

# ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΙΑΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑΣ ΘΡΑΝΙΟΥ

Γιάννης Νταλιάνης, ΕΜΠ

1. Οι δομές, οι κλίμακες η παρατηρούμενη ύλη στο Σύμπαν
2. Η Μεγάλη Έκρηξη
3. Η Σκοτεινή Ύλη
4. Η Σκοτεινή Ενέργεια
5. Τα βαρυτικά κύματα



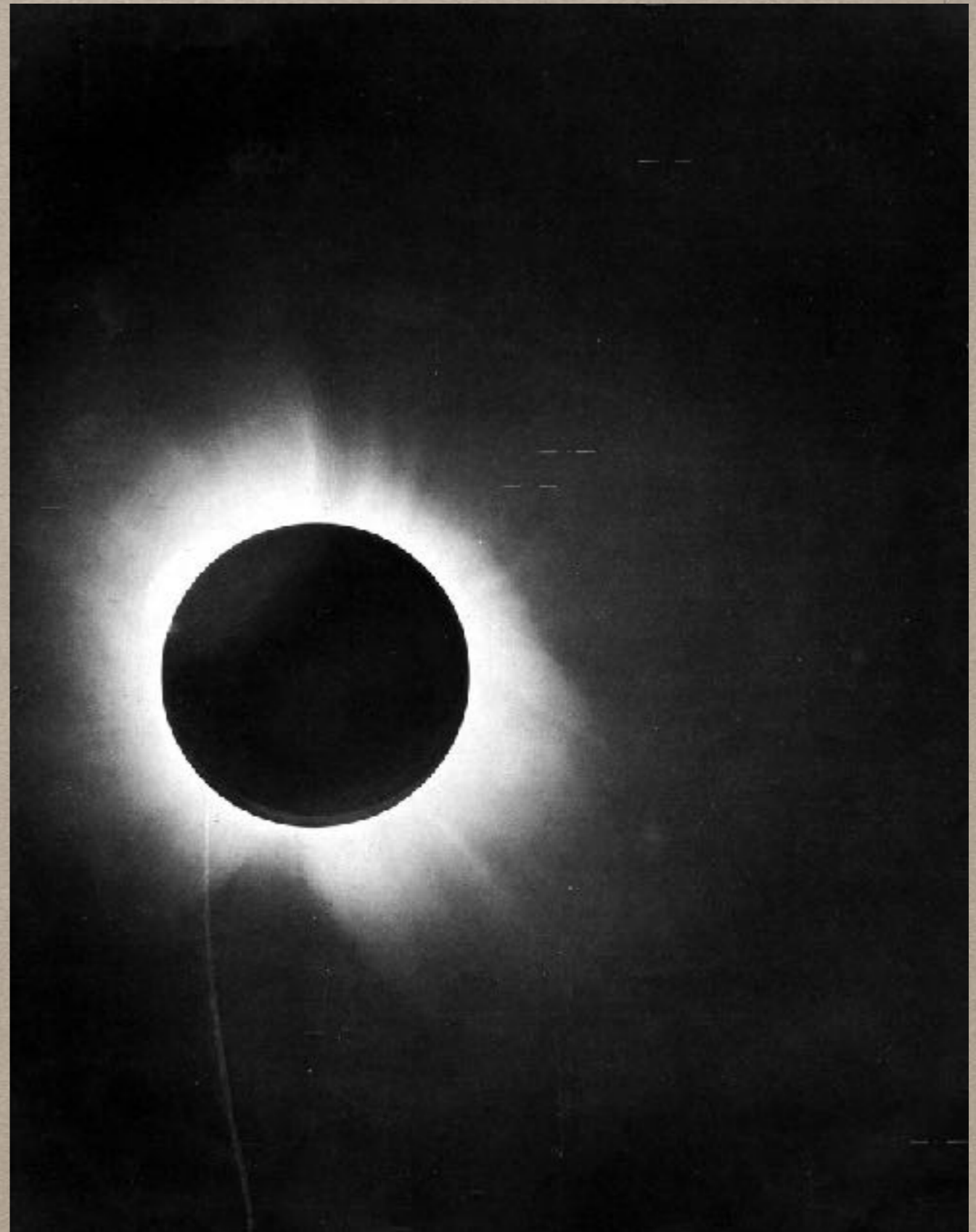




# 1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ: ΠΑΡΑΤΗΡΩΝΤΑΣ ΤΟΝ ΟΥΡΑΝΟ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΣ

## Υπολογισμός

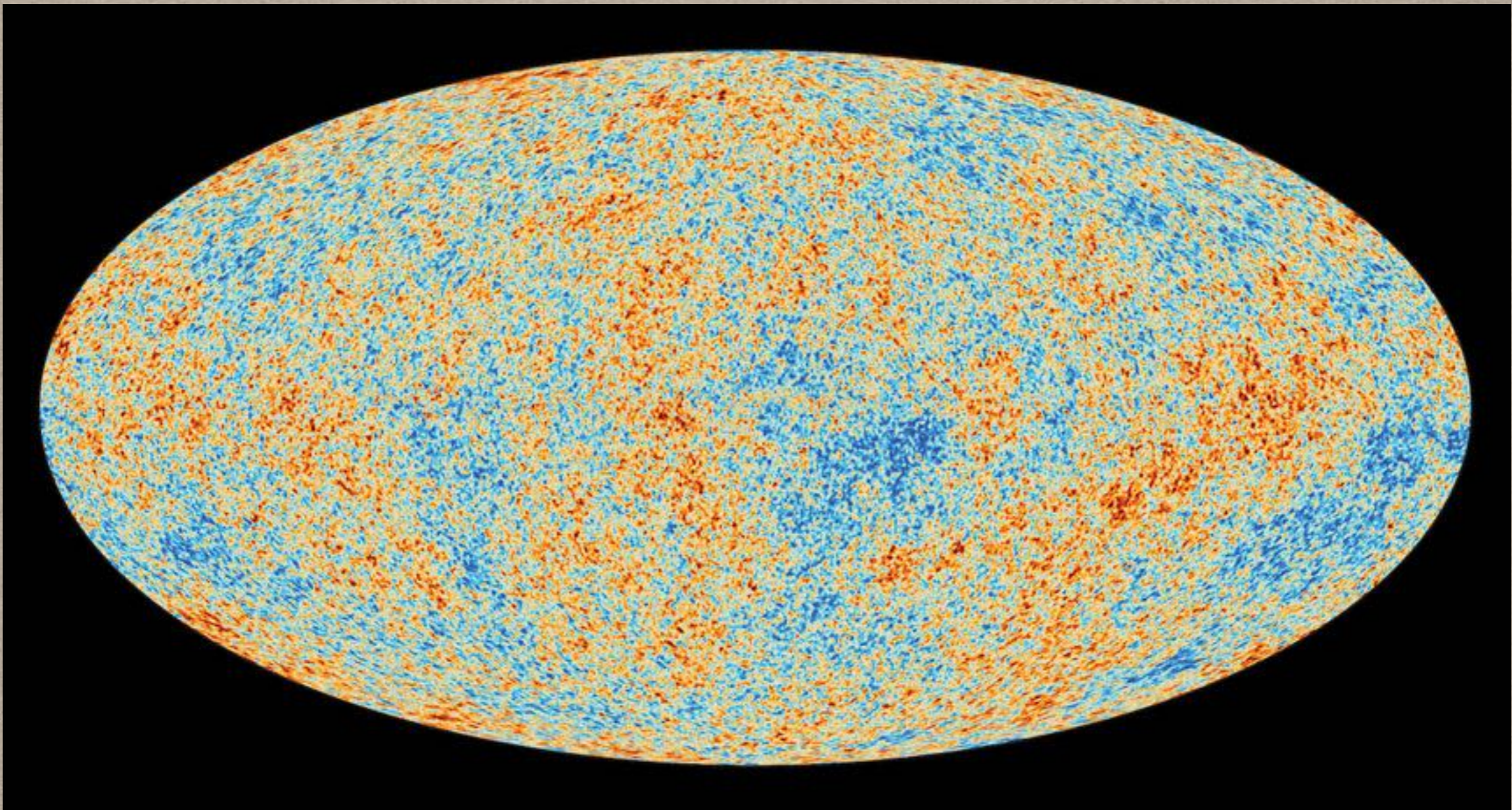
- Μέγεθος της Γης
- Μάζα Γης
- Μέγεθος Σελήνης
- Απόσταση Γης Σελήνης
- Απόσταση Γης - Ήλιου
- Μέγεθος Ήλιου
- Μάζα Ήλιου



## Υπολογισμός:

- Πόσο απέχουν τα αστέρια
- Μέγεθος του Γαλαξία
- Πόσα αστέρια έχει ο Γαλαξίας
- Πόσο απέχουν οι γαλαξίες μεταξύ τους
- Κατανόηση κλίμακας

