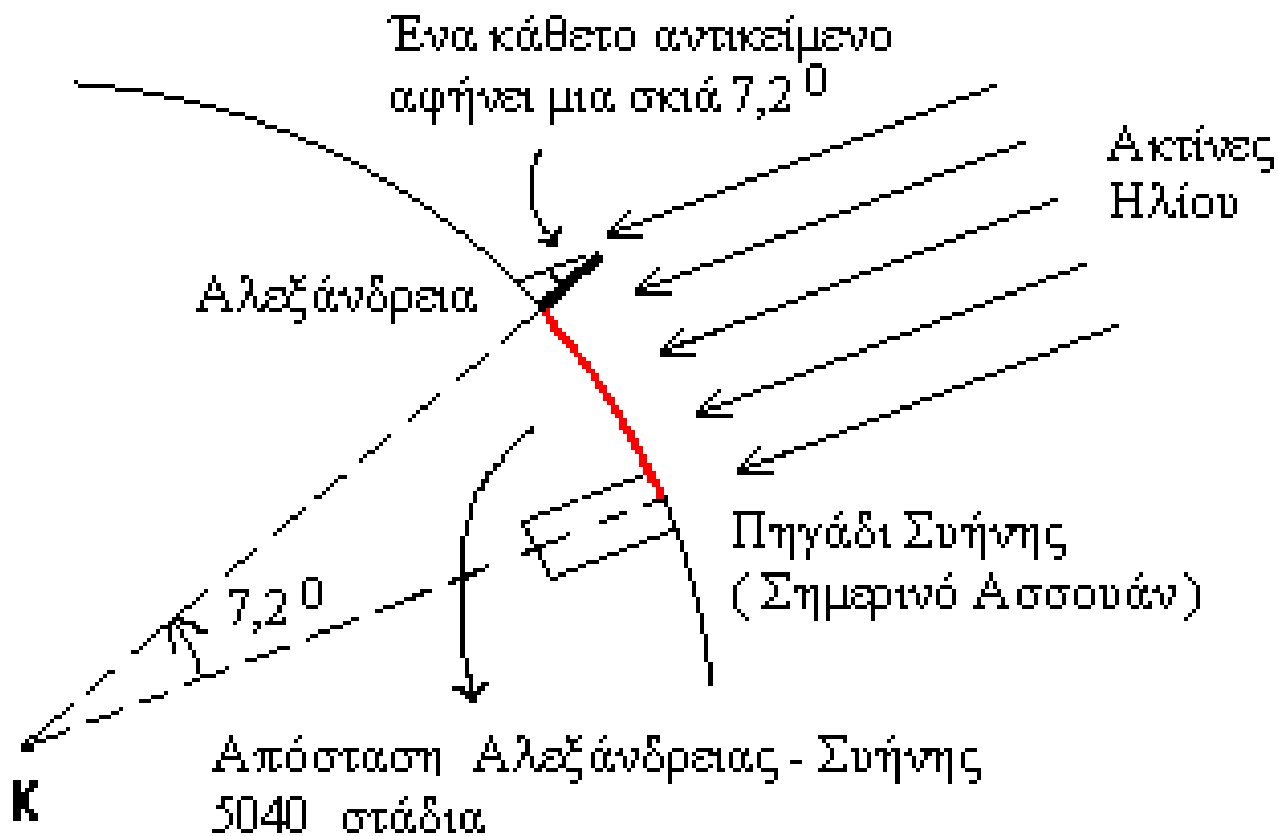
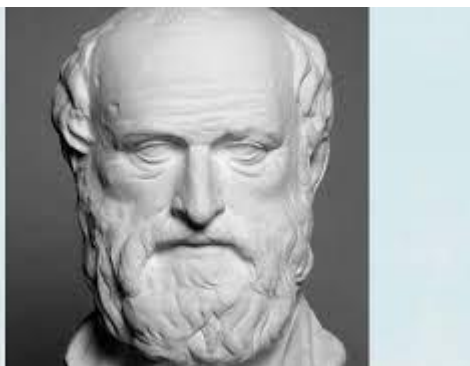




Αρίσταρχος - 310 πΧ- 230 πΧ



Ερατοσθένης - 276 πΧ-194 πΧ



Τεχνολογία στον αρχαίο κόσμο

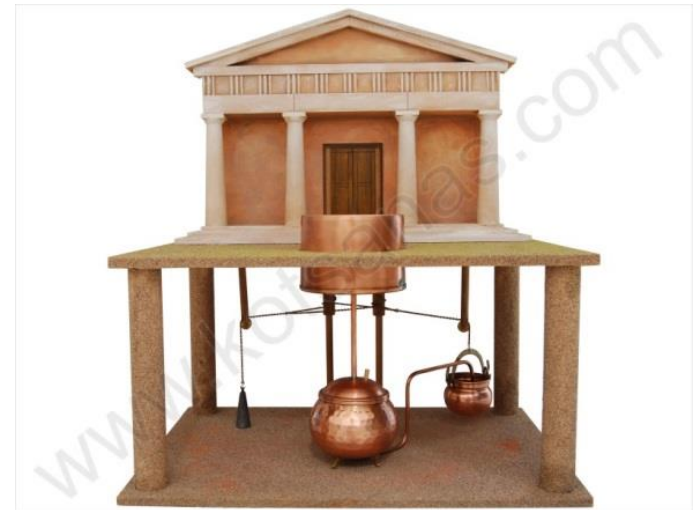


Τεχνολογία στον αρχαίο κόσμο - Όρια



© yannmirh.com

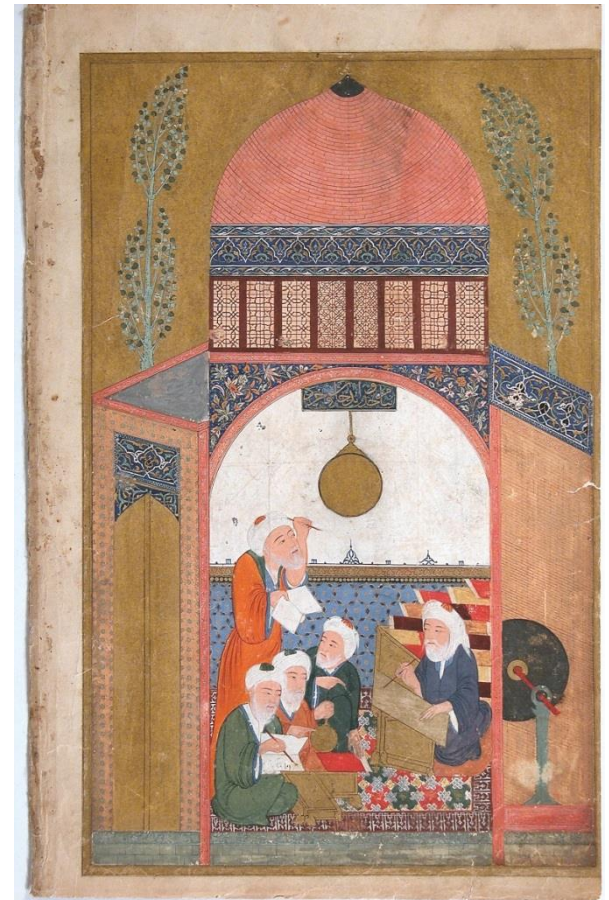
<http://www.yannmirh.com>



- «Πρόκειται για μια **θαυμάσια εφεύρεση**. Αλλά θα χρησιμοποιείται μόνο για **επιδείξεις** ή για **παιχνίδι**, γιατί **για αυτές τις δουλειές έχουμε τους δούλους**». Ήρων ο Αλεξανδρεύς 1^{ος} αιώνας μΧ

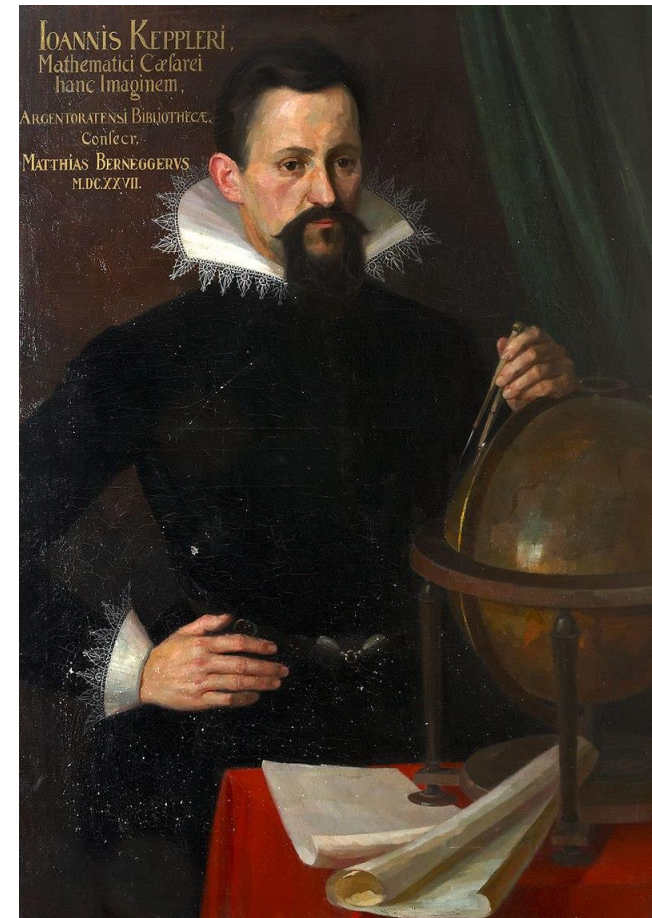
11^{ος} αιώνας – Παρατηρήσεις Maragha

- Άραβες και Πέρσες λόγιοι, πρώτα μέσα από φιλοσοφικές θεωρήσεις και στη συνέχεια επεξεργαζόμενοι τις παρατηρήσεις που έγιναν στο αστεροσκοπείο της Maragha, άρχισαν να αμφισβητούν τις λεπτομέρειές του Αριστοτέλειου-Πτολεμαϊκού Προτύπου.
- Αμφισβητούν την ακινησία αλλά όχι το γεωκεντρισμό



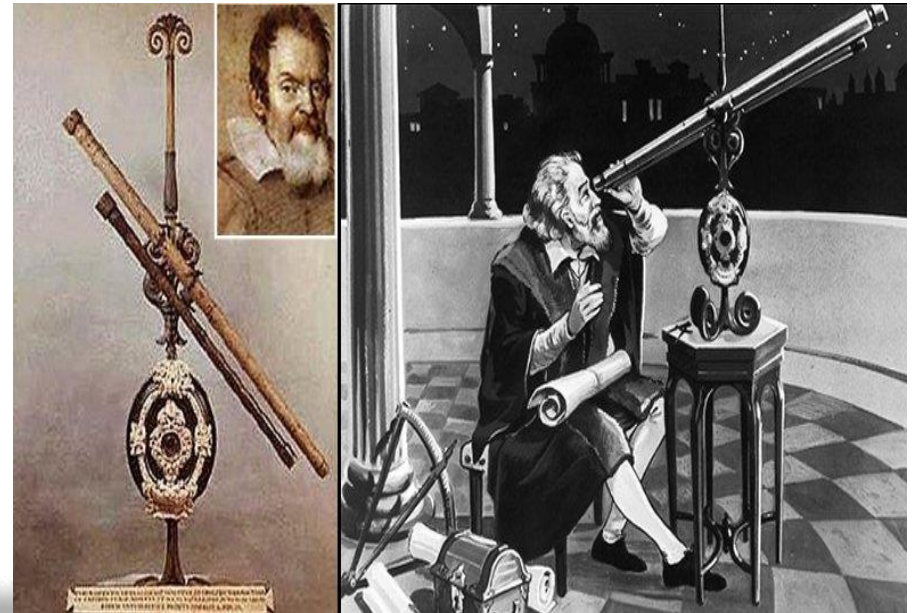
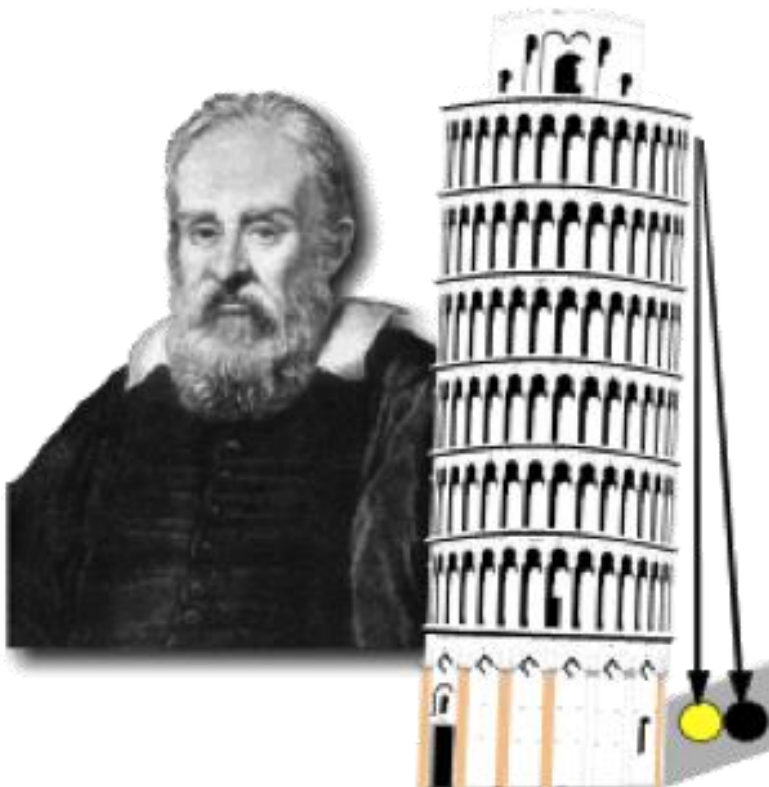
Brahe, Kepler- 1600

- Ηλιοκεντρισμός, Ελλειπτικές Τροχές



Γαλιλαίος - 1600

- Τα σώματα πέφτουν με την **ίδια ταχύτητα**, **ανεξάρτητα** από το **βάρος** τους.
- Η αρχή της σύγχρονης Επιστήμης (**Πείραμα**, **Αφαίρεση/Πρότυπο**, **Μαθηματικά**)

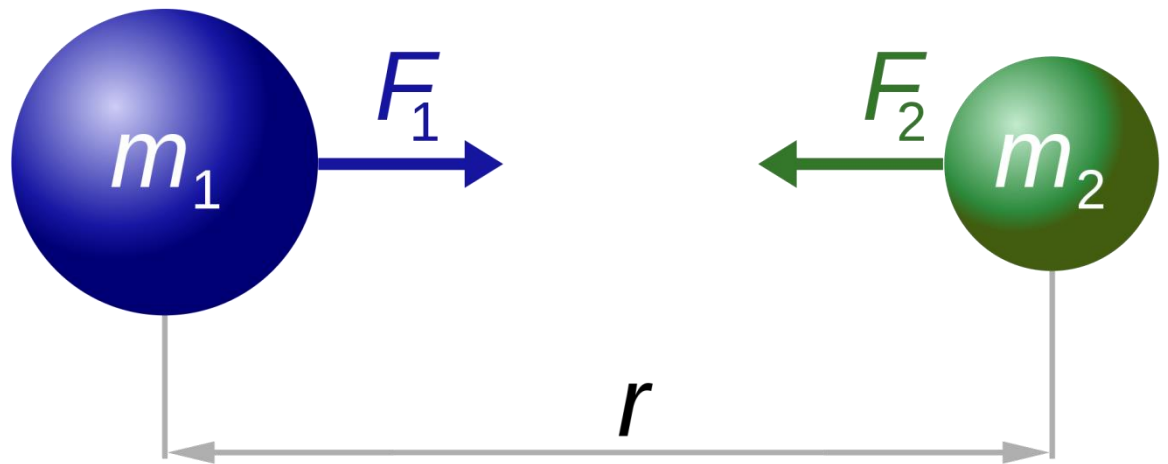
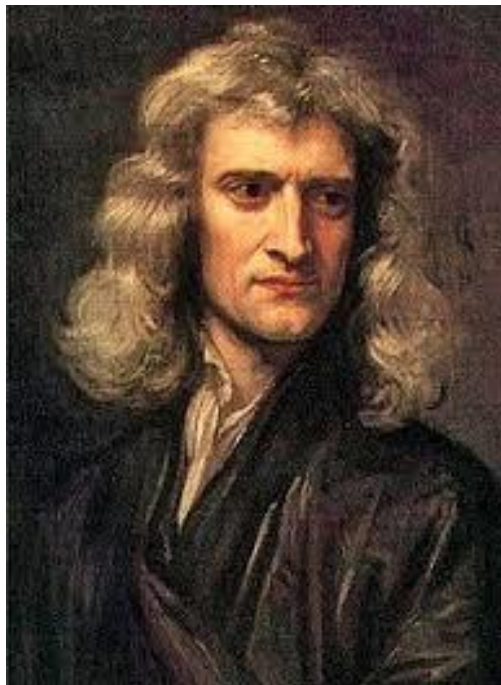


Νεύτωνας - 1700

- Νόμος της Παγκόσμια Έλξης:

Όλα τα σώματα (είτε μήλα είτε πλανήτες) **έλκονται αμοιβαία**.

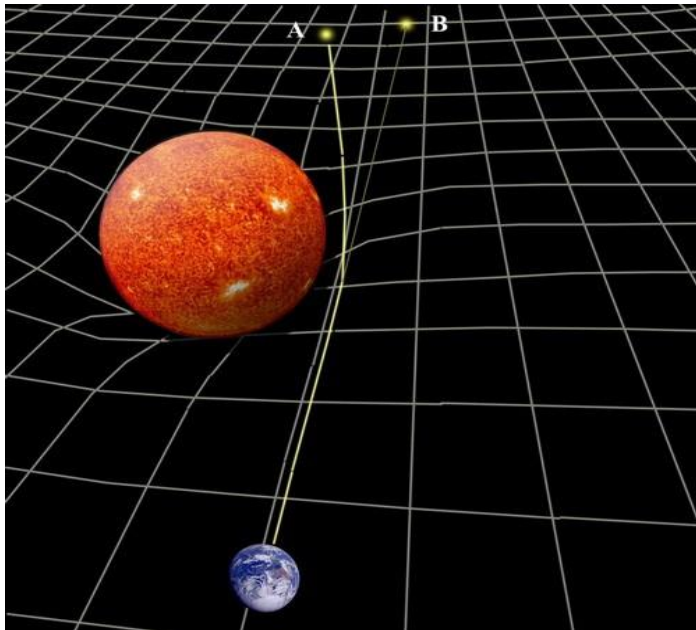
Για πρώτη φορά η **βαρύτητα συνδέεται** με την **αστρονομία**



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

Einstein 1915: Γενική Σχετικότητα

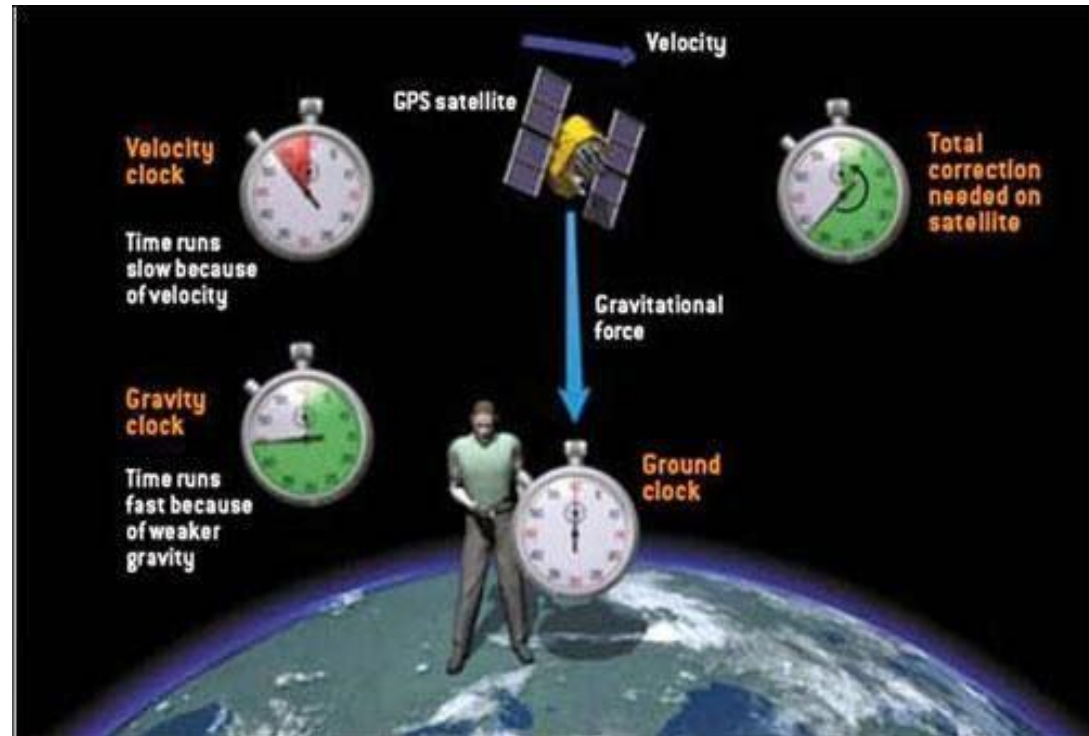
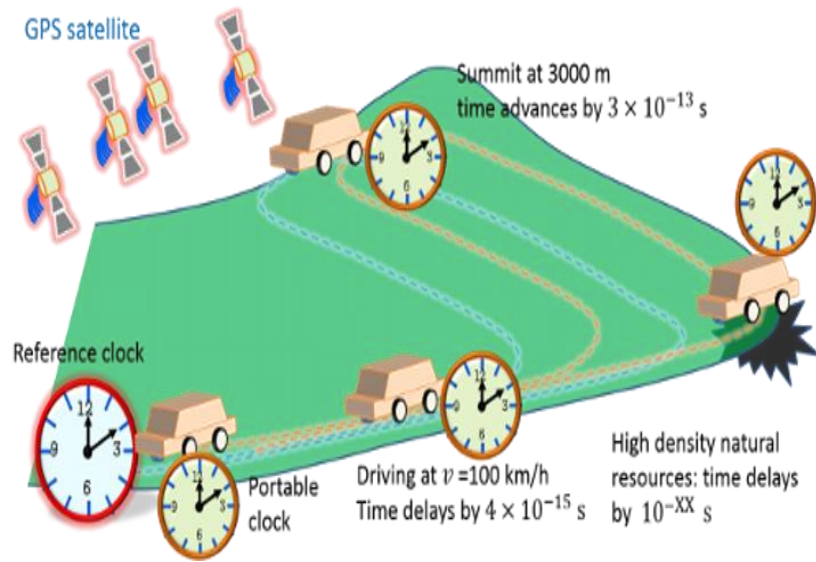
- **Γενική Θεωρία της Σχετικότητας, Einstein 1915:**
Η ύλη λέει στο χωρόχρονο πώς να **καμπυλωθεί**
Ο καμπυλομένος χωρόχρονος λέει **στην ύλη** πώς να **κινηθεί**



- Φαίνεται **περίεργο** αλλά έχει **επαληθευτεί** παντού (δορυφόροι, κλπ)

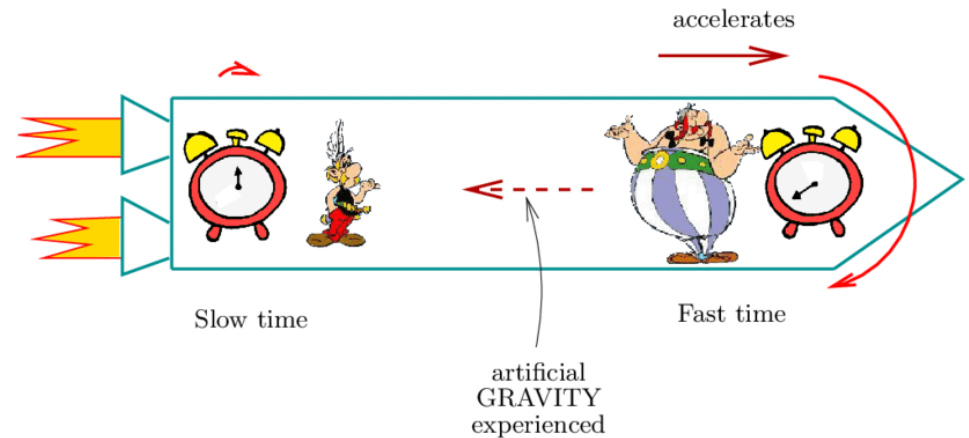
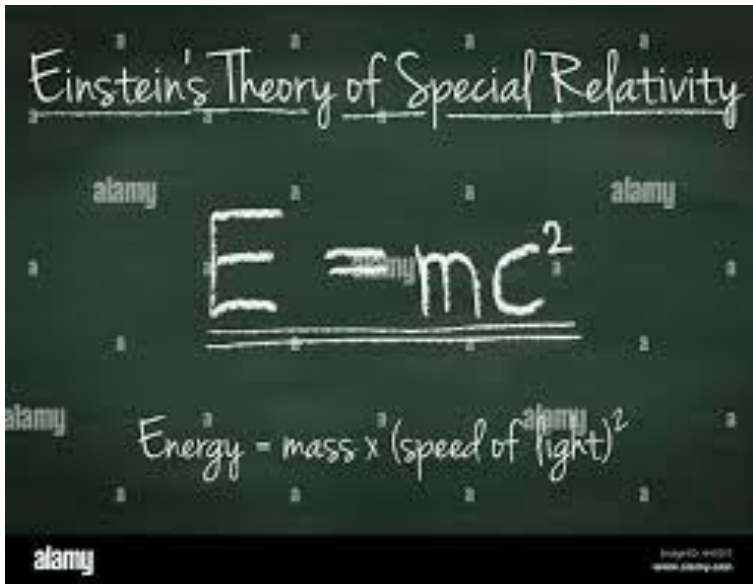
Γενική Σχετικότητα

■ Πχ GPS



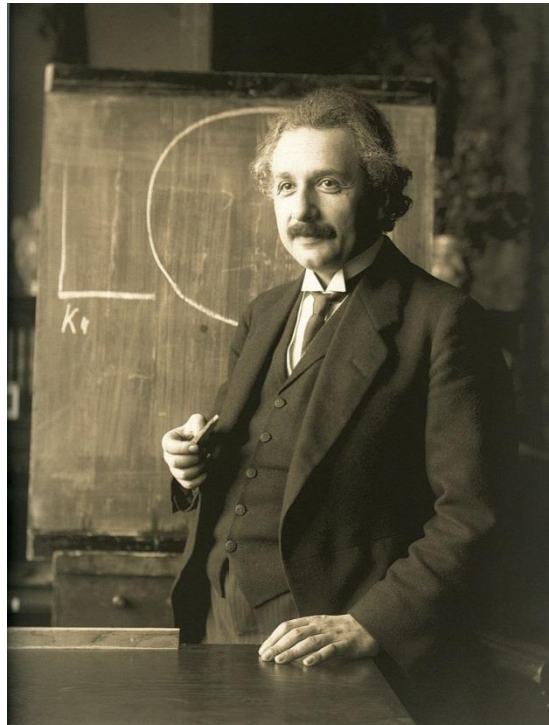
Ειδική Σχετικότητα

- Μάζα και Ενέργεια είναι ισοδύναμες μορφές ύλης.
- Η ύλη σε διαλεκτική αλληλεπίδραση με το χωρόχρονο.
- Το κενό δεν είναι κενό.



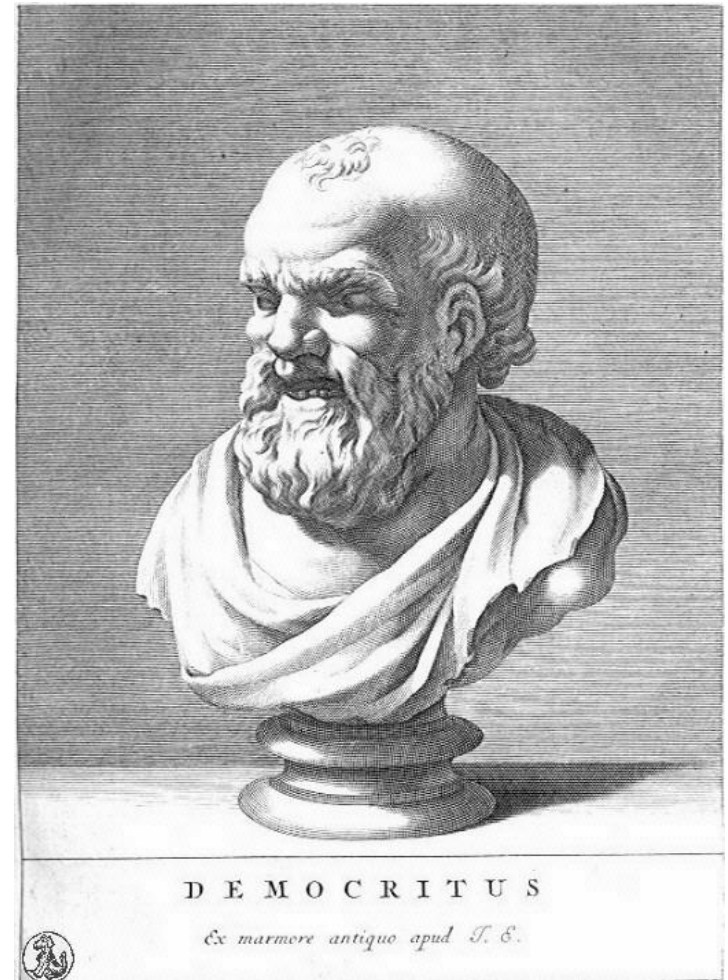
Γενική Σχετικότητα

- Η τελευταία θεωρία από έναν επιστήμονα, η πρώτη συλλογική



Λεύκιππος – Δημόκριτος 5^{ος} αιώνας πΧ

- Η **ύλη** αποτελείται από **αδιάσπαστα**, **αόρατα** στοιχεία, τα **άτομα**.
- Το **κενό** δεν ταυτίζεται με το τίποτα (μη ον), είναι δηλαδή κάτι το **υπαρκτό**.



Ανάπτυξη Τεχνολογίας – Πειραμάτων 16^{ος} αιώνας

- Στην **Αναγέννηση** η εξέλιξη της **τεχνολογίας** οδήγησε στην εξέλιξη της **χημείας**



**The First
Compound
Microscope
(circa 1595)**

Περιοδικός Πίνακας Χημικών Στοιχείων

1 IA New Original											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIA	18 VIIIA		
1 H Υδρογόνο 1.00794											5 B Βόριο 10.811	6 C Άνθρακός 12.0107	7 N Άζωτο 14.00674	8 O Οξυγόνο 15.9994	9 F Φθόριο 18.9984032	10 Ne Νέον 20.1797		
2 Li Λίθιο 6.941	4 Be Βερίλλιο 9.012182											13 Al Αργίλιο 26.981538	14 Si Πυρίτιο 28.0855	15 P Φωσφόρος 30.973761	16 S Θείο 32.066	17 Cl Χλώριο 35.453	18 Ar Αργό 39.948	
3 Na Νάτριο 22.989770	12 Mg Μαγνήσιο 24.3050	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	31 Ga Γάλλιο 69.723	32 Ge Γερμάνιο 72.64	33 As Αρσενικό 74.92160	34 Se Σελήνιο 78.96	35 Br Βρώμιο 79.904	36 Kr Κρυπτό 83.798	
4 K Κάλιο 39.0983	20 Ca Ασβέστιο 40.078	21 Sc Σκάνδιο 44.955910	22 Ti Τίτανο 47.887	23 V Βανάδιο 50.9415	24 Cr Χρώμιο 51.9961	25 Mn Μαγγάνιο 54.938049	26 Fe Σίδηρος 55.8457	27 Co Κοβάλτο 58.933200	28 Ni Νικέλιο 58.6934	29 Cu Χαλκός 63.546	30 Zn Ψευδάργυρος 65.409	31 Ga Γάλλιο 69.723	32 Ge Γερμάνιο 72.64	33 As Αρσενικό 74.92160	34 Se Σελήνιο 78.96	35 Br Βρώμιο 79.904	36 Kr Κρυπτό 83.798	
5 Rb Ρουβίδιο 85.4678	38 Sr Στρόντιο 87.62	39 Y Ύτριο 88.90585	40 Zr Ζιρκόνιο 91.224	41 Nb Νίβιο 92.90638	42 Mo Μολυβδένιο 95.94	43 Tc Τεχνητό (98)	44 Ru Ρουθένιο 101.07	45 Rh Ρόδιο 102.90550	46 Pd Παλλάδιο 106.42	47 Ag Αργυρός 107.8682	48 Cd Κάδμιο 112.411	49 In Ινδίο 114.818	50 Sn Κασσίτερος 118.710	51 Sb Αντιμόνιο 121.760	52 Te Τελλούριο 127.60	53 I Ιώδιο 126.90447	54 Xe Ξένο 131.293	
6 Cs Καίσιο 132.90545	56 Ba Βάριο 137.327	57 to 71		72 Hf Ηφνίο 178.49	73 Ta Ταντάλιο 180.9479	74 W Βολφράμιο 183.84	75 Re Ρήνιο 186.207	76 Os Όσμιο 190.23	77 Ir Ιρίδιο 192.217	78 Pt Λευκόχρυσος 195.078	79 Au Χρυσός 196.96655	80 Hg Υδράργυρος 200.59	81 Tl Θάλλιο 204.3833	82 Pb Μόλυβδος 207.2	83 Bi Βισμούθιο 208.98038	84 Po Πολώνιο (209)	85 At ΑΣτοπ (210)	86 Rn Ραδόνιο (222)
7 Fr Φράνσιο (223)	88 Ra Ραδίο (226)	89 to 103		104 Rf Ροσφούρμιο (261)	105 Db Ντουμπνίο (262)	106 Sg Ειμπόργκιο (266)	107 Bh Μπέρκιο (264)	108 Hs Χάσιο (269)	109 Mt Μαϊτνέριο (268)	110 Ds Νιουμπόριο (271)	111 Rg Ρενγκένιο (272)	112 Uub Ουνμπιουμ (285)	113 Uut Ουντιουμ (284)	114 Uuq Ουνκουουμ (289)	115 Uup Ουνπεντιουμ (288)	116 Uuh Ουνηηξίουμ (292)	117 Uus Ουνσεπτίουμ (293)	118 Uuo Ουνοκτιουμ (294)

- Αλκάλια
- Αλκαλικές γαίες
- Στοιχεία μετάπτωσης
- Λανθανίδες
- Ακτινίδες
- Post metals
- Αμέταλλα
- Ευγενή Αέρια
- C Στερεά
- Br Υγρά
- H Αέρια
- Tc Συνθετικά

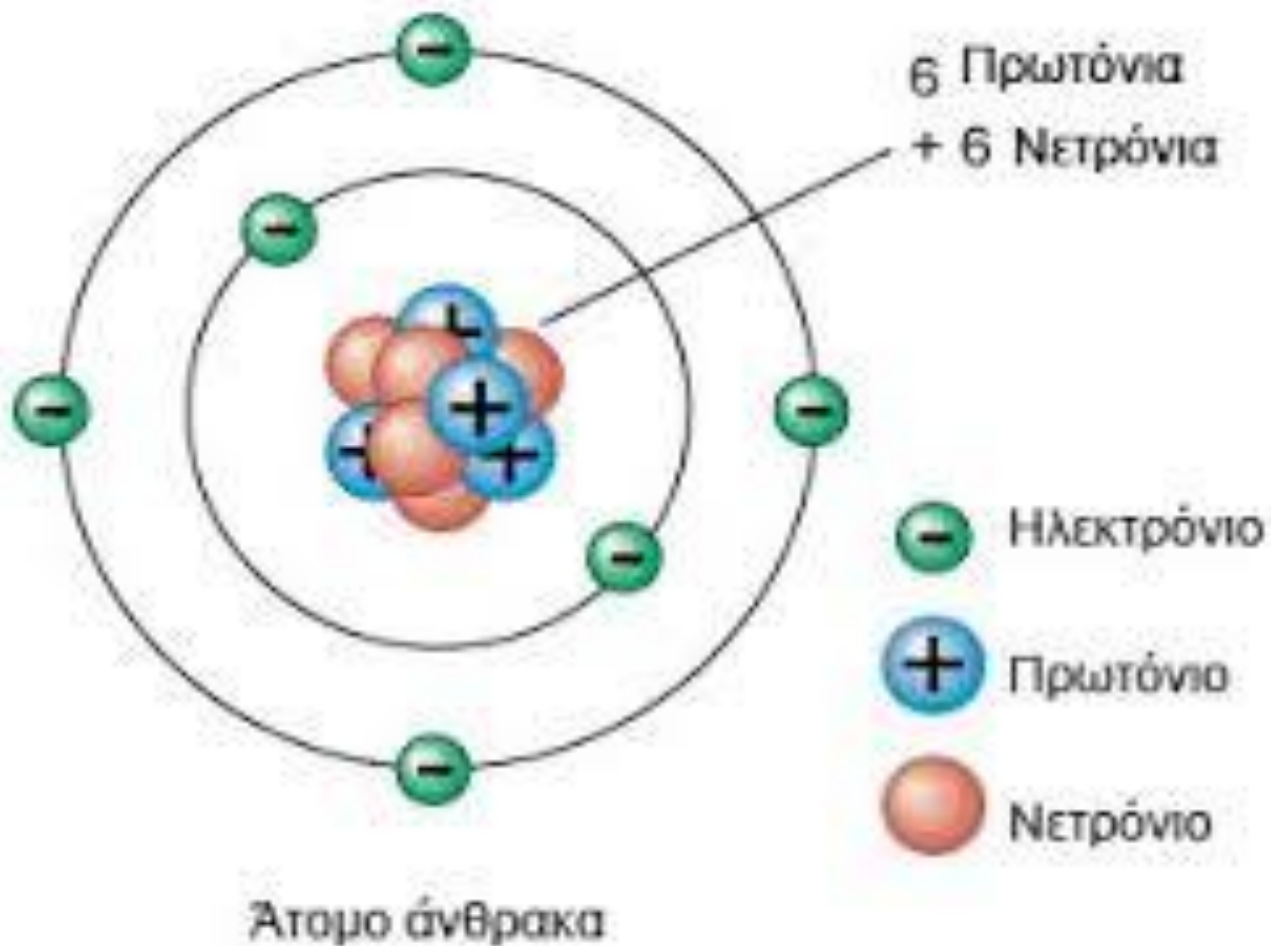
Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Design Copyright © 1997 Michael Dayeh (michael@dayeh.com), <http://www.dayeh.com/periodic/>