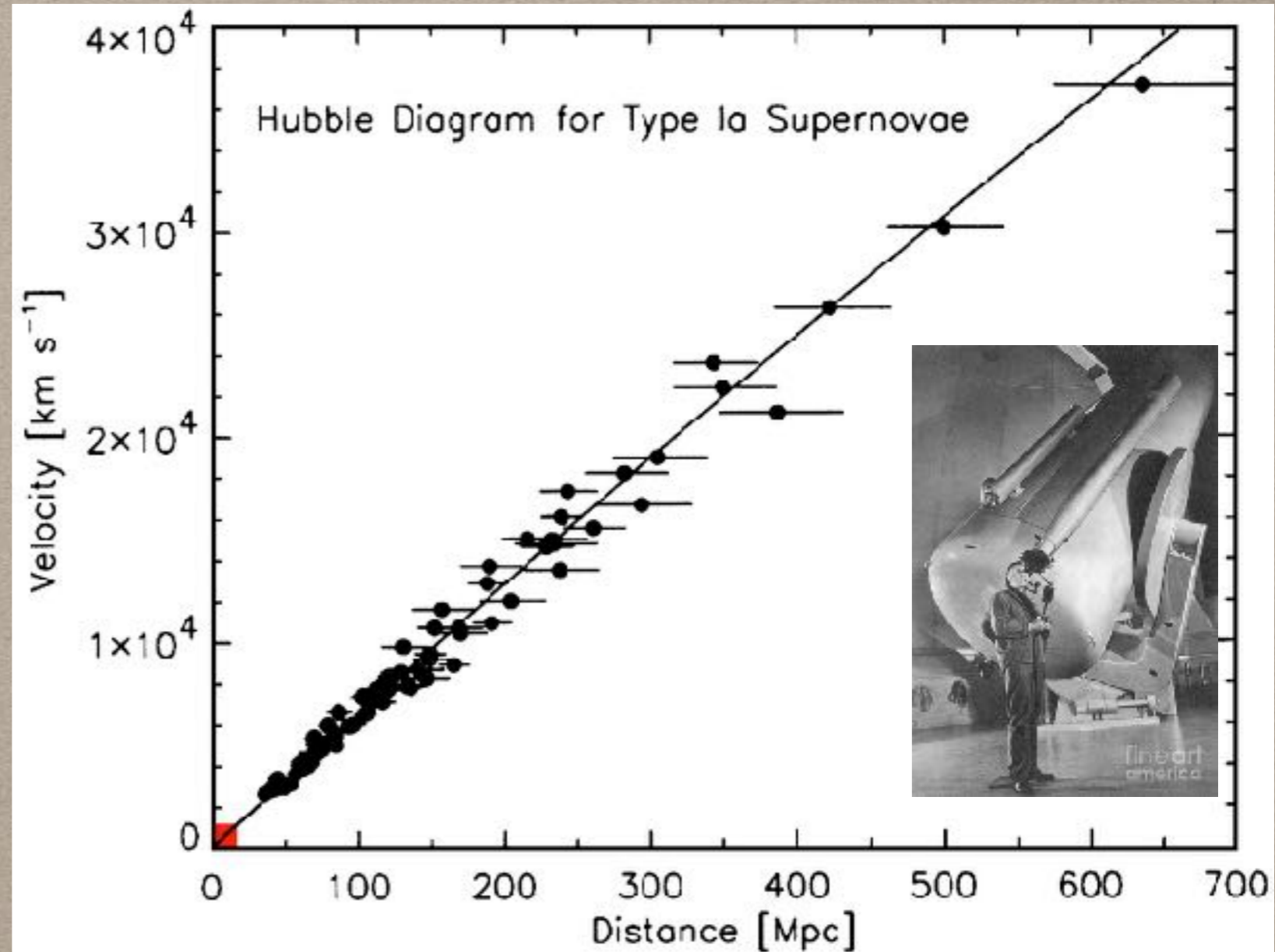




## 2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ "ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ"

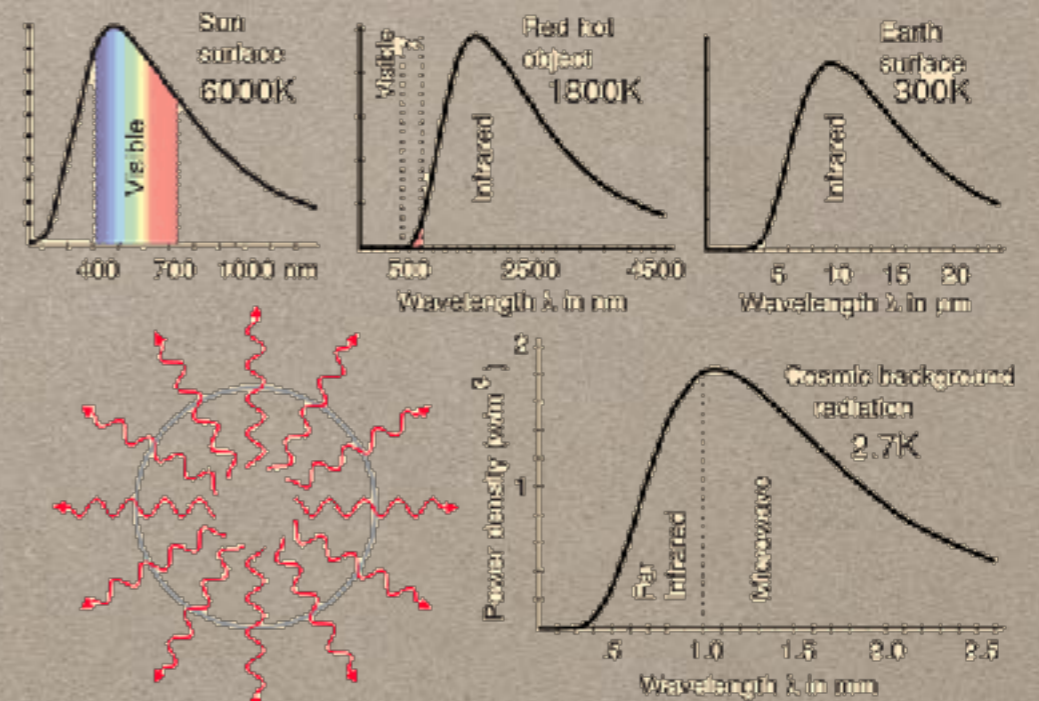
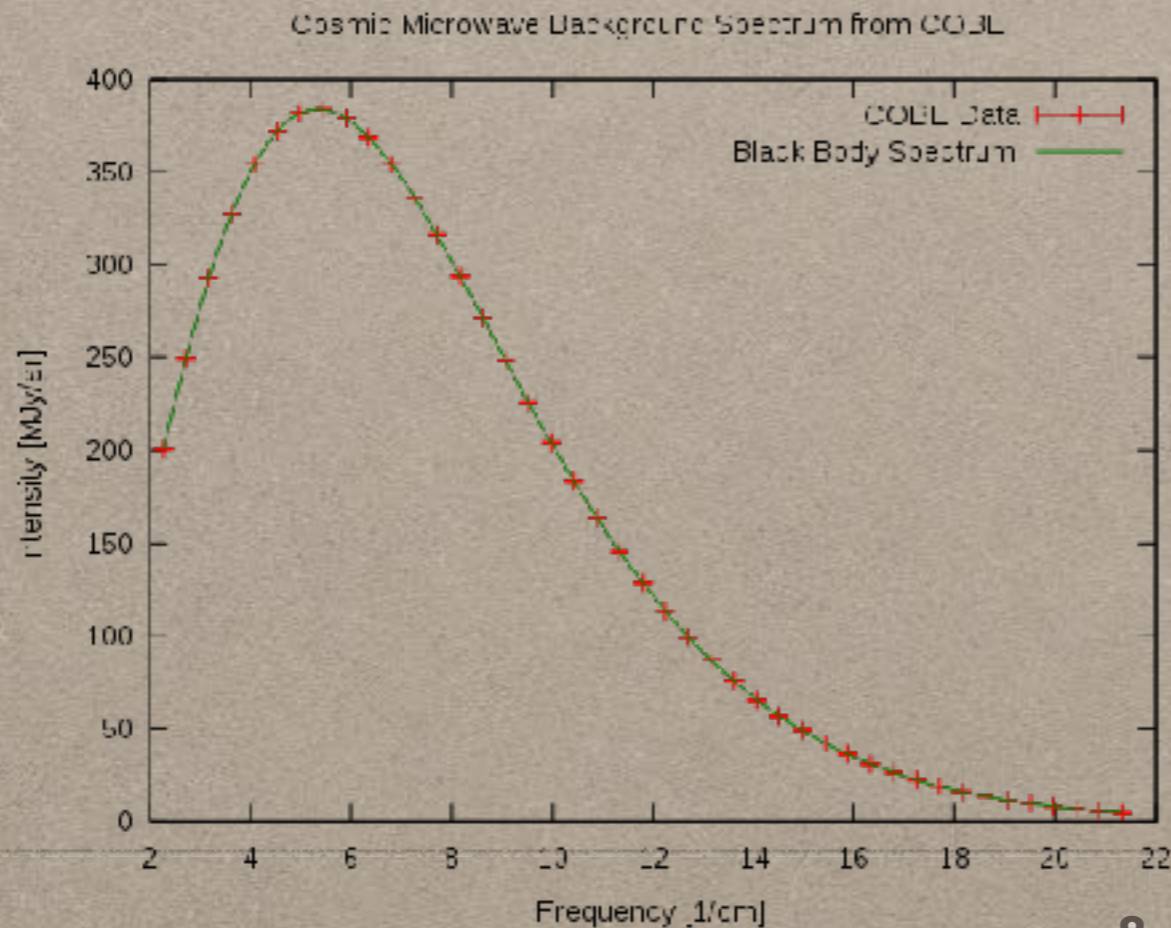
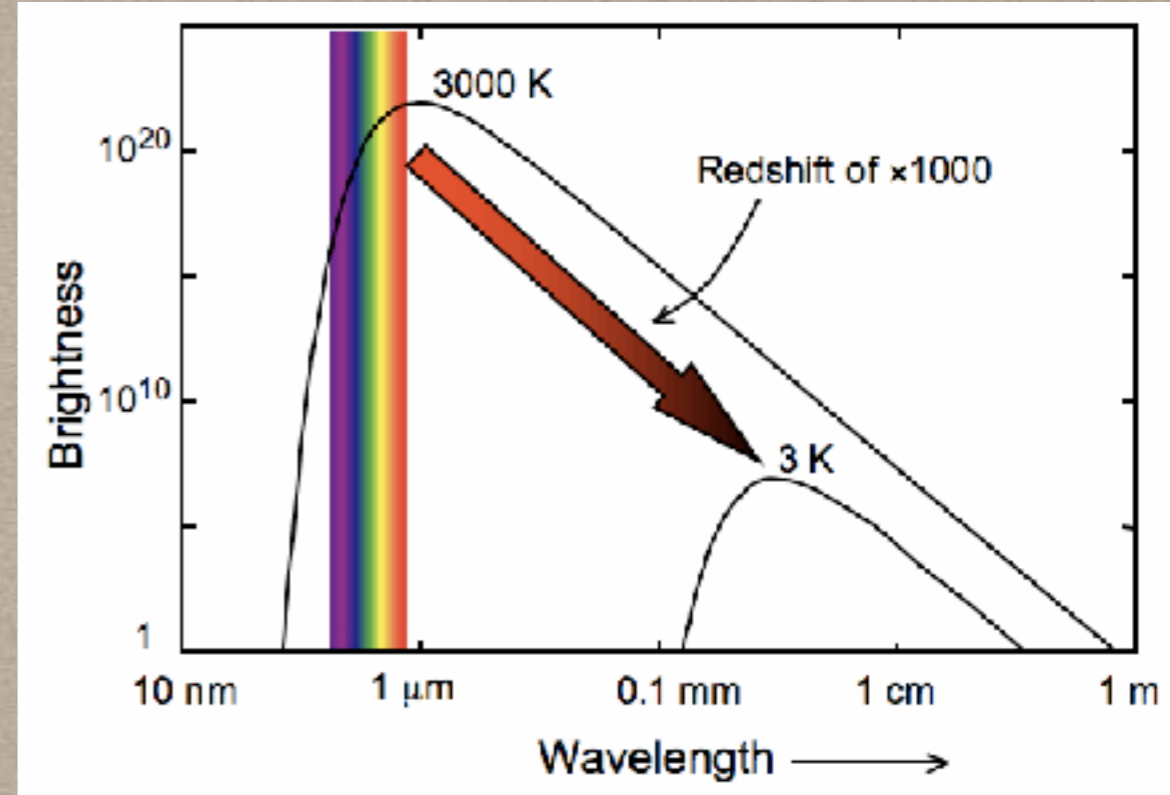
## Υπολογισμός