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

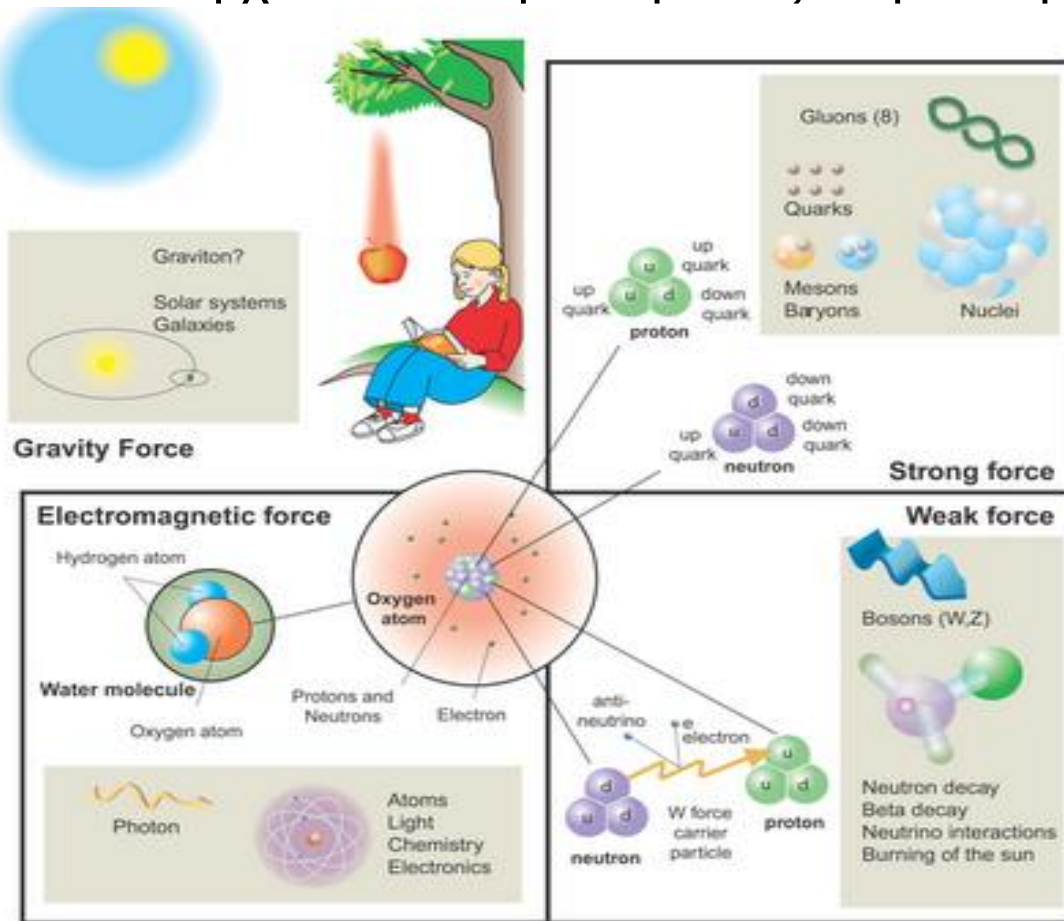
57 La Λανθάνιο 138.9055	58 Ce Διπτήριο 140.116	59 Pr Προσεόδιο 140.90765	60 Nd Νεοδύμιο 144.24	61 Pm Προμηθέσιο 145	62 Sm Σαμάριο 150.36	63 Eu Ευρώπιο 151.964	64 Gd Γαδολίνιο 157.25	65 Tb Τέρβιο 158.92534	66 Dy Δυσπρόσιο 162.500	67 Ho Ουμιο 164.93032	68 Er Έρβιο 167.259	69 Tm Θουόλιο 168.93421	70 Yb Υπέρβιο 173.04	71 Lu Λουθécιο 174.967
89 Ac Ακτινίο (227)	90 Th Θόριο 232.0381	91 Pa Πρωακτινίο 231.03588	92 U Ουράνιο 238.02891	93 Np Ποσειδώνιο (237)	94 Pu Πλουτώνιο (244)	95 Am Αμερίκιο (243)	96 Cm Κιούριο (247)	97 Bk Μπερκέλιο (247)	98 Cf Καλιφόρνιο (251)	99 Es Αϊσμπίνιο (252)	100 Fm Φέρμιο (257)	101 Md Μεντελέβιο (258)	102 No Νομπόλιο (259)	103 Lr Λωρένσιο (262)

Στοιχειώδη Σωματίδια



Αλληλεπιδράσεις στη Φύση

- Υπάρχουν 4 αλληλεπιδράσεις στη Φύση:



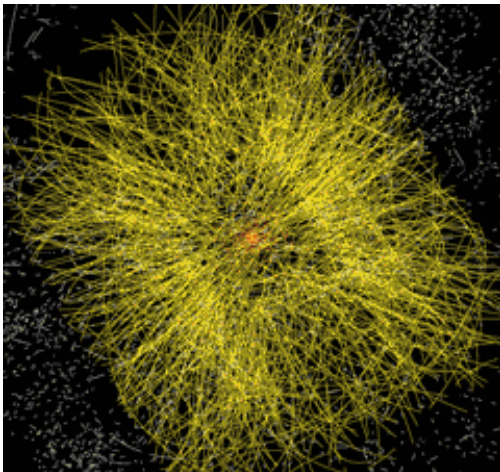
- Ξέρουμε πολύ καλά 3 από αυτές:

Ηλεκτρομαγνητικές
Ισχυρές Πυρηνικές
Ασθενείς Πυρηνικές

- Η Βαρύτητα** ακόμα λείπει!

Επιταχυντές: CERN

- Μελετούμε τις αλληλεπιδράσεις στους επιταχυντές: CERN ο μεγαλύτερος του κόσμου.



Στοιχειώδη σωματίδια;

Periodic Particle Table

$f' = \text{Linear} \rightarrow j$
 $\hbar' = \text{Angular} \rightarrow ij \rightarrow \hbar$
 $i' = \text{Linear} \rightarrow s$

Linear $\rightarrow j = f$
 Angular $\rightarrow ij = \hbar$
 Linear $\rightarrow s = i$

$N_G \equiv +\frac{1}{6}$ $N_G \equiv -\frac{1}{6}$

$N_G \equiv +\frac{1}{6}$ $N_G \equiv -\frac{1}{6}$

1 Primordial
 2 Weyl fermions
 Photons
 3 Gluons
 Weak
 4 Leptons
 5 Quarks

$\circ = \text{strong type II}$
 $\circ = \text{entanglement}$

confined color =
 unused/void =

Area = A
 Wavicle Area = w
 Volume = V
 potential $\phi = x$

grams mass
 $\Leftrightarrow = \text{quasi-strong}$

© 2016-2018 by PuMa Tse of Akademe Foundation
<http://akademe.org>

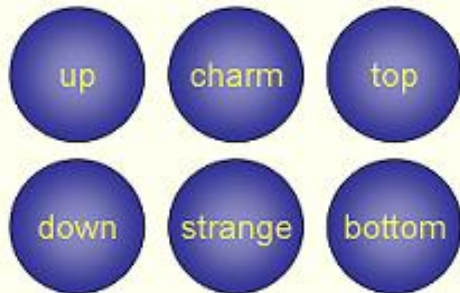
Revised 2/13/2018

Στοιχειώδη Σωματίδια

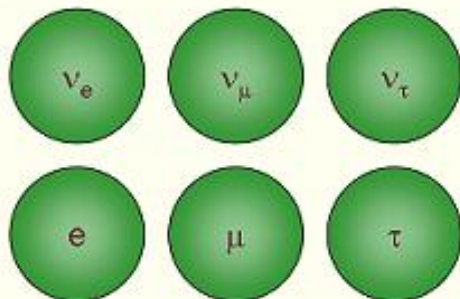
- **Βαρυονική Ύλη.** Τα πάντα που «βλέπουμε»:

Particle content of the Standard Model

Quarks:



Leptons:



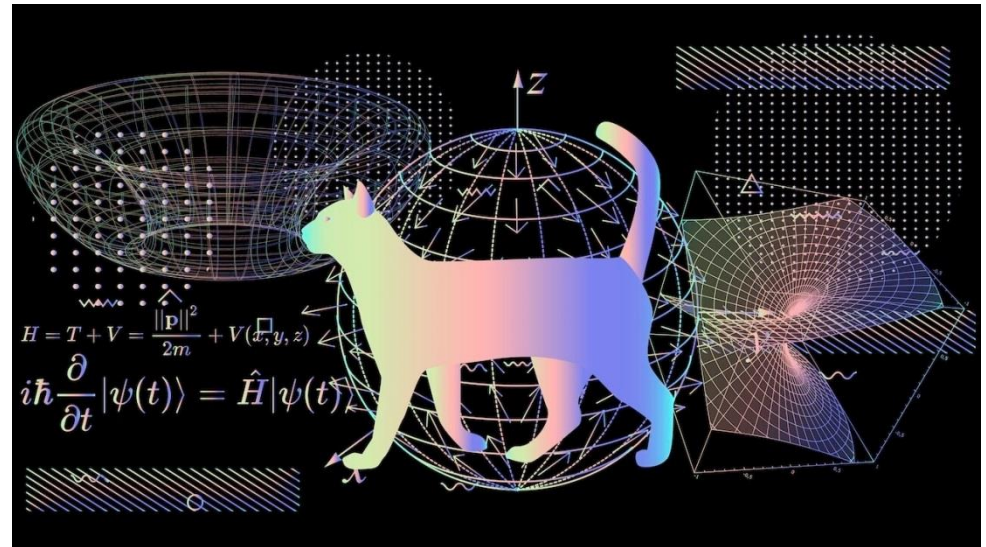
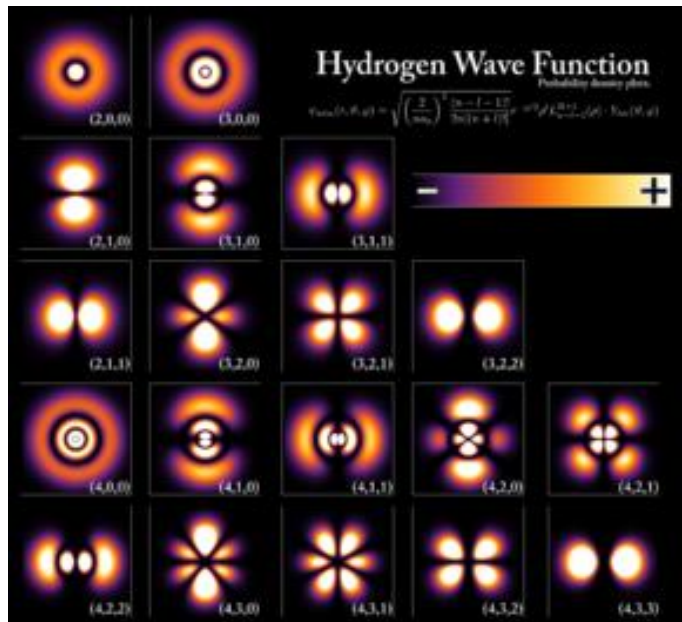
Force carriers



Από αυτήν αποτελούνται
οι **γαλαξίες, τα άστρα, οι
πλανήτες, εσείς, κλπ**

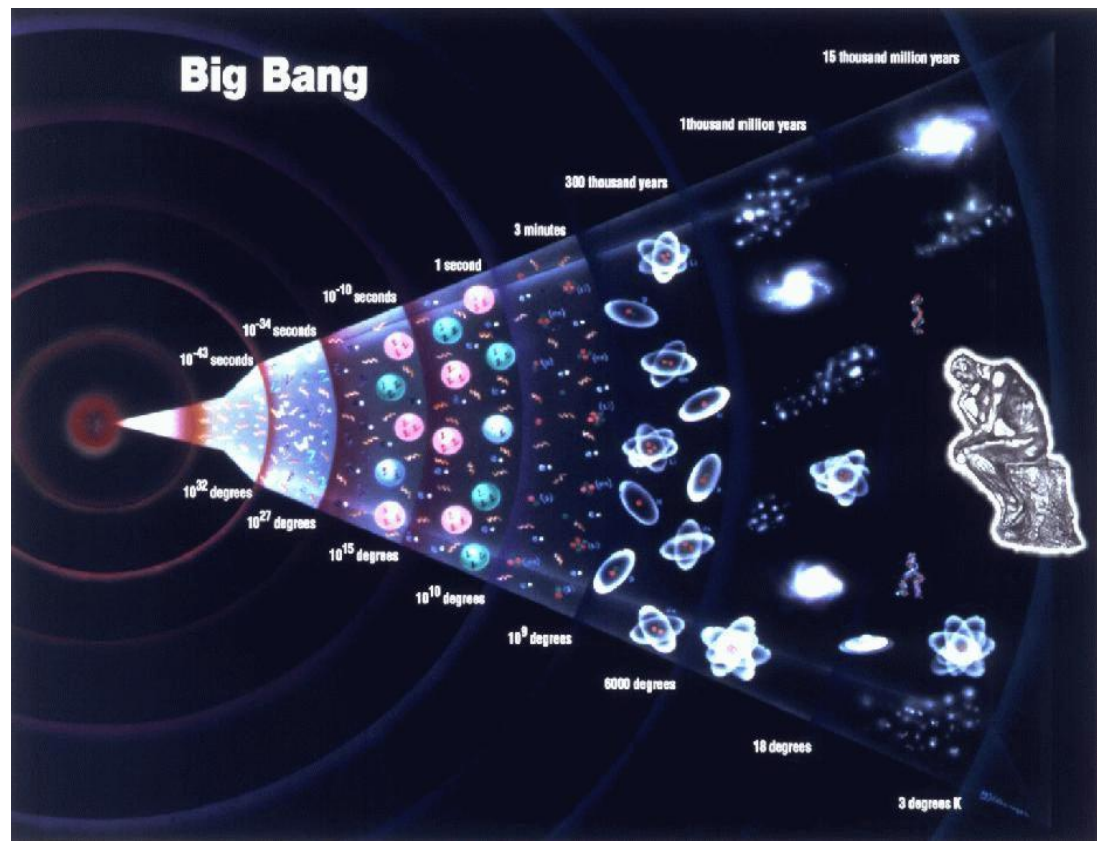
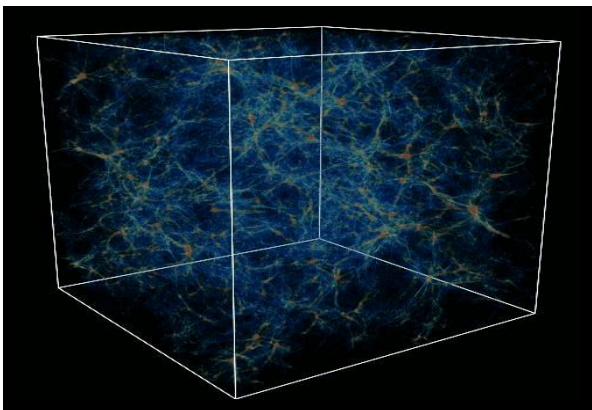
Κβαντική Μηχανική

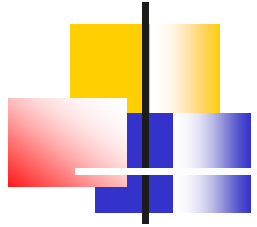
- Κυματοσωματιδιακός Διϊσμός
- Αρχή Αβεβαιότητας
- Πιθανοκρατικές Νομοτέλειες



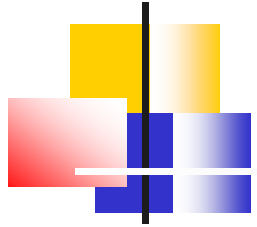
Κοσμολογία: Το εργαστήριο της Βαρύτητας

- Η Βαρύτητα δεν μπορεί να μελετηθεί στους επιταχυντές. Επομένως πρέπει να την παρατηρήσουμε στο Σύμπαν: Κοσμολογία