- Ηλικία του Σύμπαντος
- Μέγεθος του ορατού Σύμπαντος
- Αριθμός γαλαξιών στο Σύμπαν
- Μάζα του ορατού Σύμπαντος



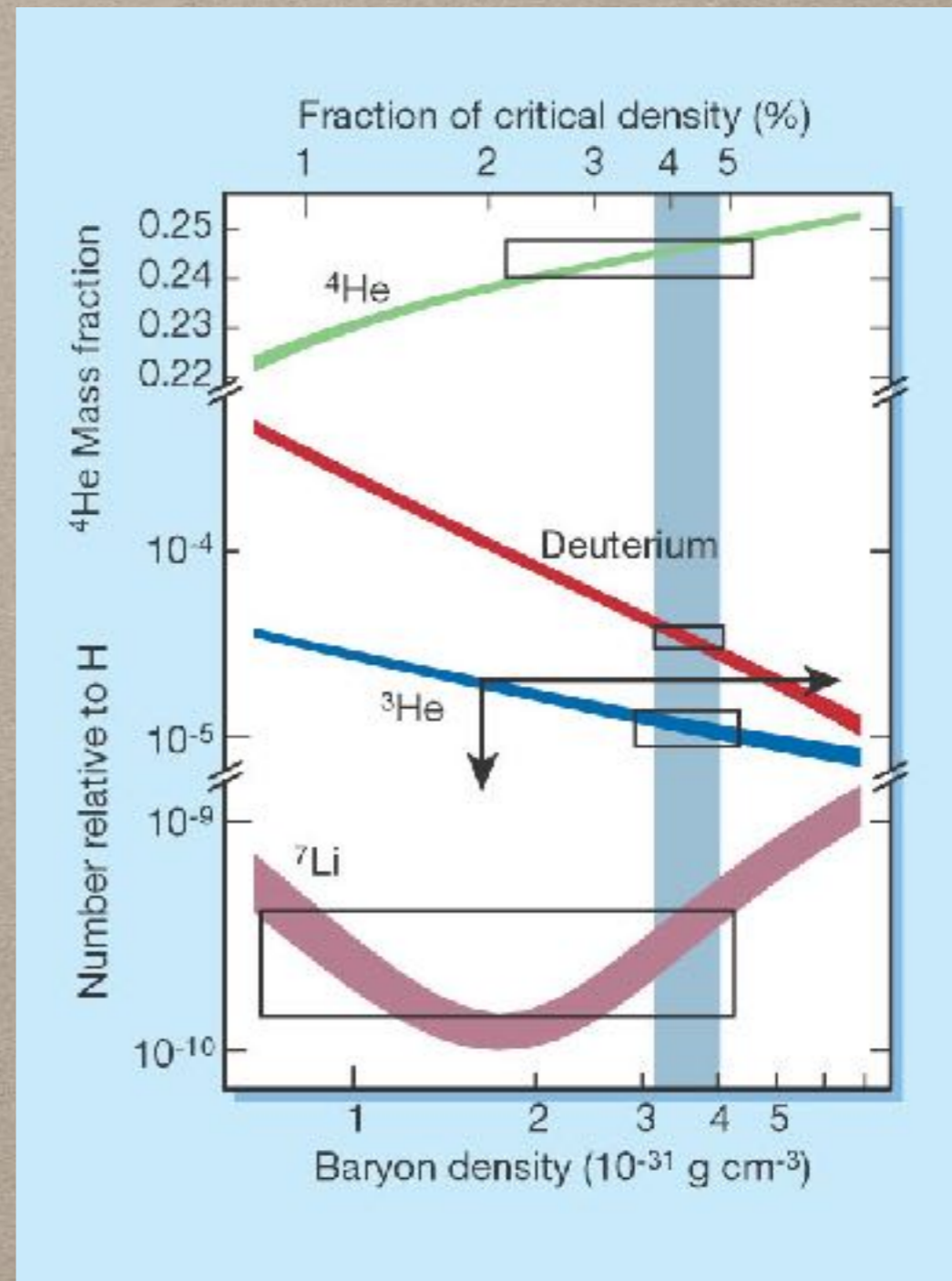
$$H_0 \approx 70 \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}$$

Παρατηρήσεις που καταδεικνύουν το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης:  
**1. ΚΑΜΥ**



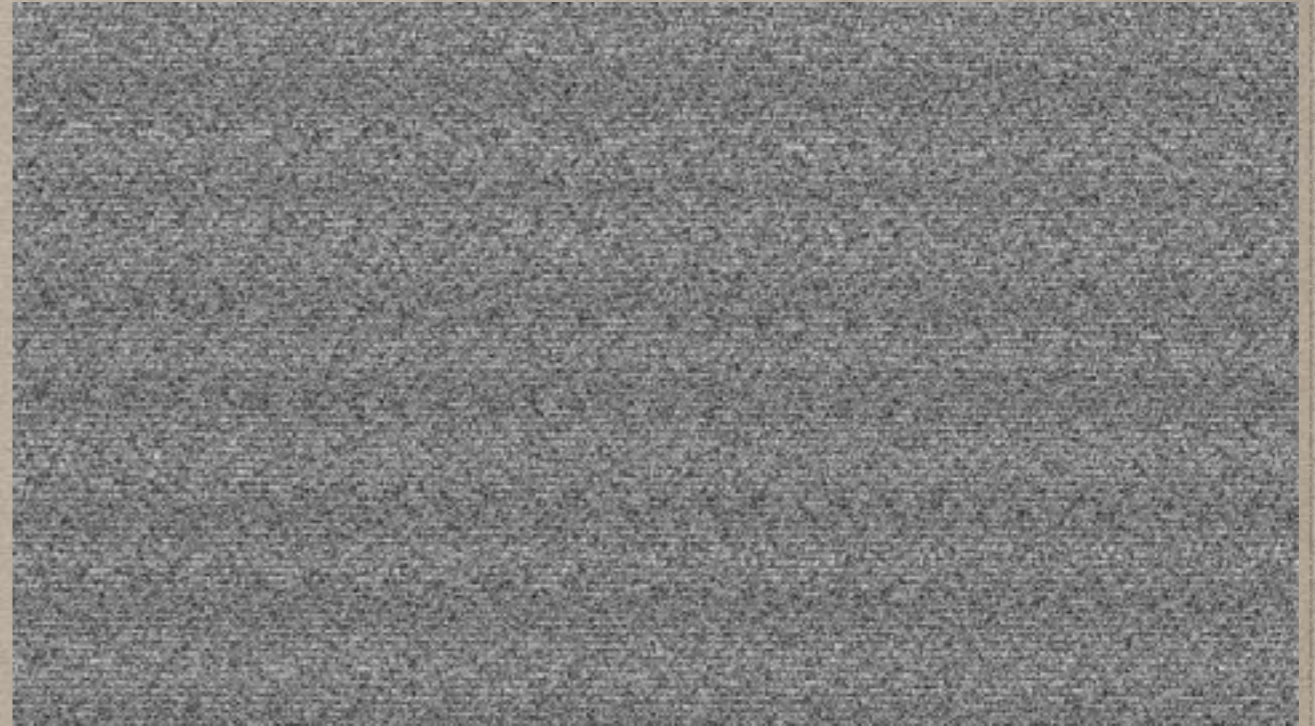


Παρατηρήσεις που καταδεικνύουν το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης:  
**2. Αρχέγονη πυρηνοσύνθεση**



## *Ερωτήματα:*

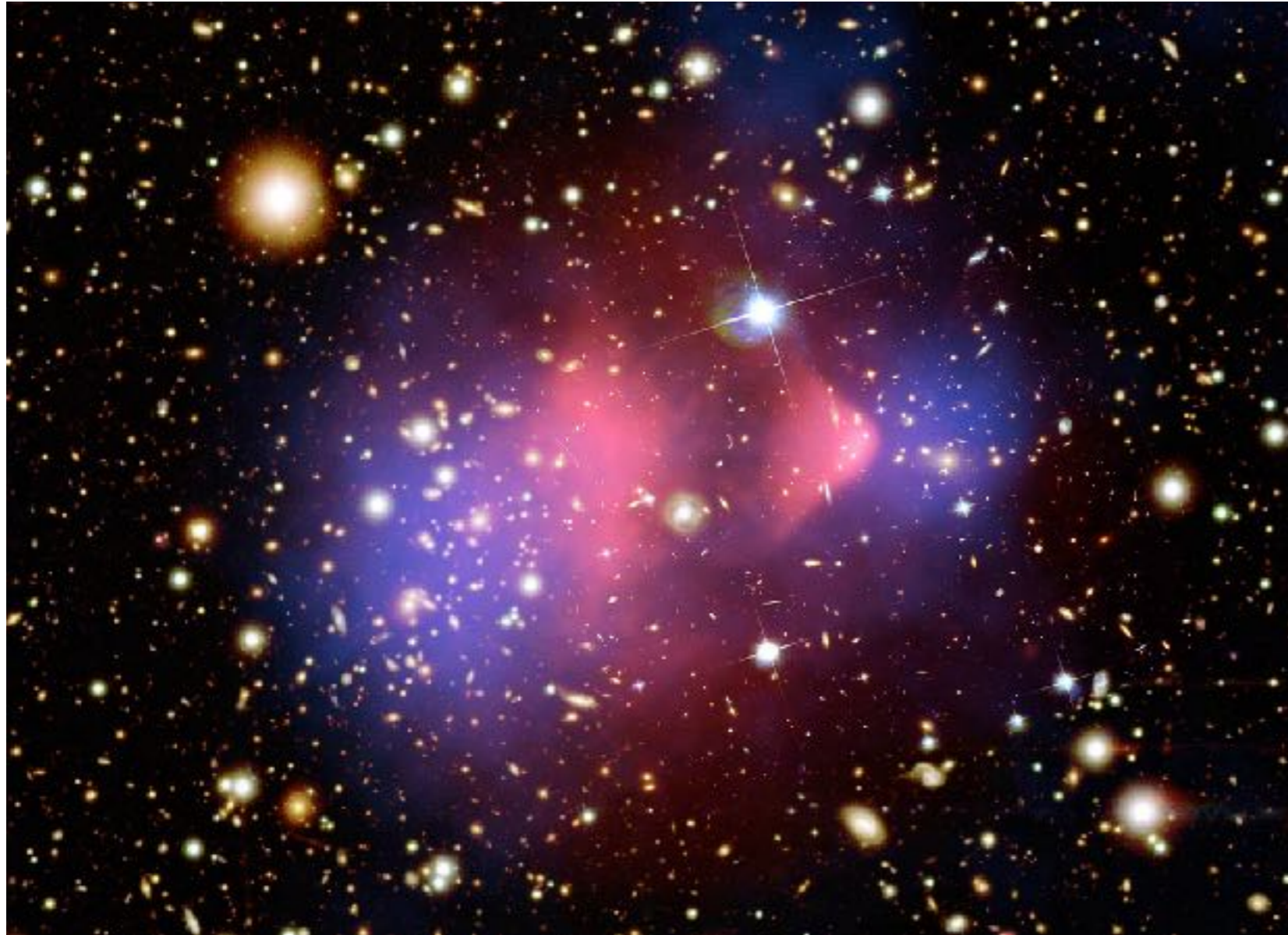
- Πώς μπορούμε να δούμε την ΚΑΜΥ;
- Πού πρέπει να κοιτάξουμε για να βρούμε αρχέγονους πυρήνες;





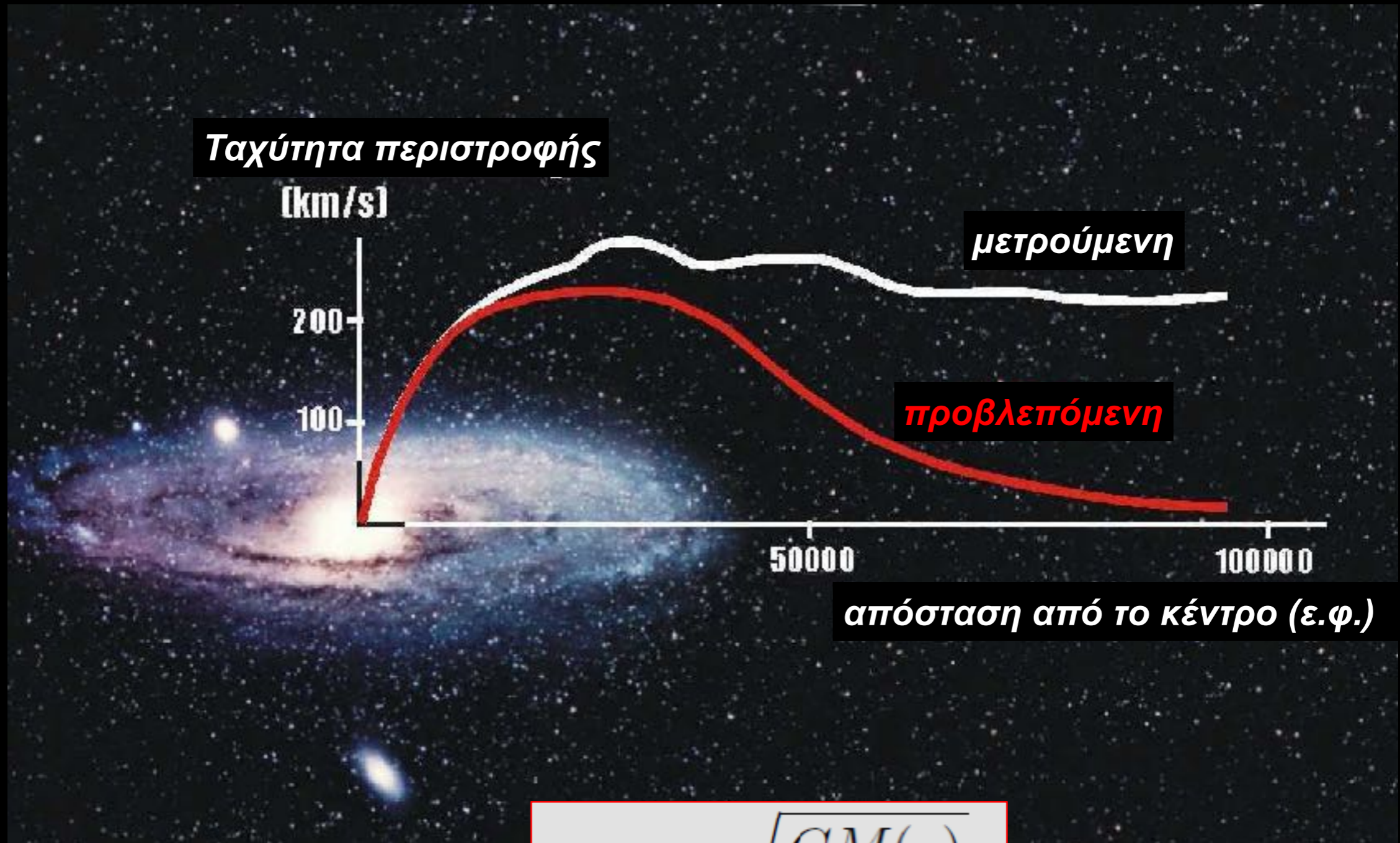
### **3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΚΟΤΕΙΝΗΣ ΥΛΗΣ**