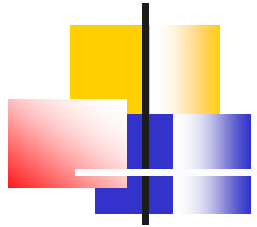


- Σφαίρα ακτίνας 6700 χιλιόμετρα



Γη και Σελήνη





Ήλιος και Γη

Earth, Moon

Sun



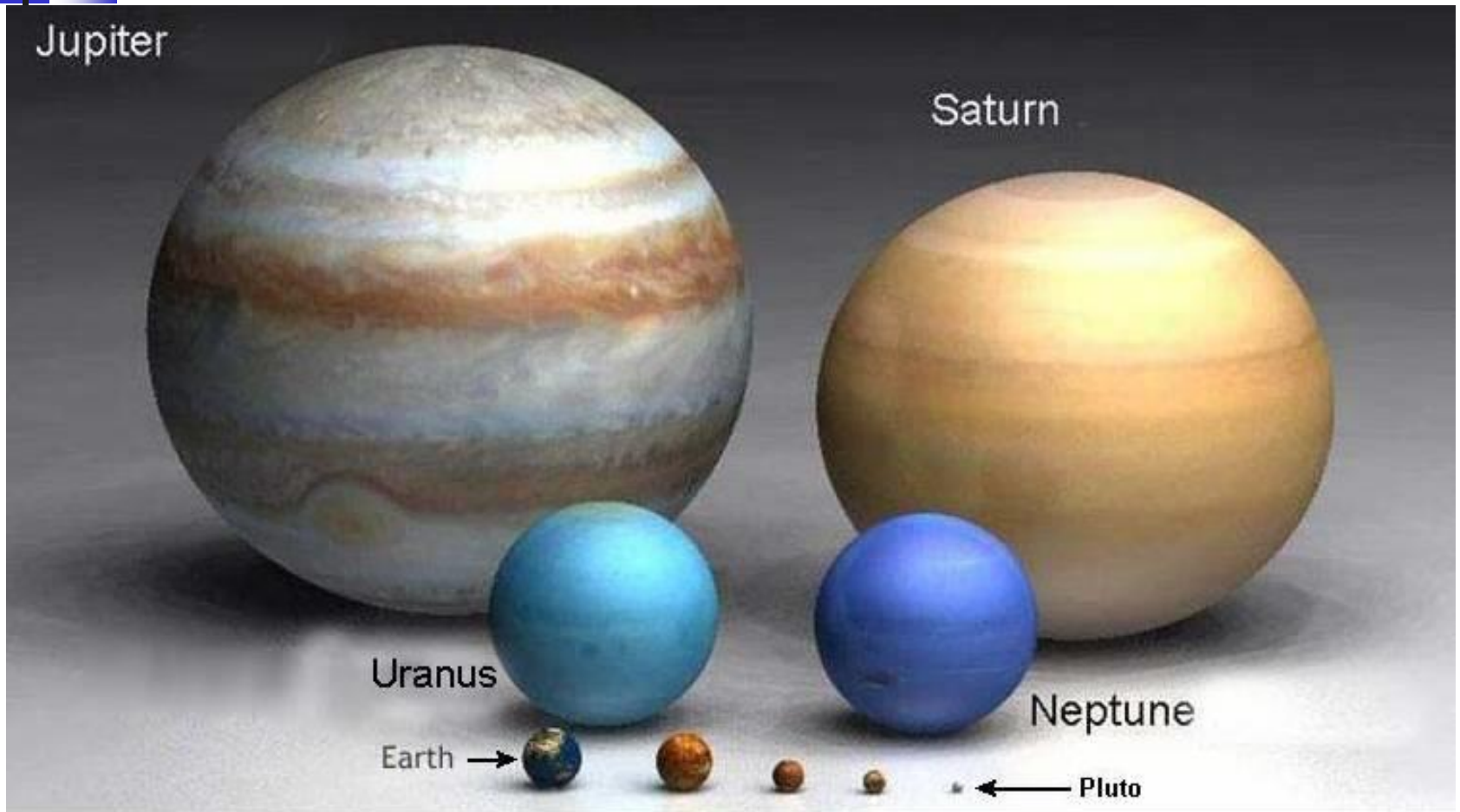
Earth

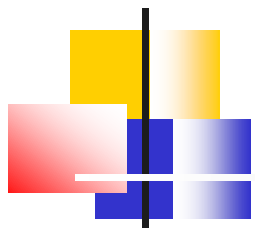


Moon

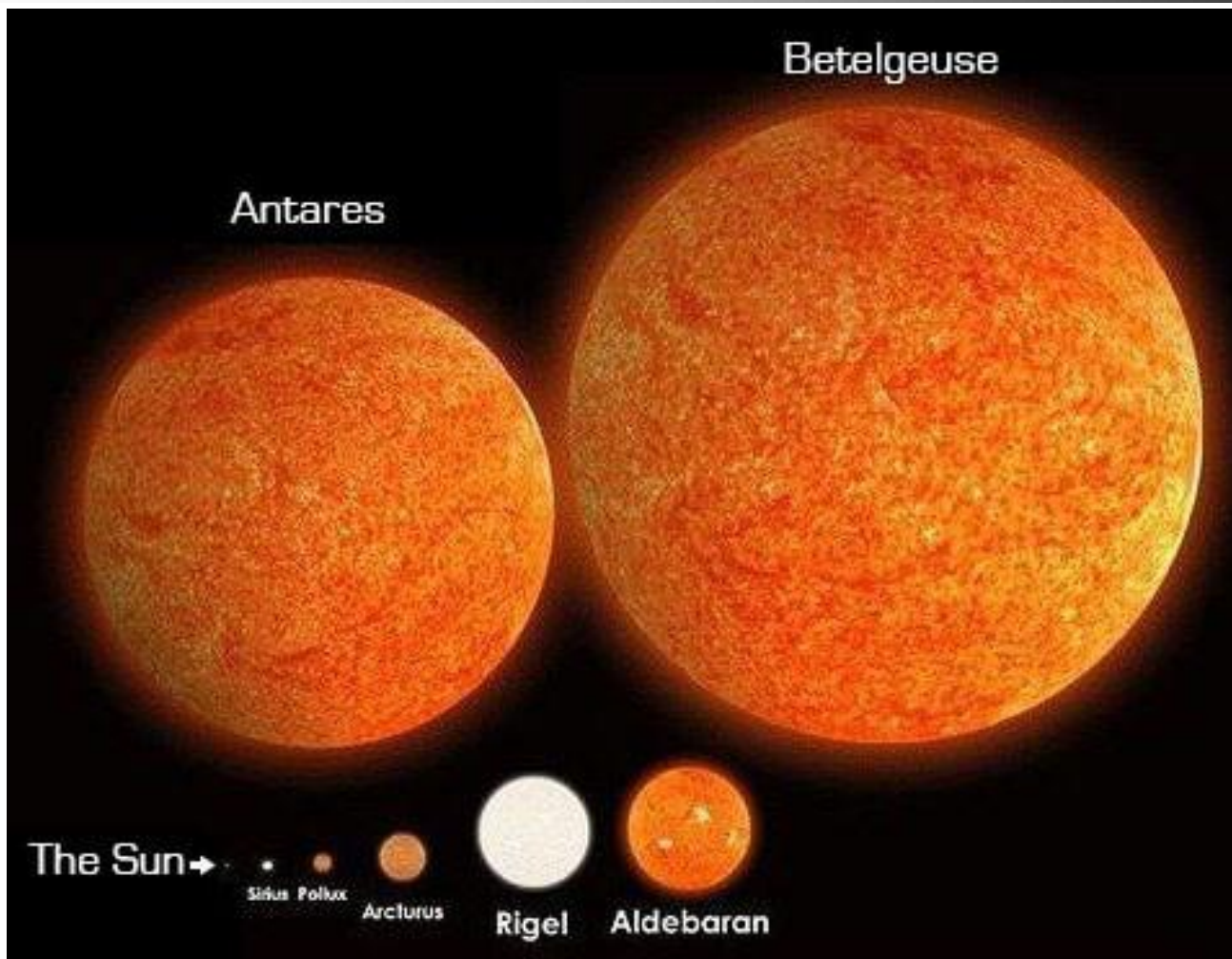


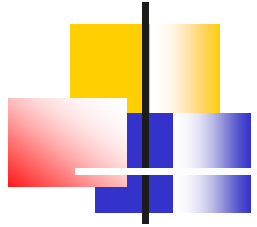
Πλανήτες





Αστέρια





Αστέρια



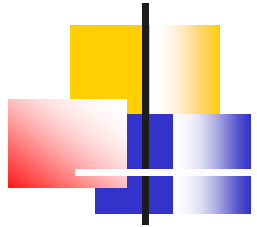
Γαλαξίας





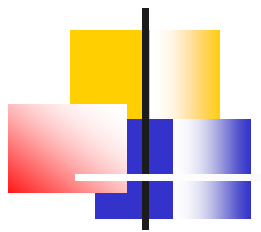
Γαλαξίας. 100.000.000.000 αστέρια!



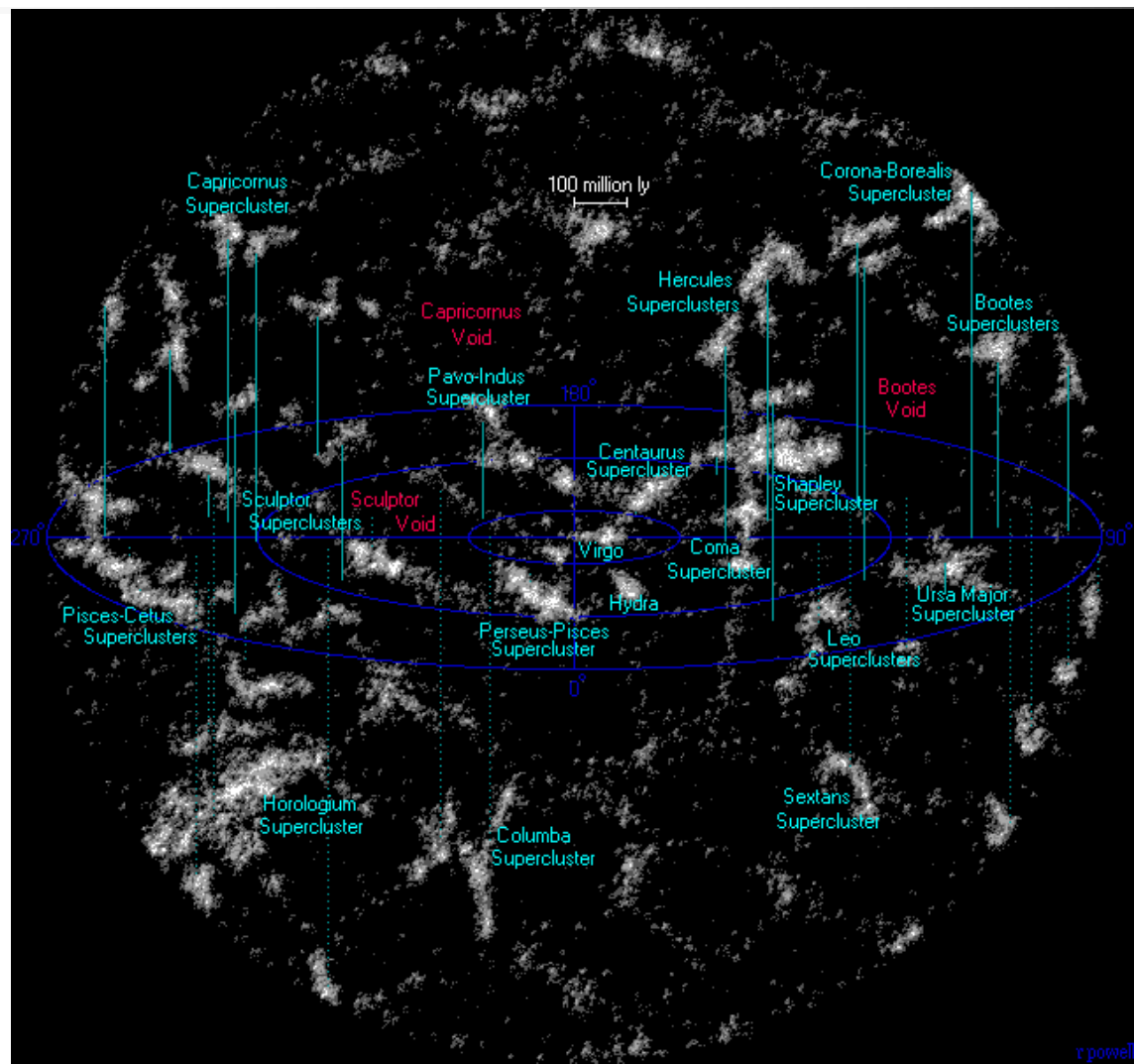


Σμήνη Γαλαξιών

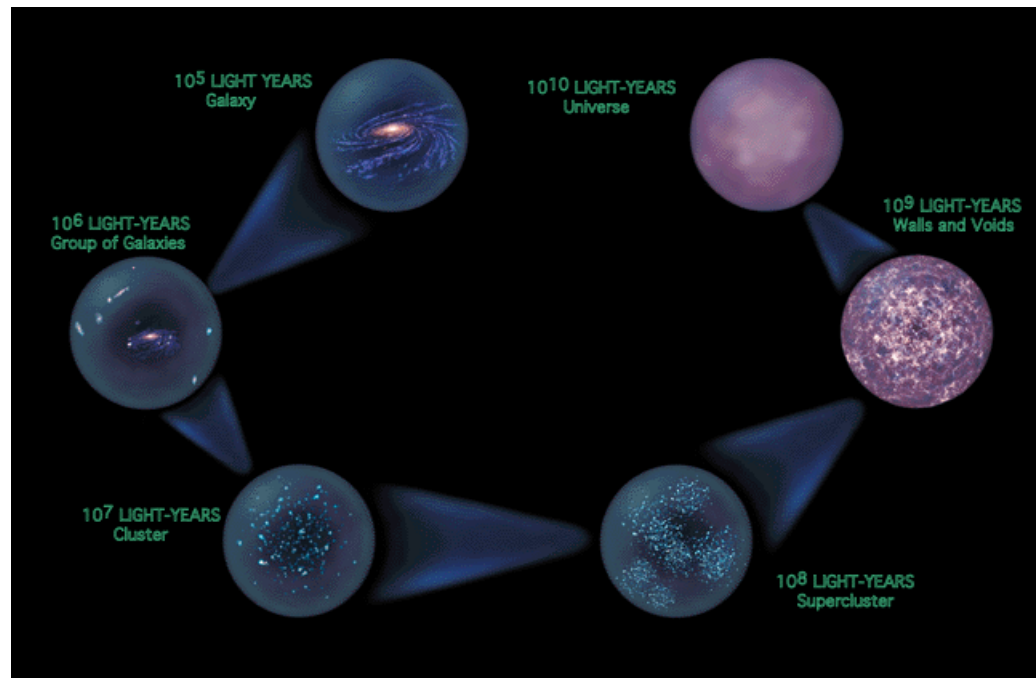




Σμήνη και Υπερσμήνη Γαλαξιών

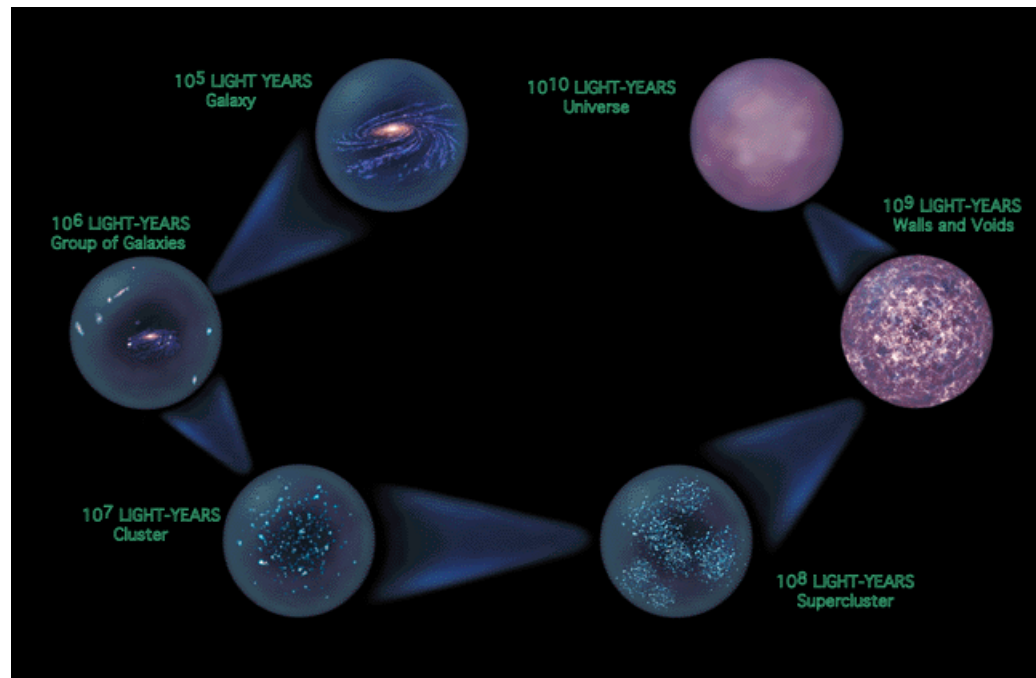


Σμήνη και Υπερσμήνη Γαλαξιών



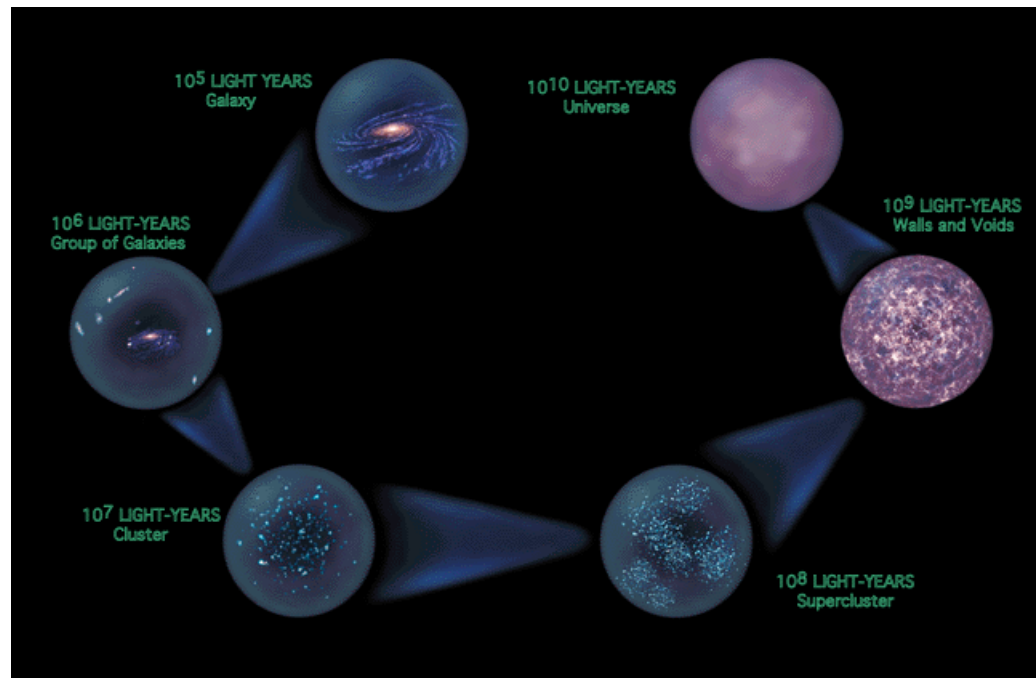
- Hubble 1924: Υπάρχουν κι άλλοι **γαλαξίες**
- **Ομάδες Γαλαξιών**: **ολιγομελείς** ~100 γαλαξίες, **βαρυτικά χαλαρές** συγκεντρώσεις. Π.χ η τοπική μας ομάδα γαλαξιών.

Σμήνη και Υπερσμήνη Γαλαξιών



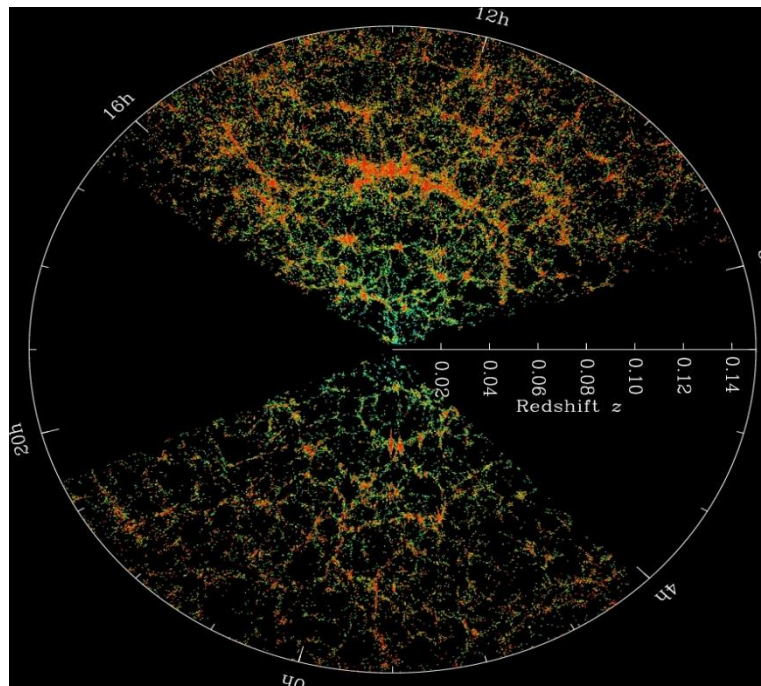
- **Σμήνη Γαλαξιών**: Πολυπληθείς (ως 10.000), βαρυτικά συνεκτικές συγκεντρώσεις («ανώμαλα» και «κανονικά/σφαιρικά»)
- Π.χ Σμήνος της Παρθένου (Virgo cluster) σε απόσταση 10 Mly, ανώμαλο με ~3000 γαλαξίες, το Σμήνος της Κόμης της Βερενίκης σε απόσταση 3000Mly, κανονικό με ~10.000 γαλαξίες

Σμήνη και Υπερσμήνη Γαλαξιών



- **Abell 1958**: Από 2700 σμήνη γαλαξιών τα 1700 ανήκαν σε μεγαλύτερες δομές, σε «σμήνη από σμήνη».
- **Υπερσμήνη γαλαξιών**: διάμετρος $\sim 160\text{Mly}$, μάζα $\sim 10^{16} - 10^{17} M_{SUN}$

Σμήνη και Υπερσμήνη Γαλαξιών



- **SDSS** (Sloan Digital Sky Survey) 2004: ~60.000 «προς τα πάνω και προς τα κάτω από το γαλαξιακό επίπεδο», ως απόσταση ~ 1 Gpc (~3.26 Gly)
- **Πελώρια κενά** (voids), περίπου σφαιρικά διαμέτρου (30-120 Mpc), με τα υπερσμήνη σε **επίπεδα υλικά φύλλα** (δομή **κουφέλης**, με **κουσελίδες-κενά** και **υπερσμήνη-τοιχώματα κουσελίδων**). **Ομογένεια** και **Ισοτροπία** ορατή.