# Το Γαλαξιακό Σμήνος “Bullet” υποδεικνύει μη βαρυονική ΣΥ



*Η βαρυτική καμπύλωση του φωτός γύρω από το Γαλαξιακό σμήνος *Bullet* καταδεικνύει πως η σκοτεινή ύλη συνίσταται από σωματίδια.*

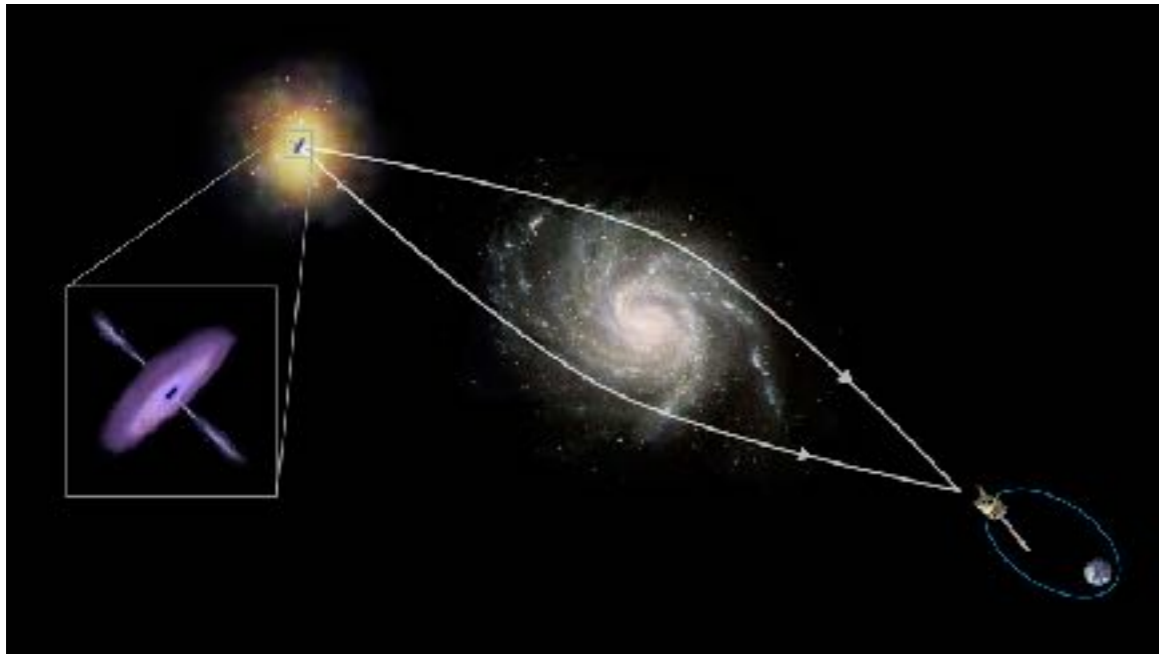
# Μετρώντας τη μάζα των γαλαξιών



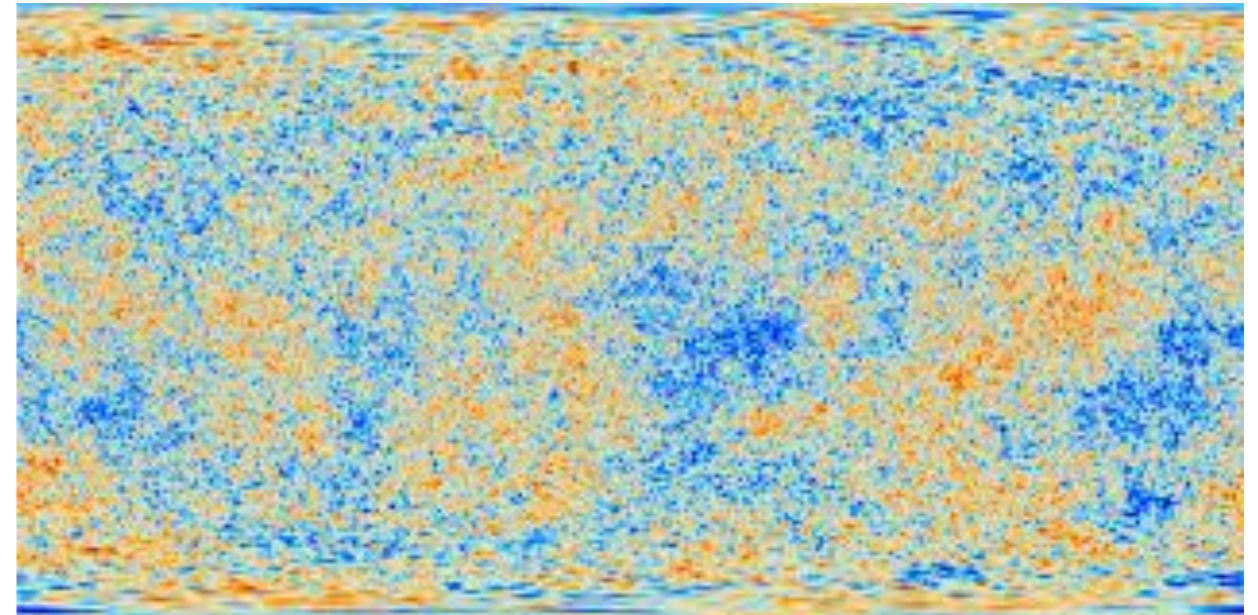
$$v_{\text{περ}} = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$$

# Σημερινές Μετρήσεις

Βαρυτικός Φακός



KAMU

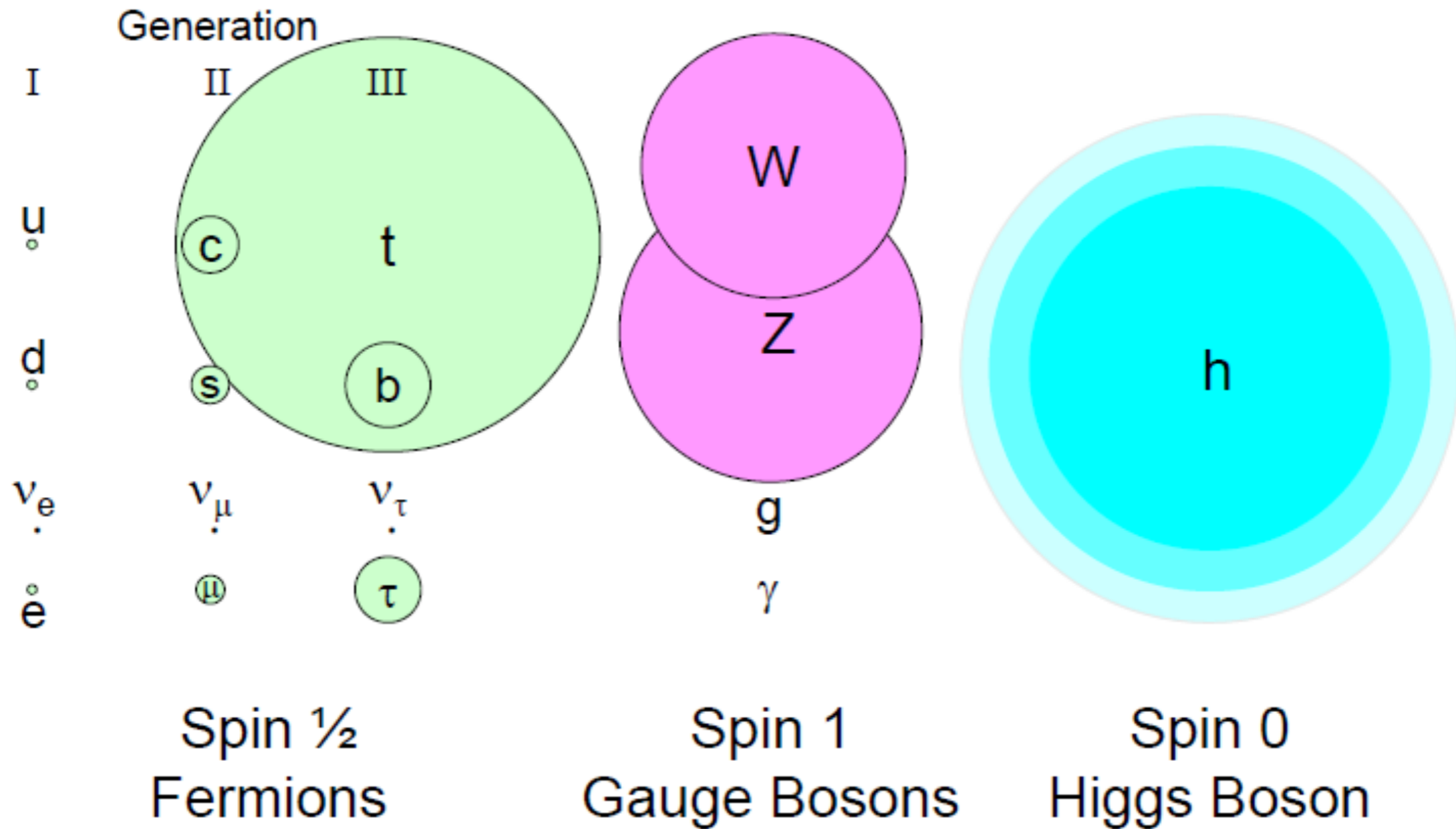


$$\Delta\phi = \frac{4GM}{bc^2}$$

$\Omega_b h^2$	0.02205 ± 0.00028
$\Omega_c h^2$	0.1199 ± 0.0027
$H_0$	67.3 ± 1.2
$n_s$	0.9603 ± 0.0073
$\Omega_m$	0.315 ± 0.017

# Τα σωματίδια που ξέρουμε

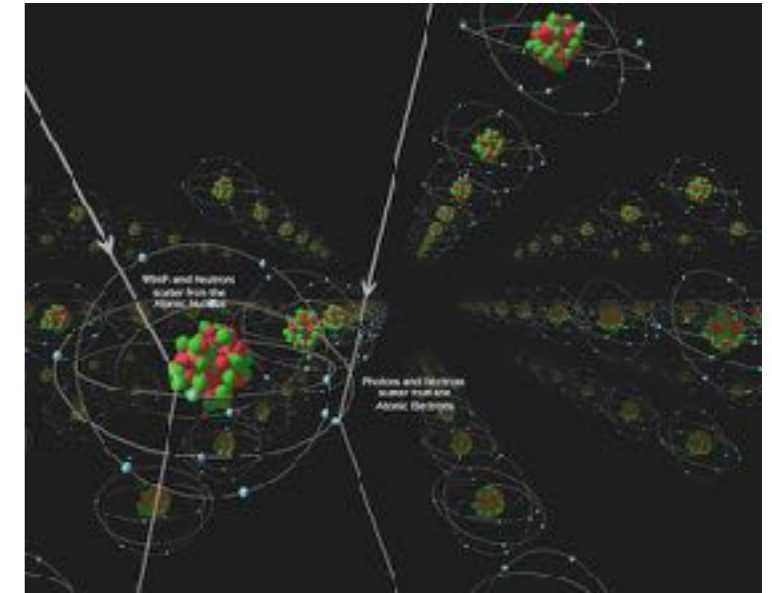
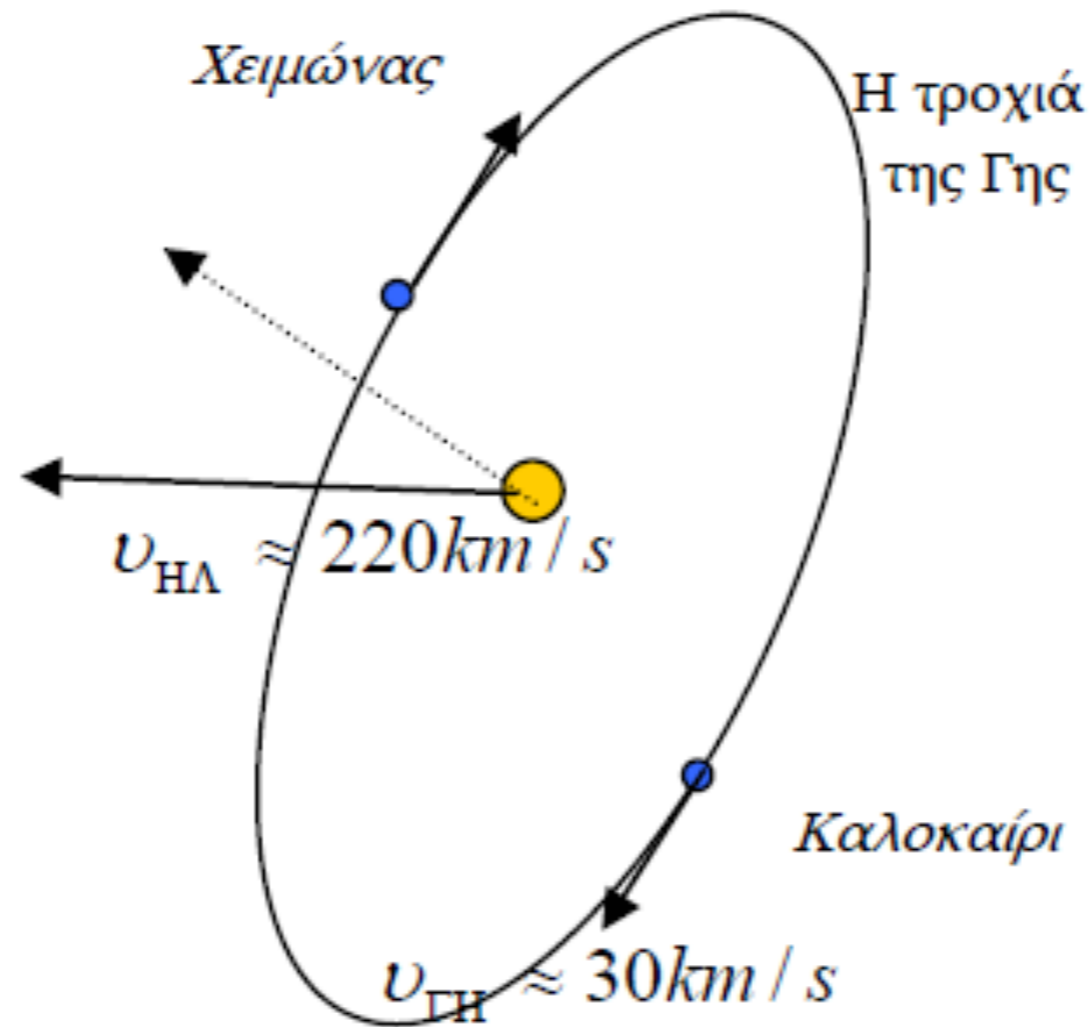
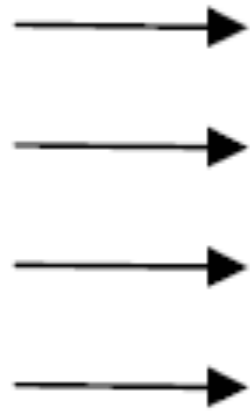
	mass →	charge →	spin →					
QUARKS	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	<b>u</b> up	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	<b>c</b> charm
					$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	<b>t</b> top
								<b>g</b> gluon
								<b>H</b> Higgs boson
					$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	<b>d</b> down
					$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	<b>s</b> strange
LEPTONS					$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	<b>b</b> bottom
								<b><math>\gamma</math></b> photon
								<b>Z</b> Z boson
								<b>W</b> W boson
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$-1$	$1/2$	<b>e</b> electron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$-1$	$1/2$	<b><math>\mu</math></b> muon
					$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$-1$	$1/2$	<b><math>\tau</math></b> tau
								<b>91.2 GeV/c<sup>2</sup></b>
								<b><math>\pm 1</math></b>
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$0$	$1/2$	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$0$	$1/2$	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino
					$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$0$	$1/2$	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino
								<b>80.4 GeV/c<sup>2</sup></b>
								<b>1</b>