Ομογένεια και Ισοτροπία

- Όπως είδαμε, όσο μεγαλώνει η κλίμακα στην οποία παρατηρούμε το Σύμπαν, αυτό φαντάζει **ομογενές** και **ισότροπο**.
- **Ομογένεια**: Κάθε περιοχή του Σύμπαντος είναι **ίδια με οποιαδήποτε άλλη** (π.χ ίδια μέση πυκνότητα).
- **Ισοτροπία**: Το Σύμπαν φαίνεται το **ίδιο σε κάθε διεύθυνση** παρατήρησης.
- **Κοσμολογική Αρχή**: Το Σύμπαν είναι και **ομογενές** και **ισότροπο**.

Διαστολή του Σύμπαντος

- **Edwin Hubble** 1929: Κάθε παρατηρητής παρατηρεί τους μακρινούς γαλαξίες να απομακρύνονται με **ταχύτητες ανάλογες της απόστασης**.



Hubble excelled in every course at school (except spelling), but was better known for his athletic prowess. He was a star player in football, baseball, and basketball, and ran track in high school and at the University of Chicago, where he earned a Bachelor of Science in 1910.



Διαστολή του Σύμπαντος

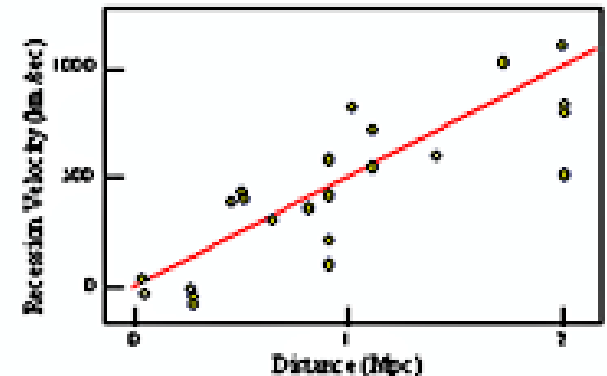
- **Edwin Hubble** 1929: Κάθε παρατηρητής παρατηρεί τους μακρινούς γαλαξίες να απομακρύνονται με **ταχύτητες ανάλογες της απόστασης**.

$$v = H r$$

- v : ταχύτητα απομάκρυνσης σε km/s
- r : απόσταση σε Mpc

$$H_0 \approx 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

Hubble's Data (1929)



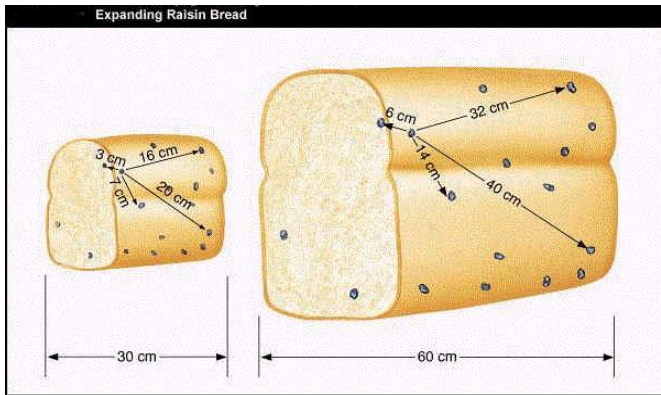


Διαστολή του Σύμπαντος

- Η ταχύτητα απομάκρυνσης προσδιορίζεται από την μετατόπιση προς το ερυθρό z (redshift) γνωστών φασματικών γραμμών λόγω φαινομένου Doppler.
- Επομένως, όσο πιο μεγάλο το z , τόσο πιο μακριά το σώμα, άρα τόσο πιο παλιά!

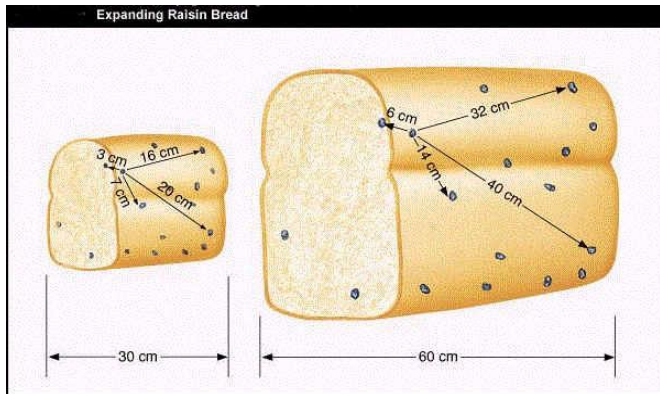
Διαστολή του Σύμπαντος

- 1) Ο νόμος του Hubble ισχύει για **κάθε σημείο παρατήρησης**:

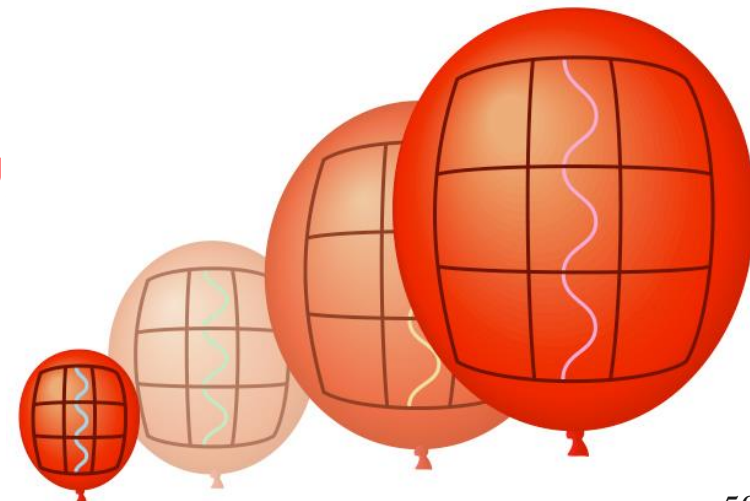


Διαστολή του Σύμπαντος

- 1) Ο νόμος του Hubble ισχύει για **κάθε σημείο παρατήρησης**:



- 2) Είναι **διαστολή του ίδιου του χώρου** όχι διαστολή μέσα σε έναν απόλυτο χώρο.





Ηλικία του Σύμπαντος

- Ως πρώτη προσέγγιση υποθέτουμε γραμμική διαστολή.
- Δύο σμήνη που απέχουν r και απομακρύνονται με v θα ήταν σε επαφή πριν από χρόνο

$$t_U = \frac{r}{v} = \frac{r}{Hr} = \frac{1}{H} = \frac{1}{70} \left[\frac{Mpc}{km} \right] s \approx 14 \text{ Gy}$$



Θεωρία Μεγάλης Έκρηξης

- 1) Αφού το Σύμπαν διαστέλεται, λογικό να προέρχεται από ένα πολύ μικρό και πυκνό «αρχέγονο άτομο» (Lemaitre 1927!)



Θεωρία Μεγάλης Έκρηξης

- 1) Αφού το Σύμπαν διαστέλεται, λογικό να προέρχεται από ένα πολύ μικρό και πυκνό «αρχέγονο άτομο» (Lemaitre 1927!)

- 2) Alpher, Bethe, Gamow (1948): Το Σύμπαν άρχισε να διαστέλλεται από μια υπέρπυκνη και υπέρθερμη κατάσταση, προς αραιότερες και ψυχρότερες 10^9 καταστάσεις. (Ο Hoyle ονόμασε υποτιμητικά «Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης» (Big Bang))



Περιγραφή Διαστελλόμενου Σύμπαντος

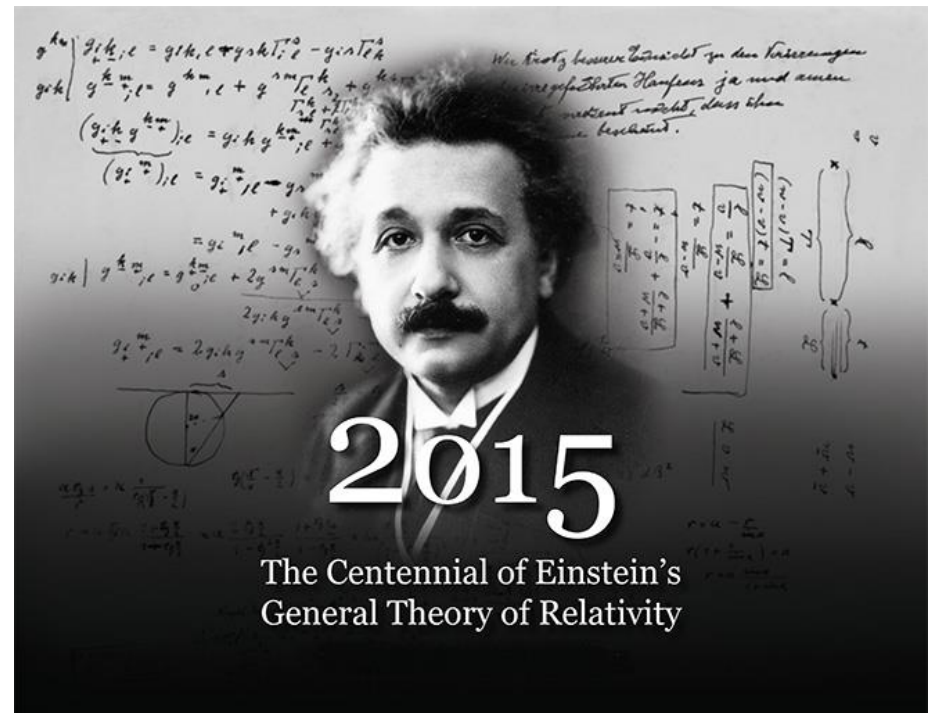
- **Γενική Σχετικότητα:** Η εξέλιξη του τετραδιάστατου χωρόχρονου καθορίζεται από την κατανομή της ύλης

- Σε μεγάλη κλίμακα δεν μας νοιάζουν οι λεπτομέρειες της ύλης, ούτε η λεπτομερής δομή πλανητικά συστήματα, γαλαξίες, σμήνη.

Η Γνώση μας για τη Φύση

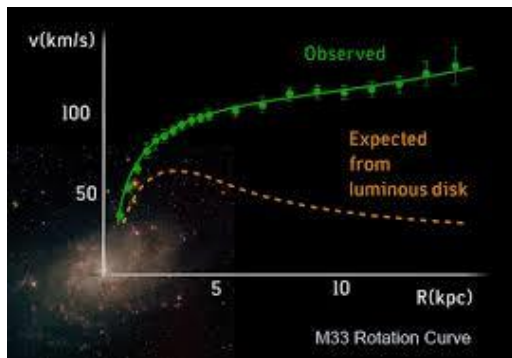
Γνώση Φυσικής: Καθιερωμένο Πρότυπο + Γενική Σχετικότητα

	<p>mass → $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>u up</p>	<p>mass → $\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>c charm</p>	<p>mass → $\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>t top</p>	<p>mass → 0</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>g gluon</p>	<p>mass → $\approx 126 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 0</p> <p>H Higgs boson</p>
QUARKS	<p>mass → $\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>d down</p>	<p>mass → $\approx 95 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>s strange</p>	<p>mass → $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>b bottom</p>	<p>mass → 0</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>γ photon</p>	
				<p>mass → 0</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>Z Z boson</p>	GAUGE BOSONS
LEPTONS	<p>mass → $0.511 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>e electron</p>	<p>mass → $105.7 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>μ muon</p>	<p>mass → $1.777 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>τ tau</p>		
		<p>mass → $< 2 \text{ eV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_e electron neutrino</p>	<p>mass → $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_μ muon neutrino</p>	<p>mass → $< 15.5 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_τ tau neutrino</p>	<p>mass → $80.4 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → ± 1</p> <p>spin → 1</p> <p>W W boson</p>



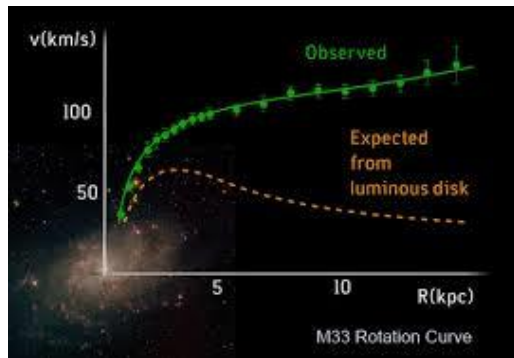
Σκοτεινή Ύλη

- Καμπύλες περιστροφής γαλαξιών:

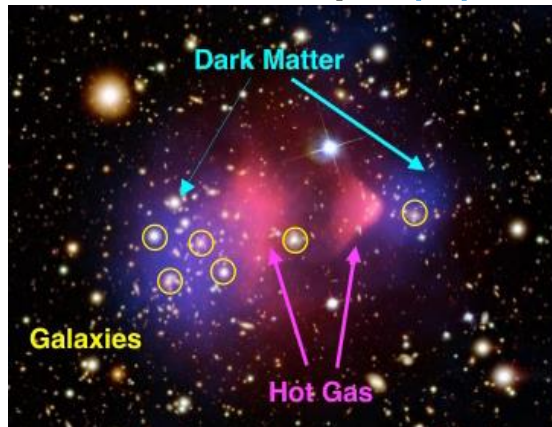


ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΎΛΗ

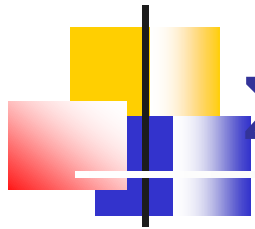
- Καμπύλες περιστροφής γαλαξιών:



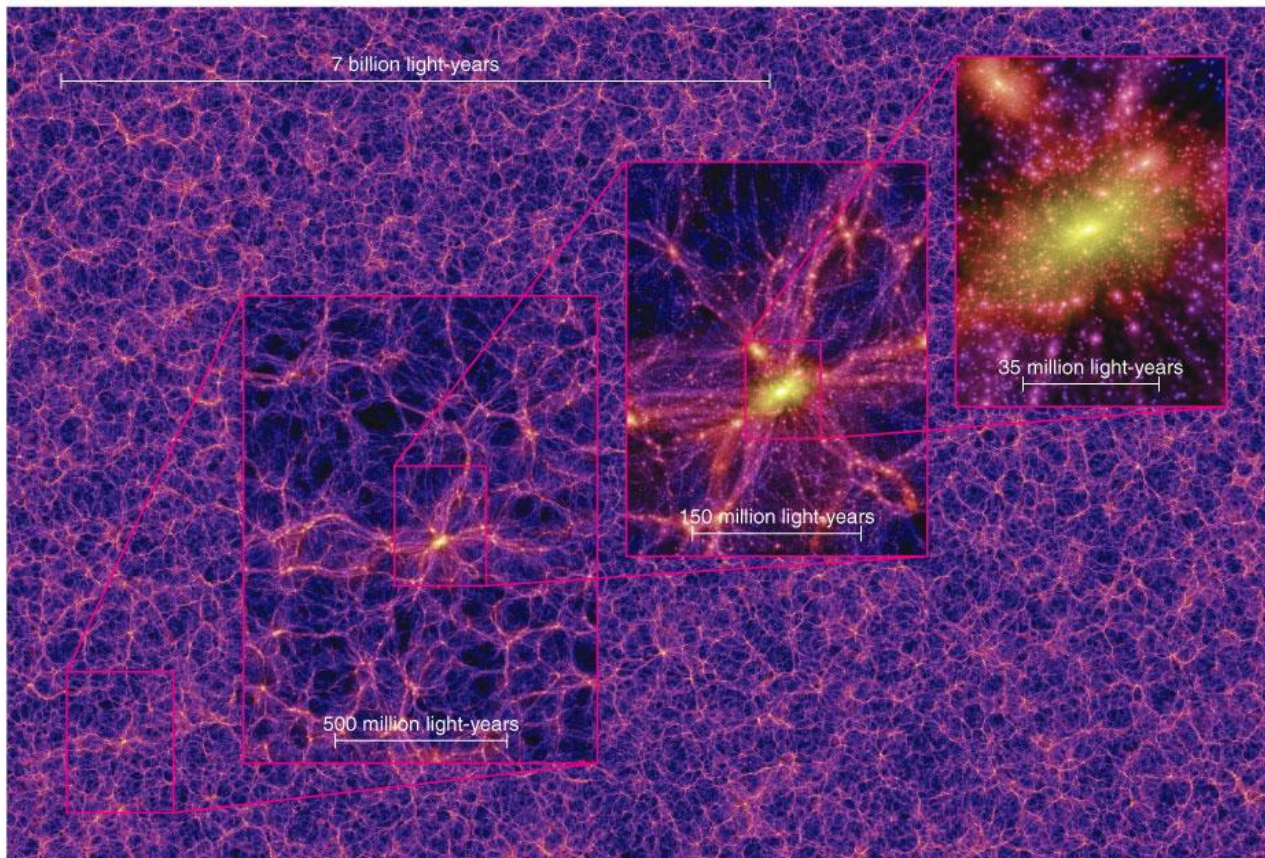
- **Bullet cluster** (σύγκρουση δυο σμηνών γαλαξιών)



- 80% της ύλης είναι «άγνωστη» **σκοτεινή ύλη** (δεν αλληλεπιδρά ηλεκτρομαγνητικά)!



ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΎΛΗ



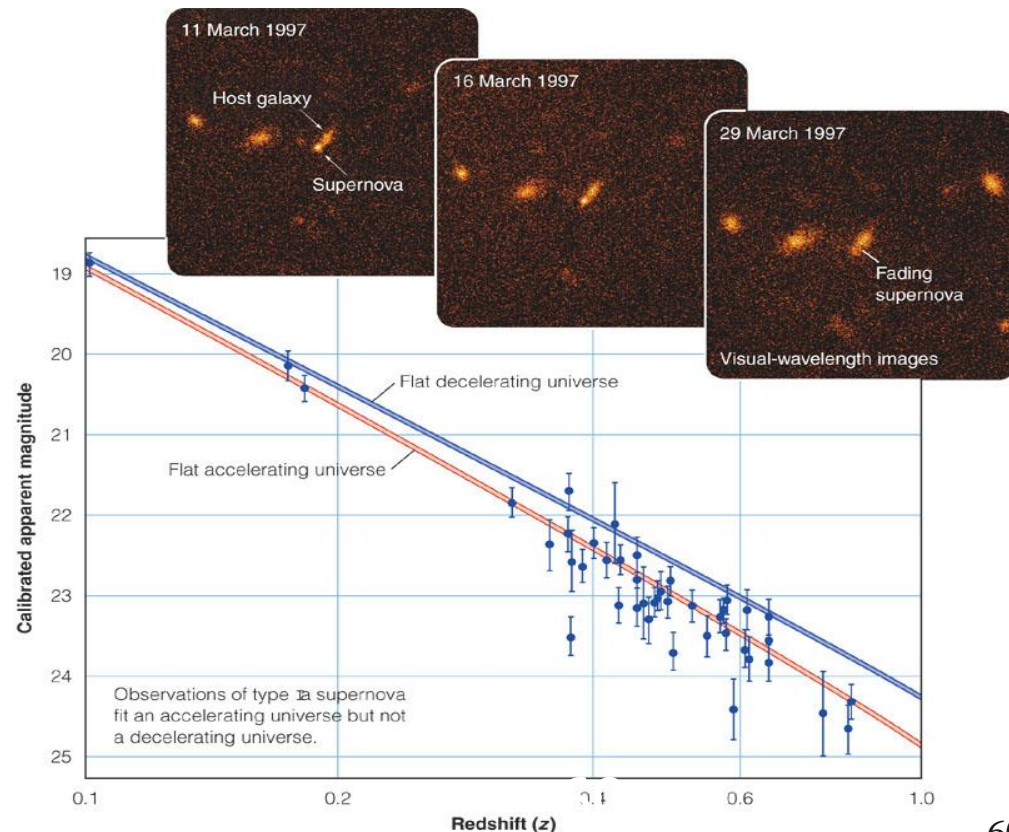


Σκοτεινή Ενέργεια

- Οι **Υπερκαινοφανείς** (εκρήξεις λευκών νάνων) **τύπου Ia** αποτελούν «**καθιερωμένα κεριά**», καθώς το απόλυτο μέγεθος τους M είναι προσδιορίσιμο.

Σκοτεινή Ενέργεια

- Οι **Υπερκαινοφανείς** (εκρήξεις λευκών νάνων) **τύπου Ia** αποτελούν «**καθιερωμένα κεριά**», καθώς το απόλυτο μέγεθος τους M είναι προσδιορίσιμο.
- Το 1998 οι Perlmutter, Schmidt, Riess παρατήρησαν ότι 50 Υπερκαινοφανείς Ia είχαν **μικρότερο φαινόμενο μέγεθος** από ότι αναμενόταν, επομένως το **φως ταξίδεψε περισσότερο**, και επομένως το Σύμπαν **σήμερα διαστέλλεται πιο γρήγορα** από ότι **παλιότερα!**





Σκοτεινή Ενέργεια

- Η **επιταχυνόμενη διαστολή** επιβεβαιώνεται από ανεξάρτητες παρατηρήσεις.
- Περίπου **το 70%** της **συνολικής πυκνότητας ενέργειας** στο Σύμπαν είναι αυτή η «άγνωστη», **σκοτεινή ενέργεια** (δεν αλληλεπιδρά ηλεκτρομαγνητικά). (Η συνήθης ή η σκοτεινή ύλη δεν μπορεί ποτέ να δώσει επιταχυνόμενη διαστολή).

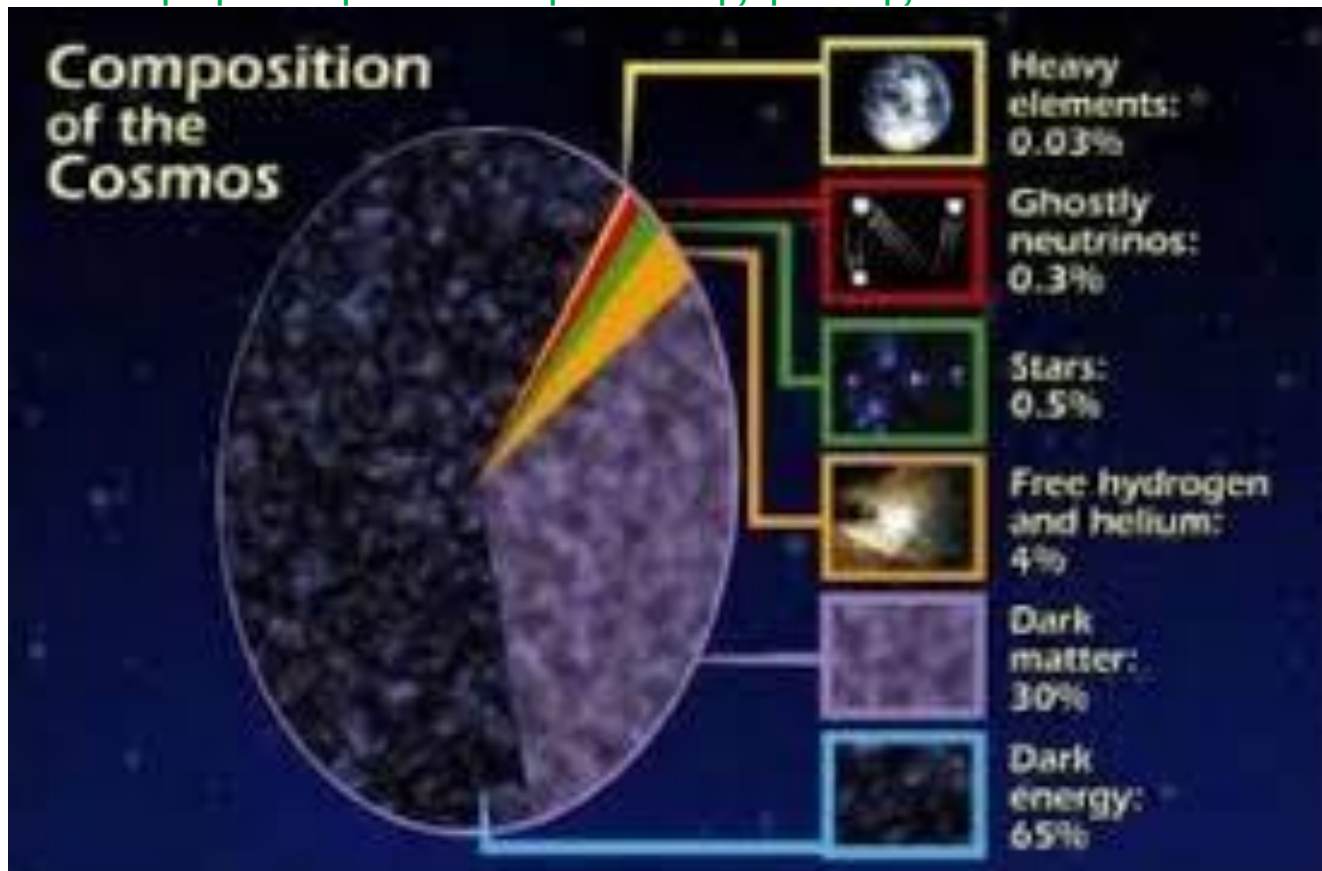


Σκοτεινή Ενέργεια

- Η **επιταχυνόμενη διαστολή** επιβεβαιώνεται από ανεξάρτητες παρατηρήσεις της **μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου**, των **βαρυονικών ακουστικών ταλαντώσεων**, της **δομής μεγάλης κλίμακας** κ.α
- Περίπου **το 70%** της **συνολικής πυκνότητας ενέργειας** στο Σύμπαν είναι αυτή η «άγνωστη», **σκοτεινή ενέργεια** (δεν αλληλεπιδρά ηλεκτρομαγνητικά). (Η συνήθης ή η σκοτεινή ύλη δεν μπορεί ποτέ να δώσει επιταχυνόμενη διαστολή).
- Πιθανή εξήγηση: Η **κοσμολογική σταθερά Λ** (το «**μεγαλύτερο λάθος του Einstein**»). Ένας όρος που δημιουργεί επιπλέον «**άπωση**».

Καθιερωμένο Κοσμολογικό Πρότυπο: ΛCDM

- Σκοτεινή Ενέργεια (Κοσμολογική σταθερά)+ Ψυχρή Σκοτεινή Ύλη (CDM)
+καθιερωμένο πρότυπο σωματιδιακής φυσικής





Πληθωρισμός (Inflation)

- Η απλή θεωρία της **Μεγάλης Έκρηξης** εξηγεί:

Παράδοξο του Olbers (1826): Γιατί ο νυχτερινός ουρανός **δεν είναι λαμπερός** αφού το Σύμπαν είναι άπειρο και αιώνιο



Πληθωρισμός (Inflation)

- Προβλήματα:

I) Πρόβλημα Ορίζοντα (Ισοτροπίας): Γιατί δύο **αντιδιαμετρικά σημεία** του ουρανού με την μέγιστη δυνατή απόσταση από εμάς, **να έχουν τις ίδιες ιδιότητες** αφού **δεν έχουν αλληλεπίδραση** ποτέ μεταξύ τους?

II) Πρόβλημα Επιπεδότητας:

III) Πρόβλημα (μη ύπαρξης) μαγνητικών μονοπόλων



Πληθωρισμός (Inflation)

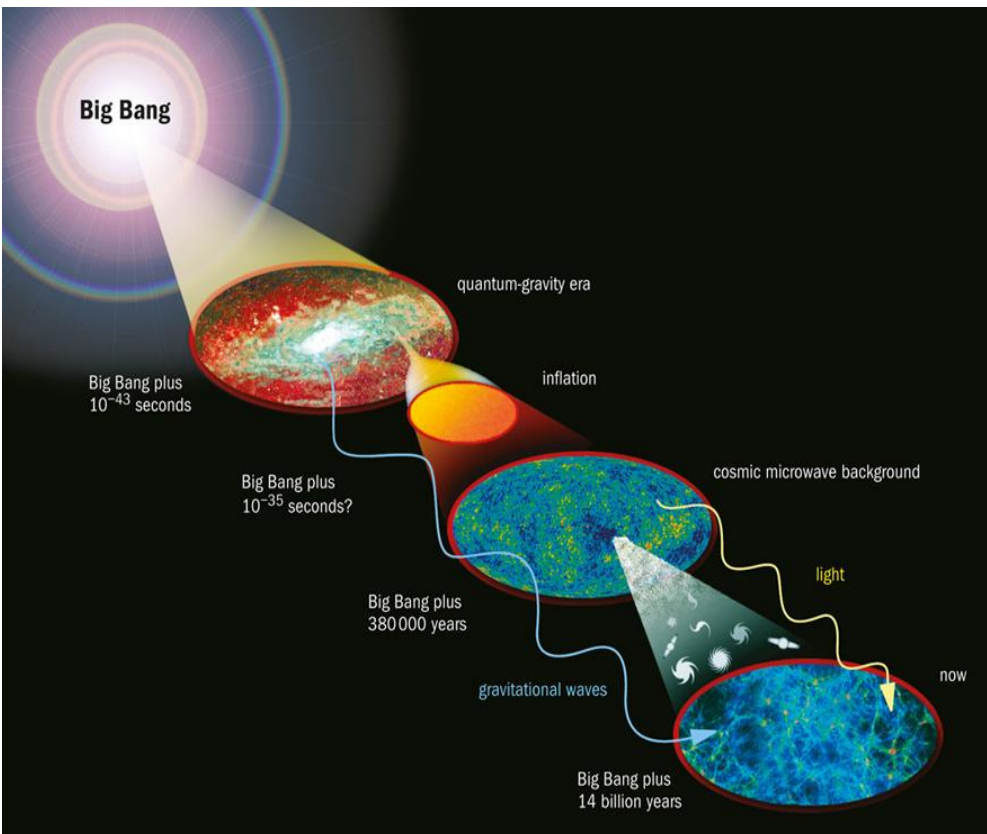
- Καζάνας, Guth, Linde (1982): Το Σύμπαν 10^{-36} sec μετά τη μεγάλη έκρηξη μέσω ενός μηχανισμού υπέστη μια εκθετική διαστολή ως τα 10^{-32} sec αυξάνοντας το μέγεθος του $\sim 10^{30}$ φορές: Πληθωρισμός.



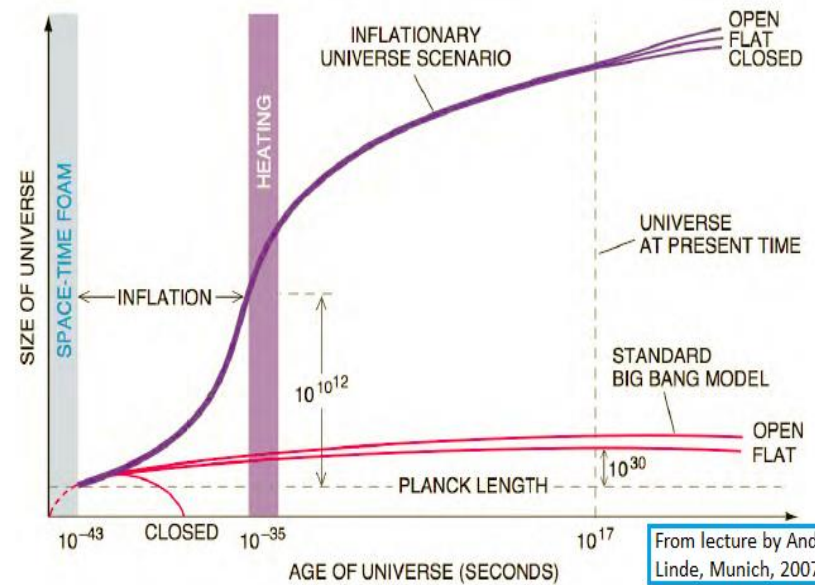
Πληθωρισμός (Inflation)

- Καζάνας, Guth, Linde (1982): Το Σύμπαν 10^{-36} sec μετά τη μεγάλη έκρηξη μέσω ενός μηχανισμού υπέστη μια εκθετική διαστολή ως τα 10^{-32} sec αυξάνοντας το μέγεθος του $\sim 10^{30}$ φορές: Πληθωρισμός.
- I) Το Σύμπαν που παρατηρούμε είναι ένα απειροελάχιστο τμήμα του συνολικού, και προέρχεται από μια μικρή, αιτιατά συνδεδεμένη περιοχή.
- II) Λόγω της τεράστιας διαστολής η καμπυλότητα του Σύμπαντος έγινε σχεδόν μηδέν.
- III) Λόγω της τεράστιας διαστολής τα μονόπολα απλώθηκαν σε όλες τις «περιοχές», με αποτέλεσμα στο δικό μας παρατηρήσιμο Σύμπαν υπάρχει το πολύ ένα.

Πληθωρισμός (Inflation)

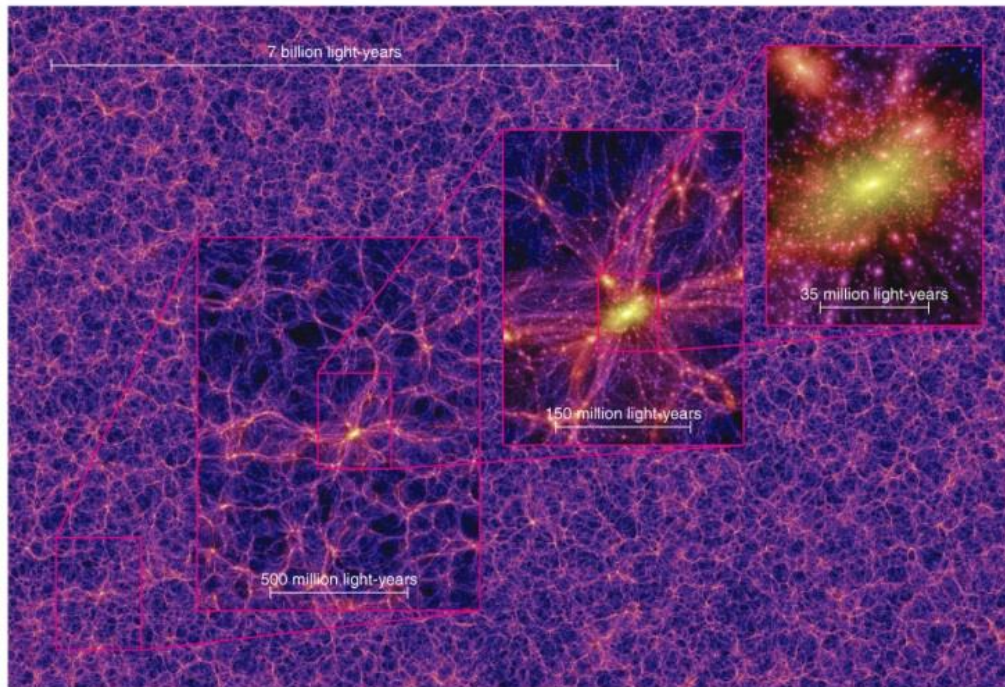


Inflationary Universe



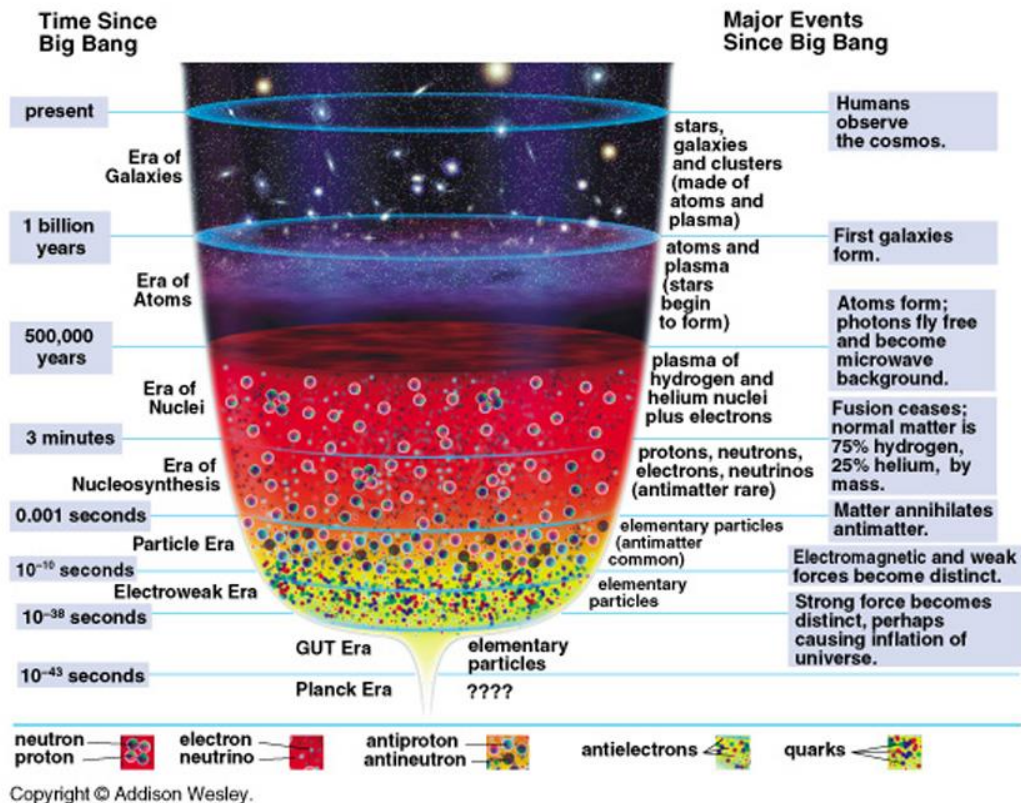
Πληθωρισμός (Inflation)

- Επιπρόσθετη επιτυχία: Ο **πληθωρισμός** δίνει τις **απαραίτητες αρχέγονες διακυμάνσεις**, οι οποίες αργότερα έδωσαν την **Δομή Μεγάλης Κλίμακας** της ύλης:



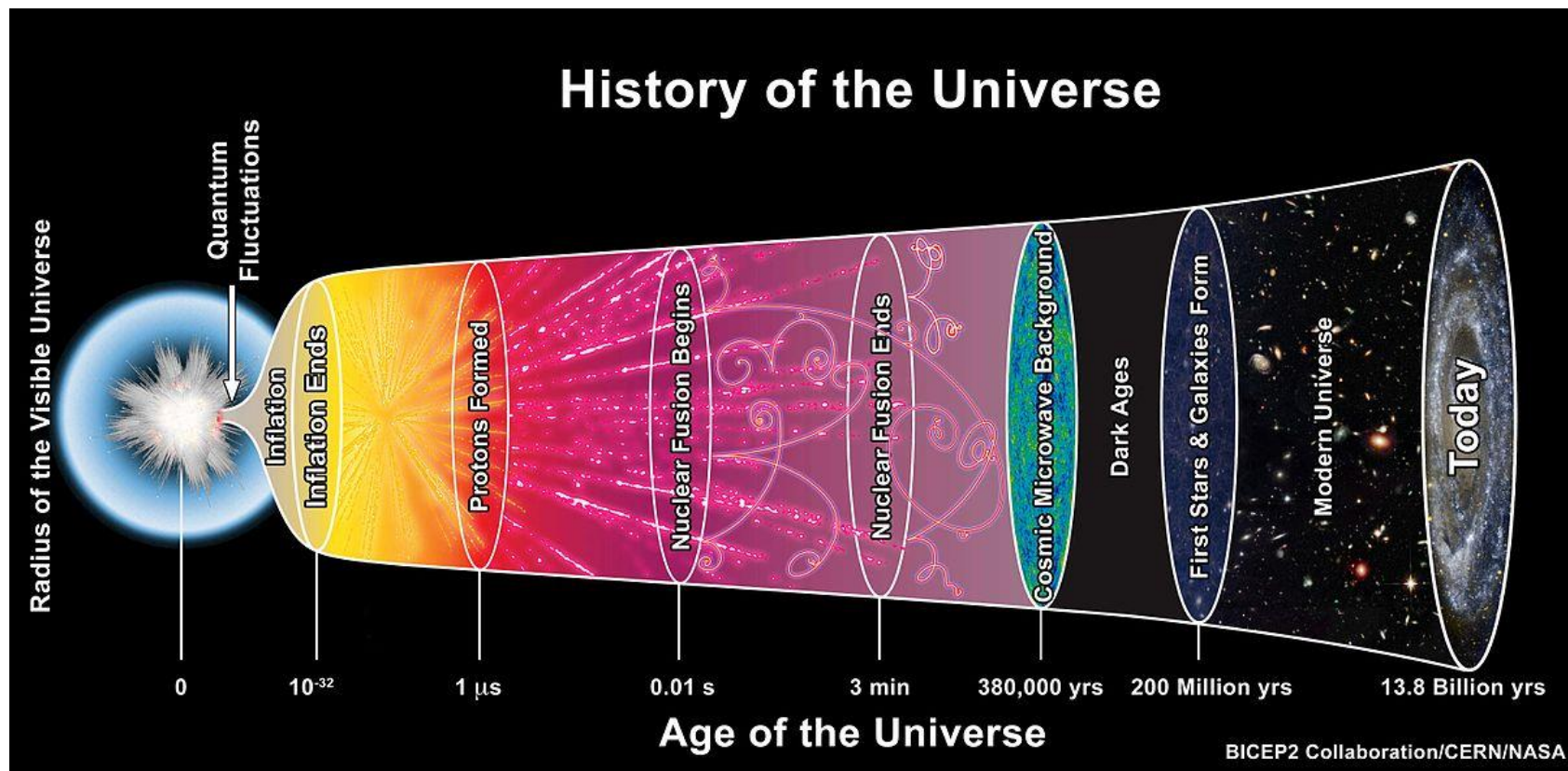
Ιστορία και Δομή του Σύμπαντος

- Η Ύλη έχει Ιστορία (Διαλεκτική)
- ΛCDM+ πληθωριστική μεγάλη έκρηξη:



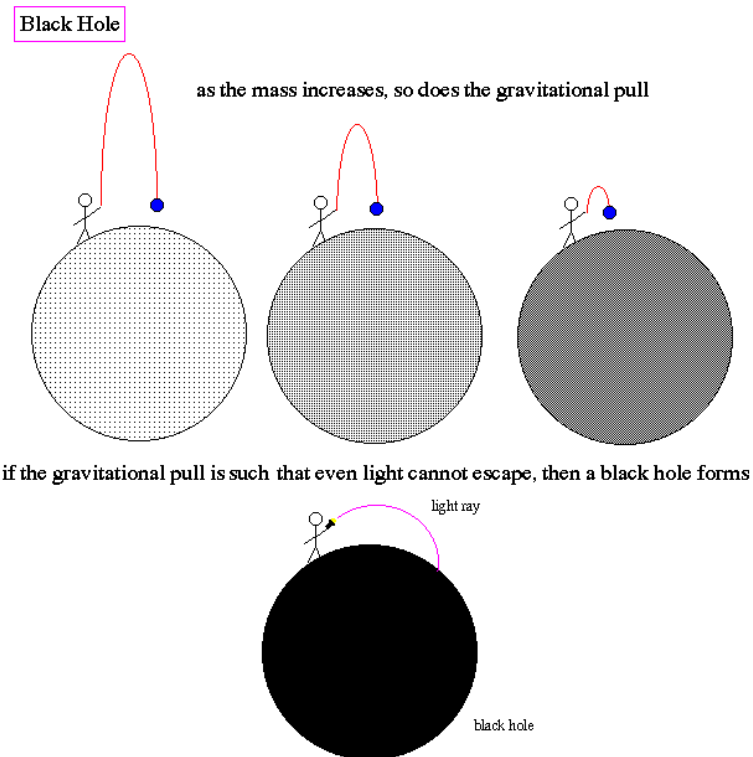
Ιστορία του Σύμπαντος

- Το παρατηρήσιμο Σύμπαν έχει ηλικία περίπου **14 δισεκατομμύρια χρόνια**



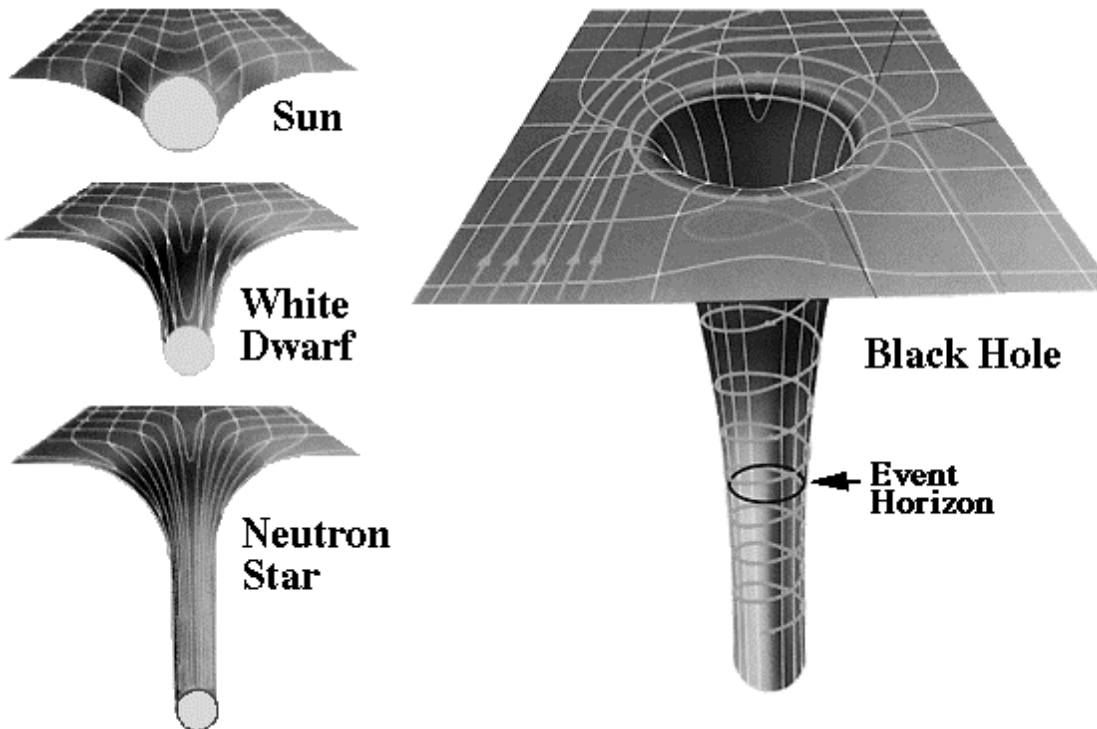
Μαύρες Τρύπες

- Η βαρύτητα της είναι τόσο μεγάλη που ούτε το φως μπορεί να διαφύγει.



Μαύρες Τρύπες

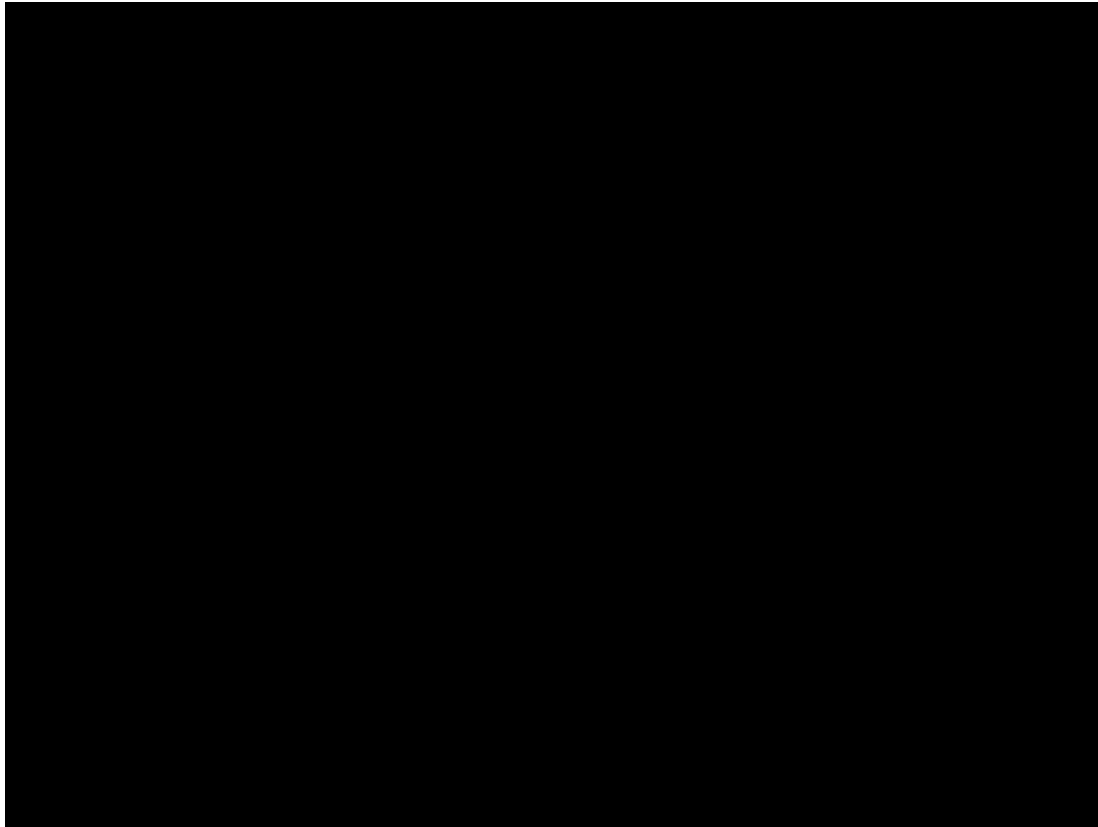
- Αν η μάζα ενός σώματος είναι **μεγαλύτερη από ένα όριο**, σχηματίζεται **μελανή οπή** (**μαύρη τρύπα**).





Μαύρες Τρύπες

- Στο κέντρο του δικού μας Γαλαξία:





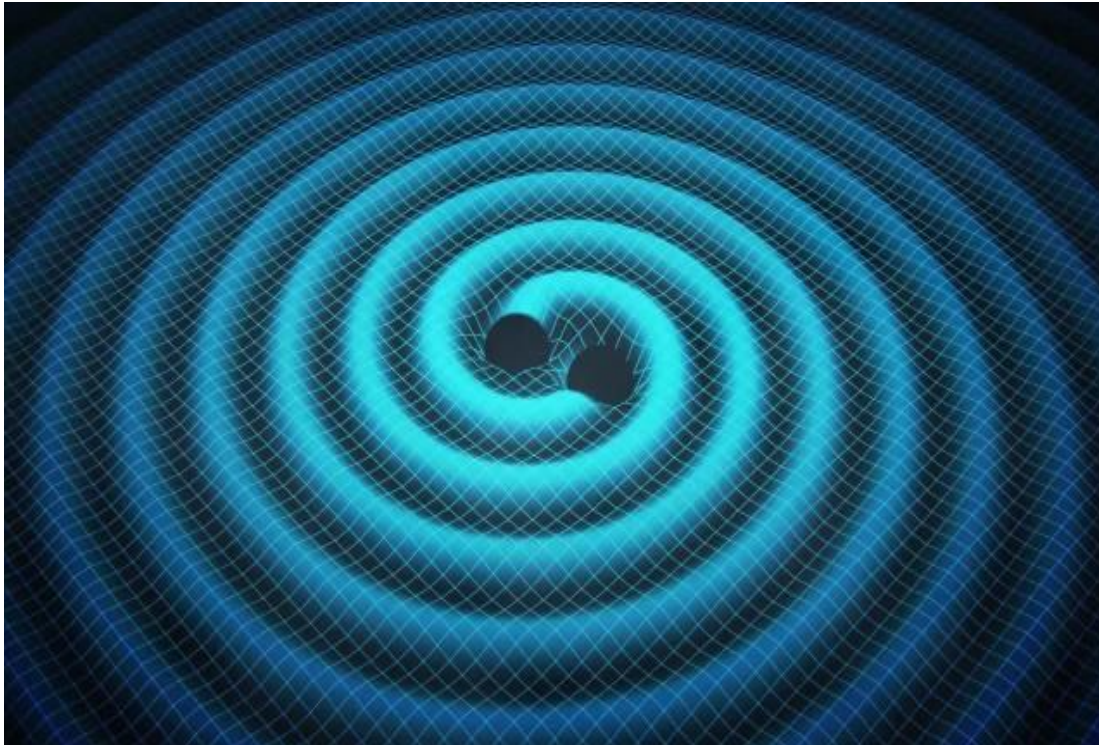
Μαύρες Τρύπες

- Στο κέντρο του M87, μάζα 7.000.000.000 φορές τη μάζα του ήλιου



Βαρυτικά Κύματα

- Τανυστικές **ταλαντώσεις του Χωροχρόνου**. Προβλέφθηκαν το 1915, παρατηρήθηκαν το 2015.
- Πολλές πηγές: Αρχέγονα, **συγχωνεύσεις μελανών οπών**:



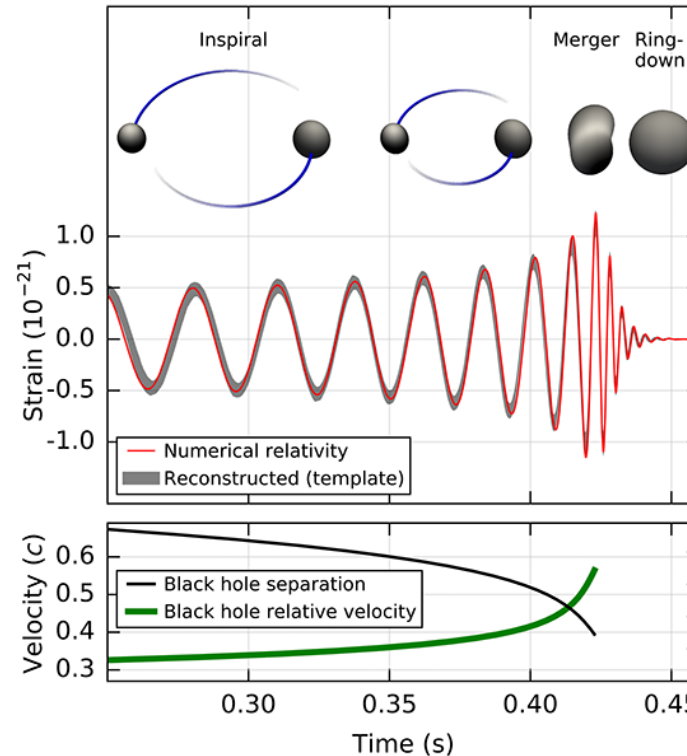
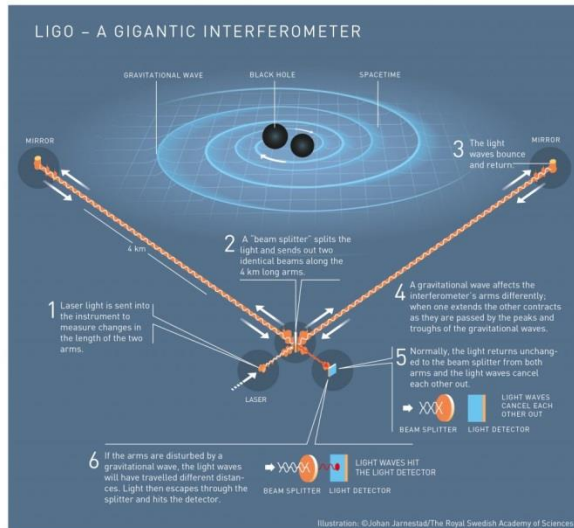
Βαρυτικά Κύματα από μαύρες τρύπες

■ **GW150914:** Δύο μαύρες τρύπες με $36^{+5}_{-4} M_{\odot}$ and $29^{+4}_{-4} M_{\odot}$, resulting in a $62^{+4}_{-4} M_{\odot}$ black hole
 1.000.000.000 χρόνια πριν