*Πώς ξέρουμε ότι δεν έχουμε ήδη βρει τη σκοτεινή ύλη;*



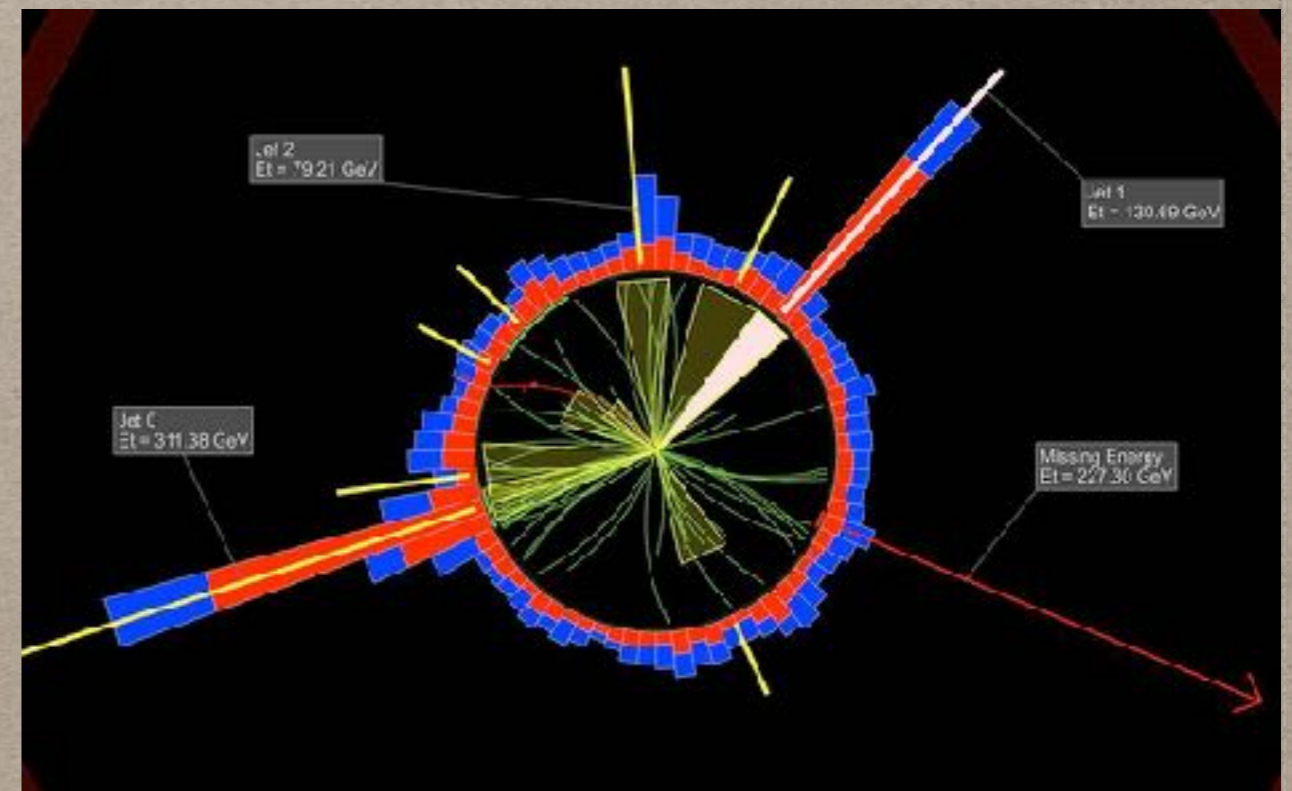
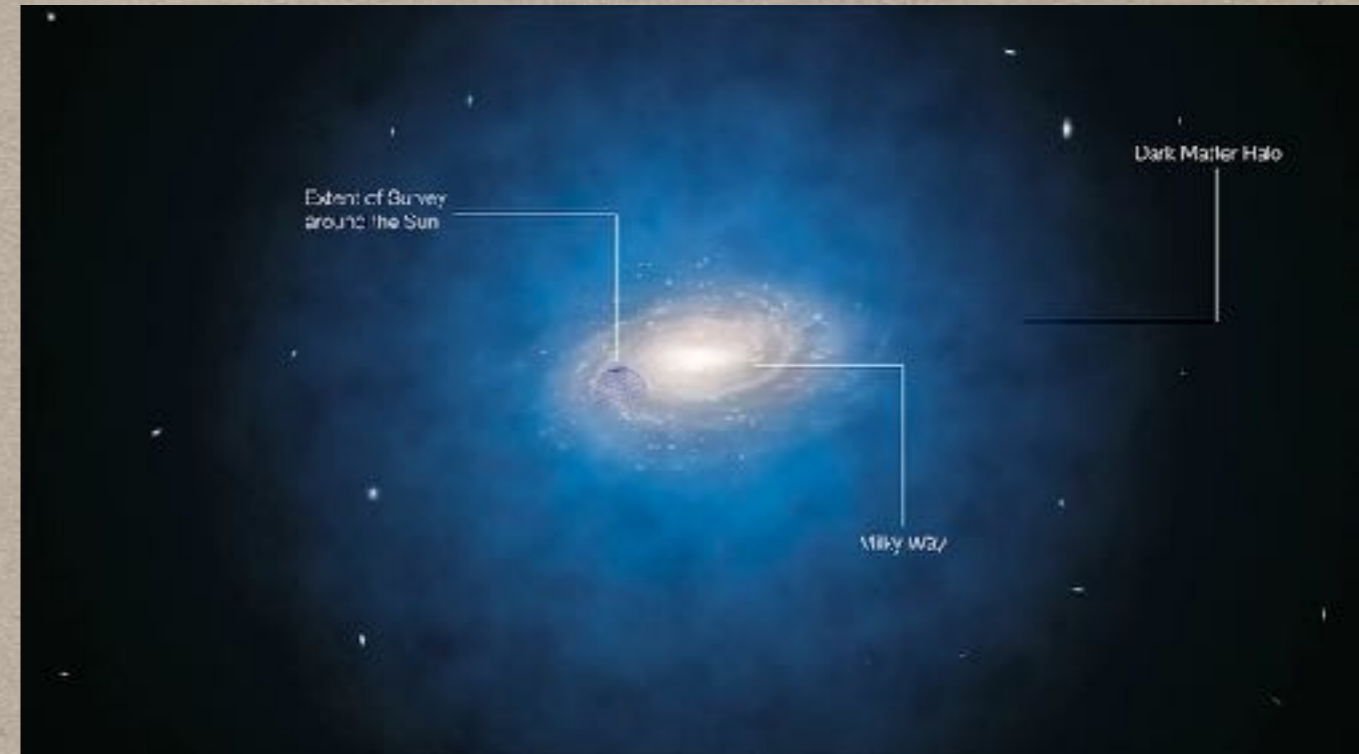
Ο άνεμος των  
WIMP



Η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο συνεπάγεται μία ετήσια διακύμανση στο σήμα των WIMPs. Μέγιστη ροή αναμένεται το καλοκαίρι και ελάχιστη το χειμώνα.

## Υπολογισμός

- Υπολογισμός της μάζας στους Γαλαξίες (ταχύτητα περιστροφής, βαρυτικοί φακοί)
- Υπολογισμός της κατανομής της σκοτεινής ύλης στους γαλαξίες
- Πόσα τα σωματίδια της σκοτεινής ύλης (αριθμητική πυκνότητα);  
 $n \sim \text{GeV}/\text{m}^3$
- Τρόποι ανίχνευση;
- Πως το CERN μπορεί να ανακαλύψει σκοτεινή ύλη;