Louisiana.
Washington

4km
 10^{-18} m

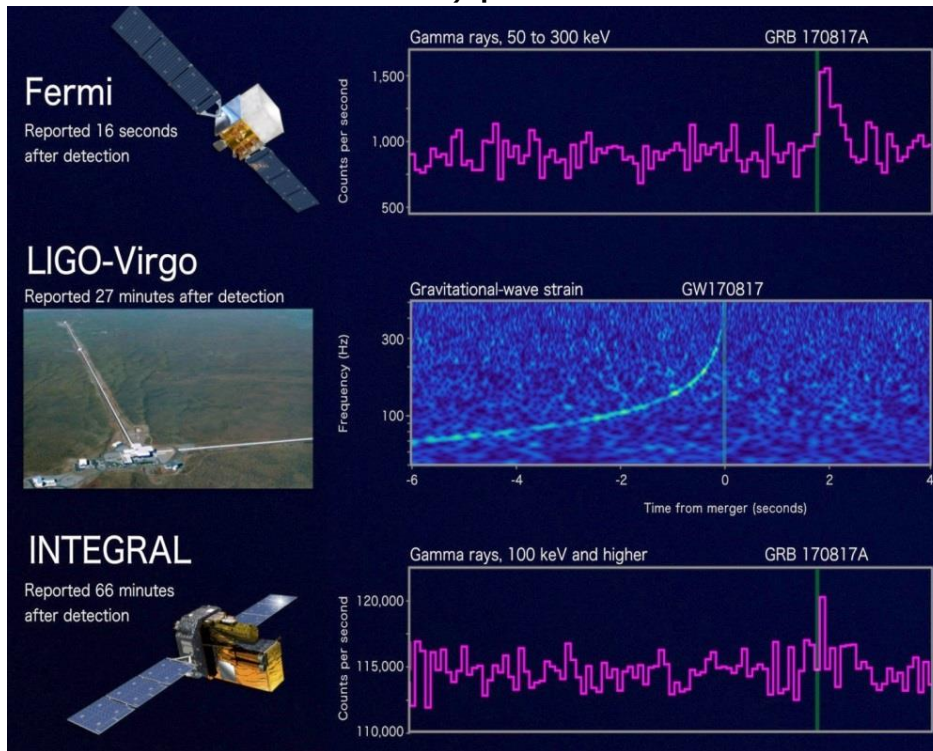


Distance 410^{+160}_{-180} Mpc
 Redshift $0.093^{+0.030}_{-0.036}$

2017 Βραβείο Νόμπελ φυσικής

Βαρυτικά Κύματα από αστέρες νετρονίων

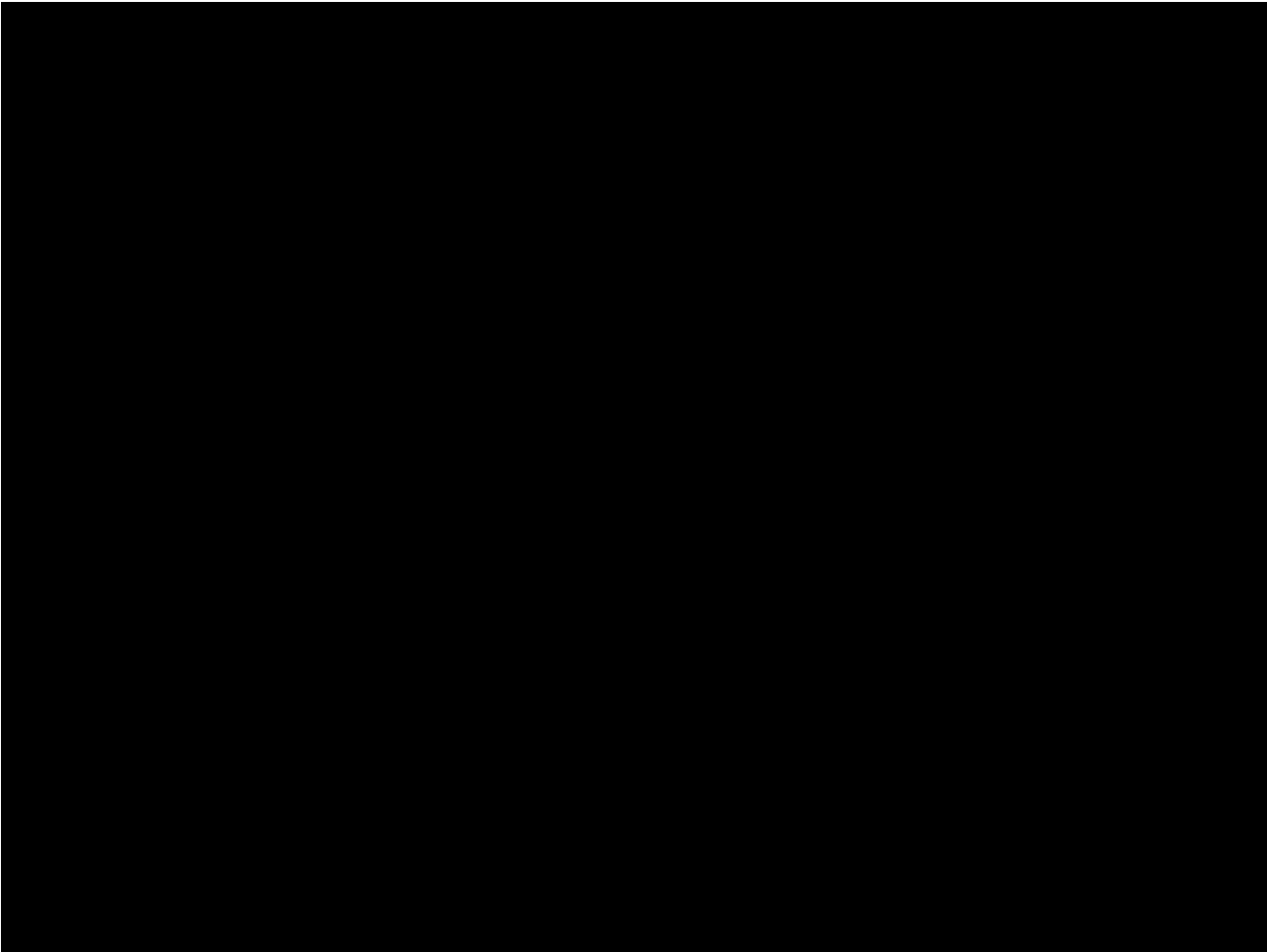
- **GW170817**: Δύο αστέρες νετρονίων, απόσταση 40 Mpc
- **GRB170817A**: Ακτίνες γ.



- Η εποχή της πολυ-μηνυματικής αστρονομίας αρχίζει!

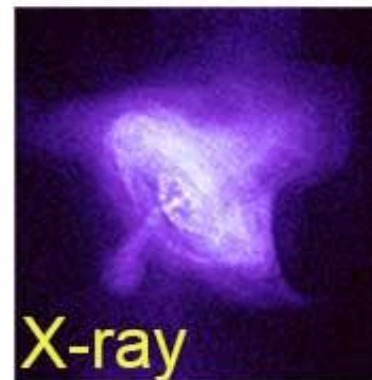
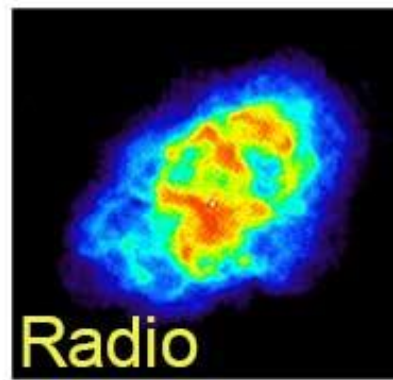


Βαρυτικά Κύματα από αστέρες νετρονίων



Νέο παράθυρο στο Σύμπαν

- Μπορούμε να παρατηρήσουμε τα φαινόμενα από ένα άλλο παράθυρο.



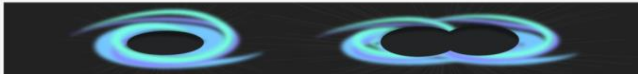
Νέο παράθυρο στο Σύμπαν

- Μπορούμε να παρατηρήσουμε πλήθος νέων φαινομένων:

THINGS YOU MIGHT 'HEAR' IN GRAVITATIONAL WAVES

BLACK HOLES

Corpses of giant, collapsed stars that can be as small as a city but pack the mass of many suns. Their gravity is so intense that even light can't escape their pull.



PROOF THEY EXIST
Black holes absorb light, so we've only had indirect evidence of their existence.

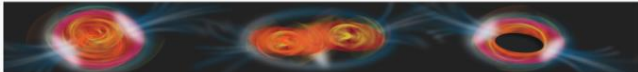
EVENT HORIZON
Gravitational waves are "the closest you can get" to black holes, so astronomers can now see if they have any structure at their surface.

BIRTH
No one has detected a black hole forming when a big star implodes.

MERGERS
Black holes can merge, release energy, and reform as a perfect (but larger) sphere.

NEUTRON STARS

Ultra-dense dead stars that tried to become black holes but couldn't. A teaspoon of neutron star weighs about 10 million tons.




SURFACE
Intense gravity should make neutron stars smooth — but they might have millimeter-tall mountains that weigh as much as a planet.

COLLISIONS
We think we've seen the light from violent mergers of two neutron stars, but never what's happening inside.

CRASHES INTO BLACK HOLES
The two could, in theory, collide into one another. But we don't know what that would do or look like.

SUPERNOVAS

When a large star grows too big, it goes out in a fiery blaze. But the explosions are so dense that what happens below the surface is a mystery.

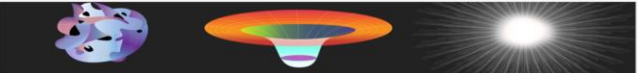


PRE-EXPLOSIONS
Light can take hours to escape an exploding star. But gravitational waves go right through and could signal start of the explosion.

CORE
The hearts of supernovas are hidden from view. But we can now hear them.

TRIGGER
We're not certain what makes big stars blow up. Seeing inside the cataclysm might help.

AND MORE



STRINGS
Everything in the universe might be made of vibrating, subatomic strings of energy. The first evidence may soon be at hand.

UNIVERSE EXPANSION
Gravitational waves at the universe's edge could help us understand how quickly the cosmos is stretching outward.

BIG BANG ECHOES
Gravitational waves might contain records of the event that started the universe.

GRAVITONS
These theoretical particles might generate gravity itself. If they don't travel at light speed, we might prove their existence.

SOURCES: Scientific American; Cornell; Nature.com; NewScientist.com; NASA; Dallas News

BUSINESS INSIDER



Δομή του Σύμπαντος σε Μεγάλη Κλίμακα: Περίληψη

- Ομογένεια και Ισοτροπία
- Διαστολή, νόμος του Hubble
- Θεωρία Μεγάλης Έκρηξης
- Σκοτεινή Ύλη, Σκοτεινή Ενέργεια (επιταχυνόμενη διαστολή)
- Πληθωρισμός
- Καθιερωμένο κοσμολογικό πρότυπο Λ CDM. Γενική Σχετικότητα συν «ενεργά» ιδανικά ρευστά
- Μαύρες τρύπες και Βαρυτικά κύματα: Το νέο παράθυρο στο Σύμπαν

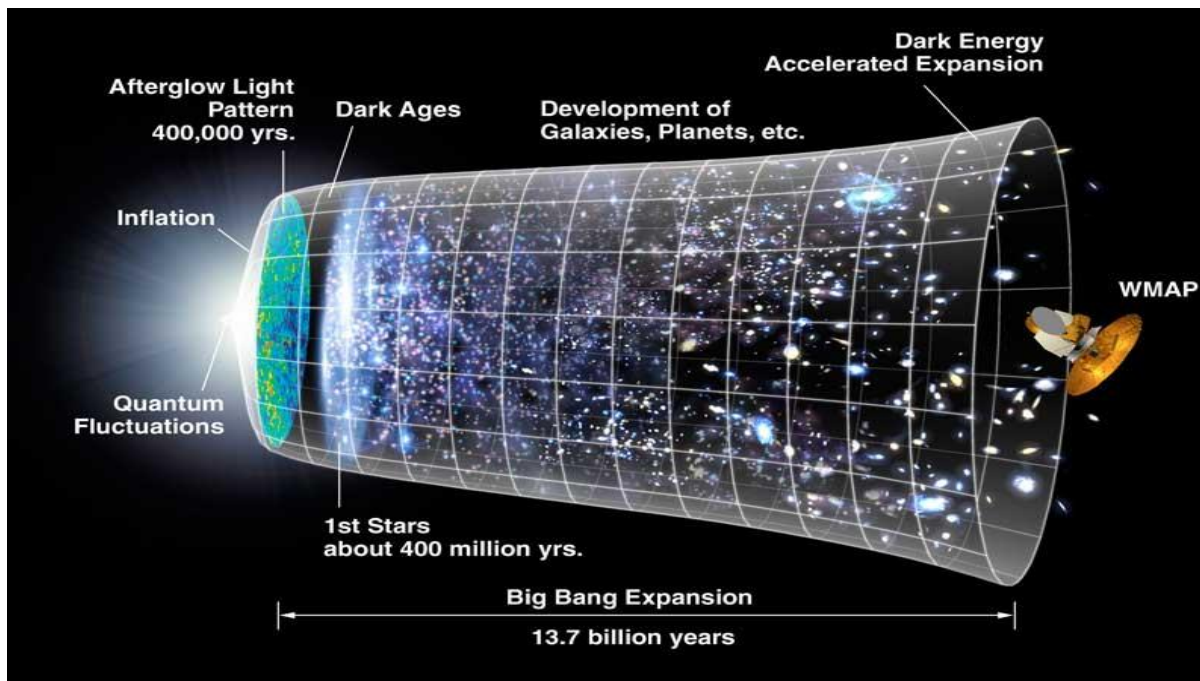


Δομή του Σύμπαντος σε Μεγάλη Κλίμακα: Προοπτικές

- Λ CDM+ πληθωριστική μεγάλη έκρηξη. Απαιτείται **νέα φυσική**?

Δομή του Σύμπαντος σε Μεγάλη Κλίμακα: Προοπτικές

- Λ CDM+ πληθωριστική μεγάλη έκρηξη. Απαιτείται **νέα φυσική**?
- **Σίγουρα** για τη **σκοτεινή ύλη** και τον **πληθωρισμό**, **πιθανόν** για την **σκοτεινή ενέργεια**.
- Κομβικός ο ρόλος της **Τεχνητής Νοημοσύνης** και της **Μηχανικής Μάθησης**

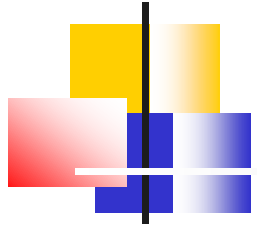


Πίσω από όλα βρίσκονται άνθρωποι



Κατασκευή δορυφόρου





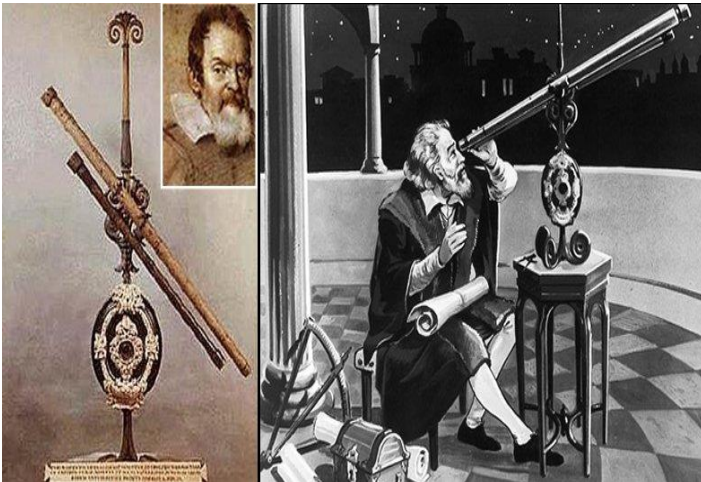
Κατασκευή τηλεσκοπίου



Ερευνητές του CERN



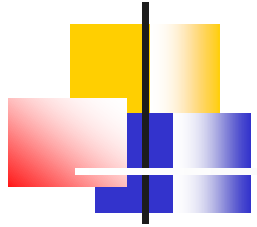
5000 χρόνια παρατηρήσεων 500 χρόνια οργανωμένων παρατηρήσεων



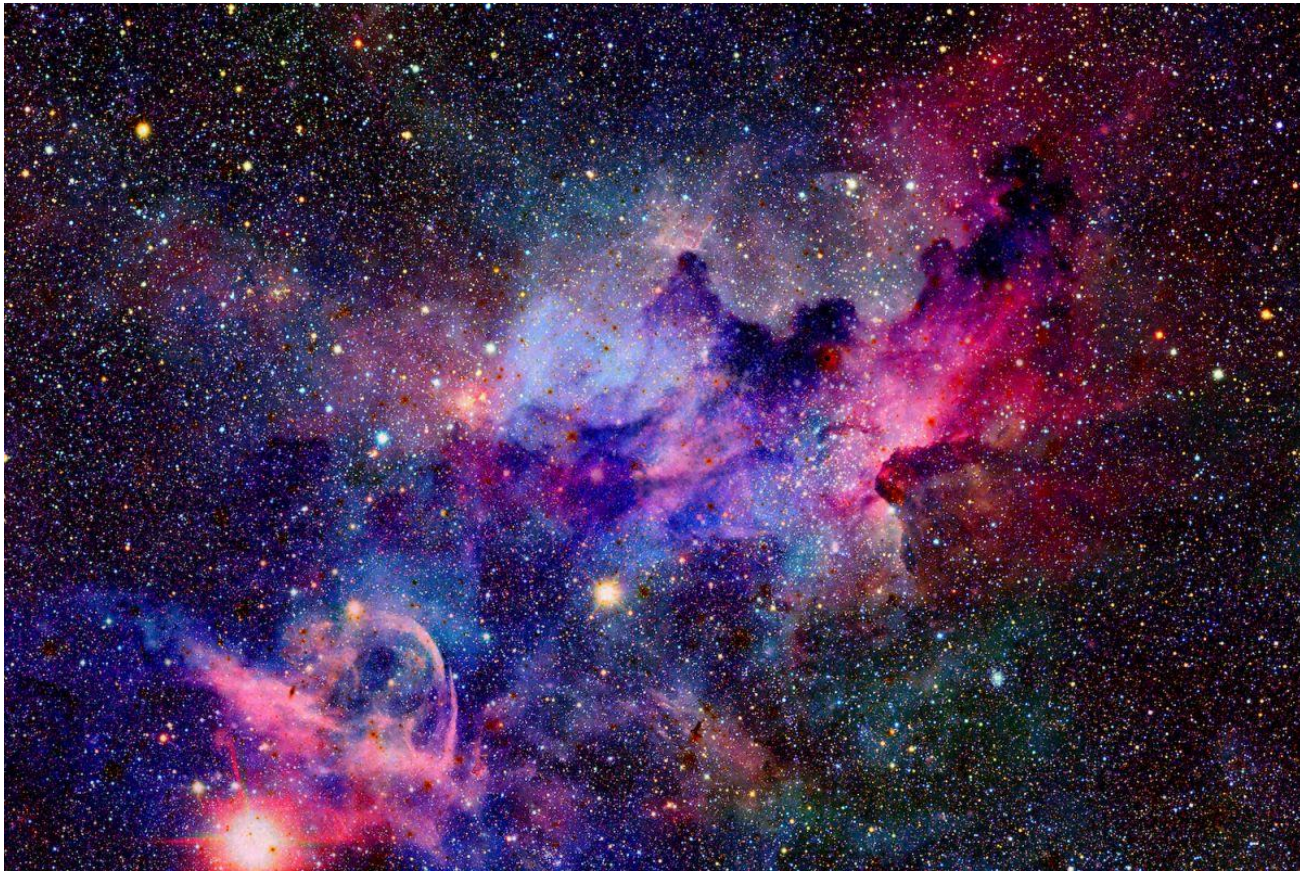
Η Επιστήμη ως παραγωγική δύναμη

- Η **επιστήμη** μπορεί να συνεισφέρει στην **πρόοδο** και στην **ανάπτυξη**.
- **Βασική έρευνα** χέρι χέρι με την εφαρμοσμένη.
- Επιστήμη για την **κάλυψη των αναγκών** των ανθρώπων, όχι για το κέρδος.





Το ταξίδι συνεχίζεται



Σας Ευχαριστώ!