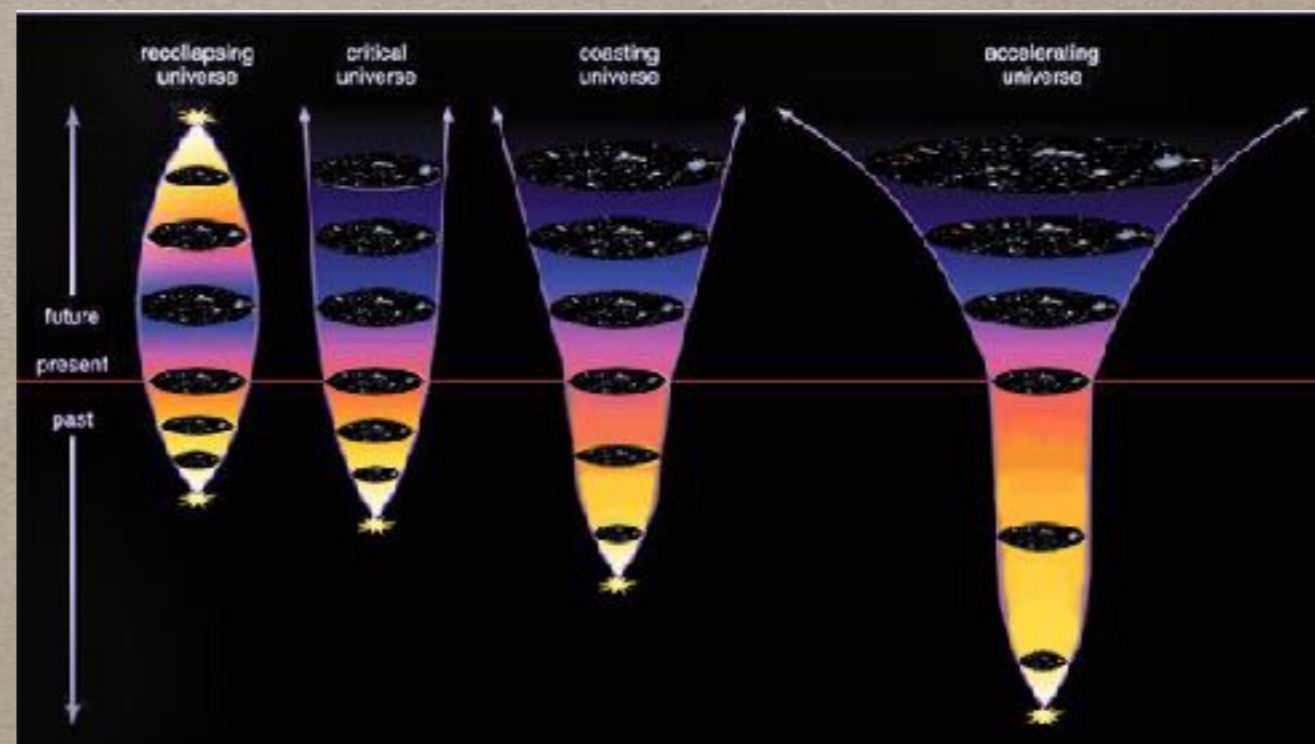
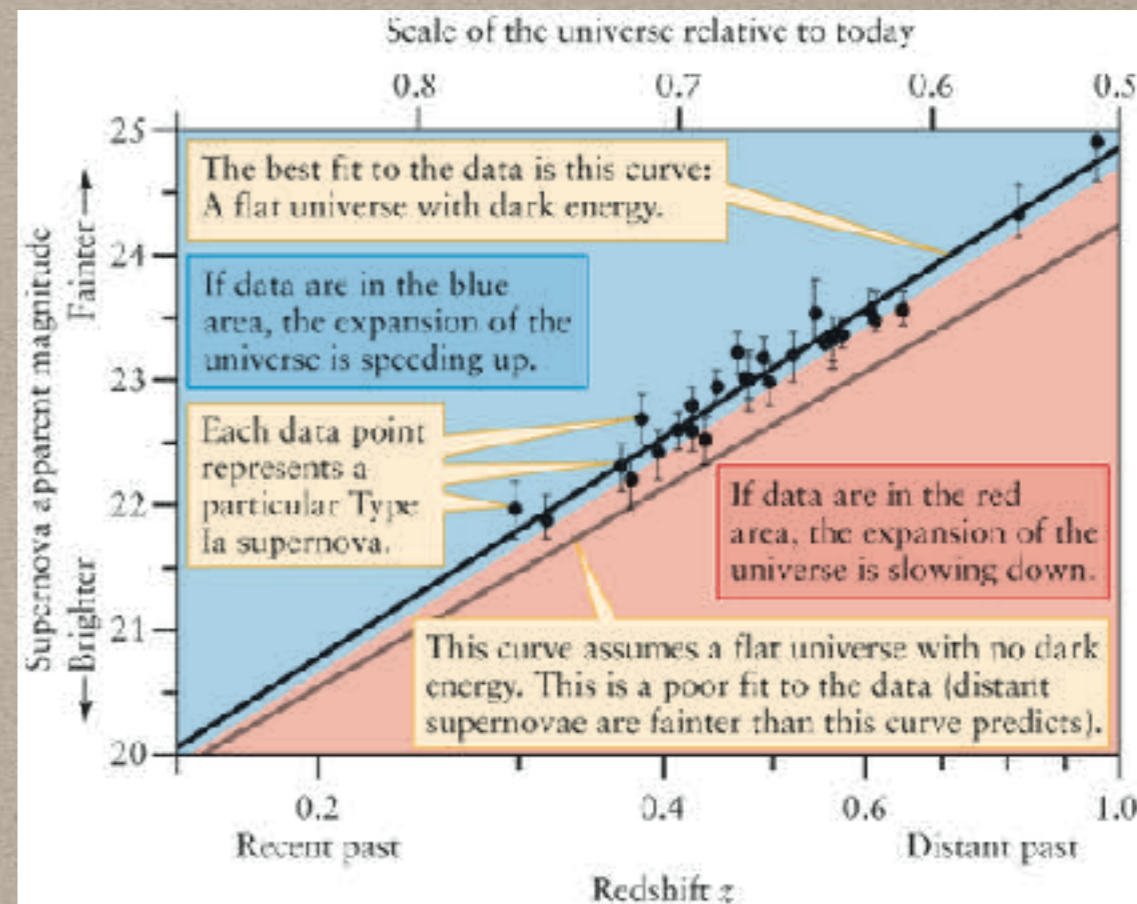




## 4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΚΟΤΕΙΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

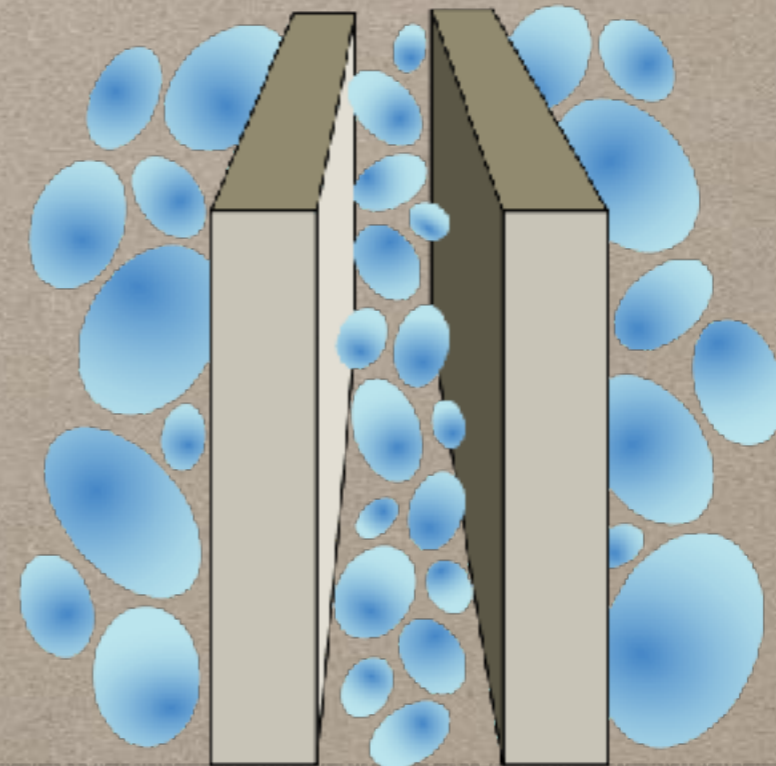
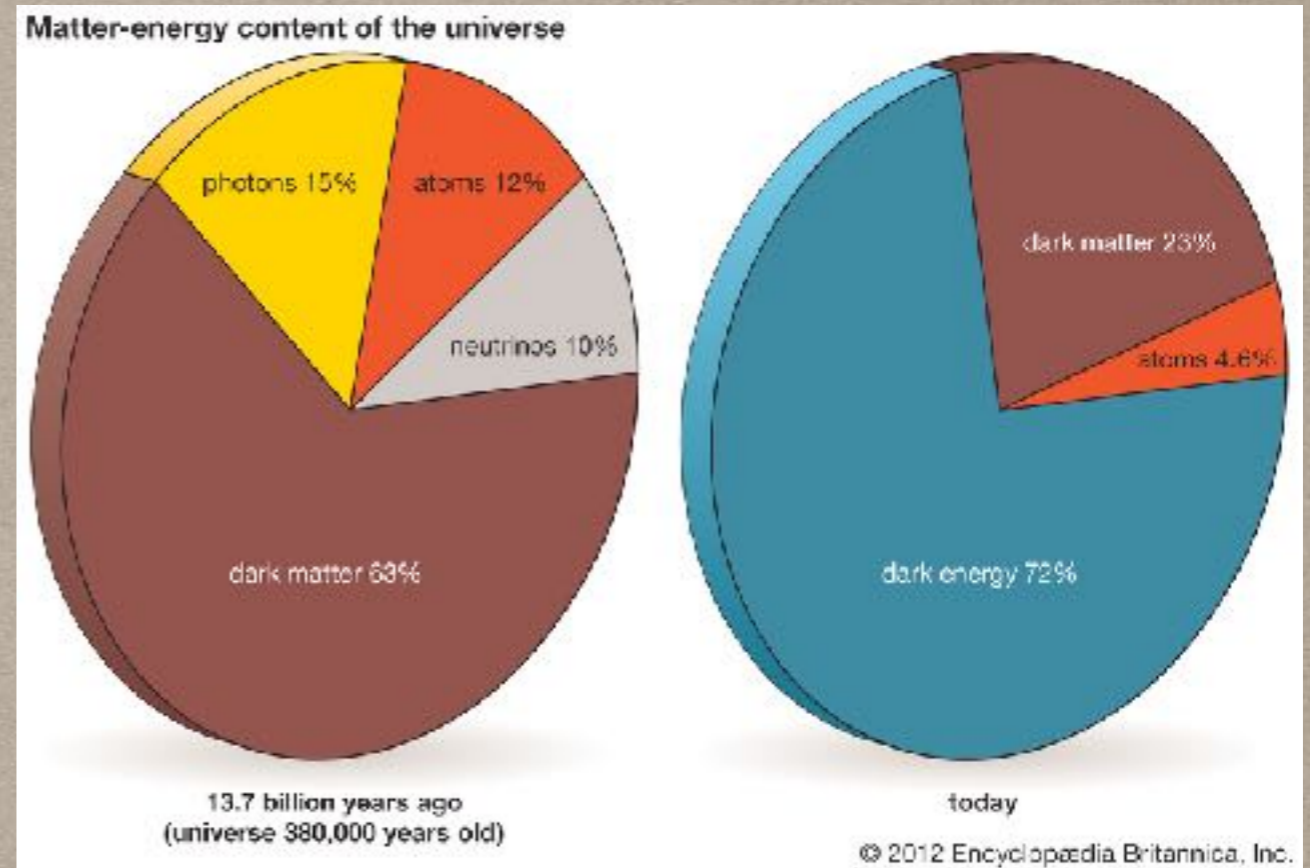
## Από τις παρατηρήσεις έχουμε μάθει ότι:

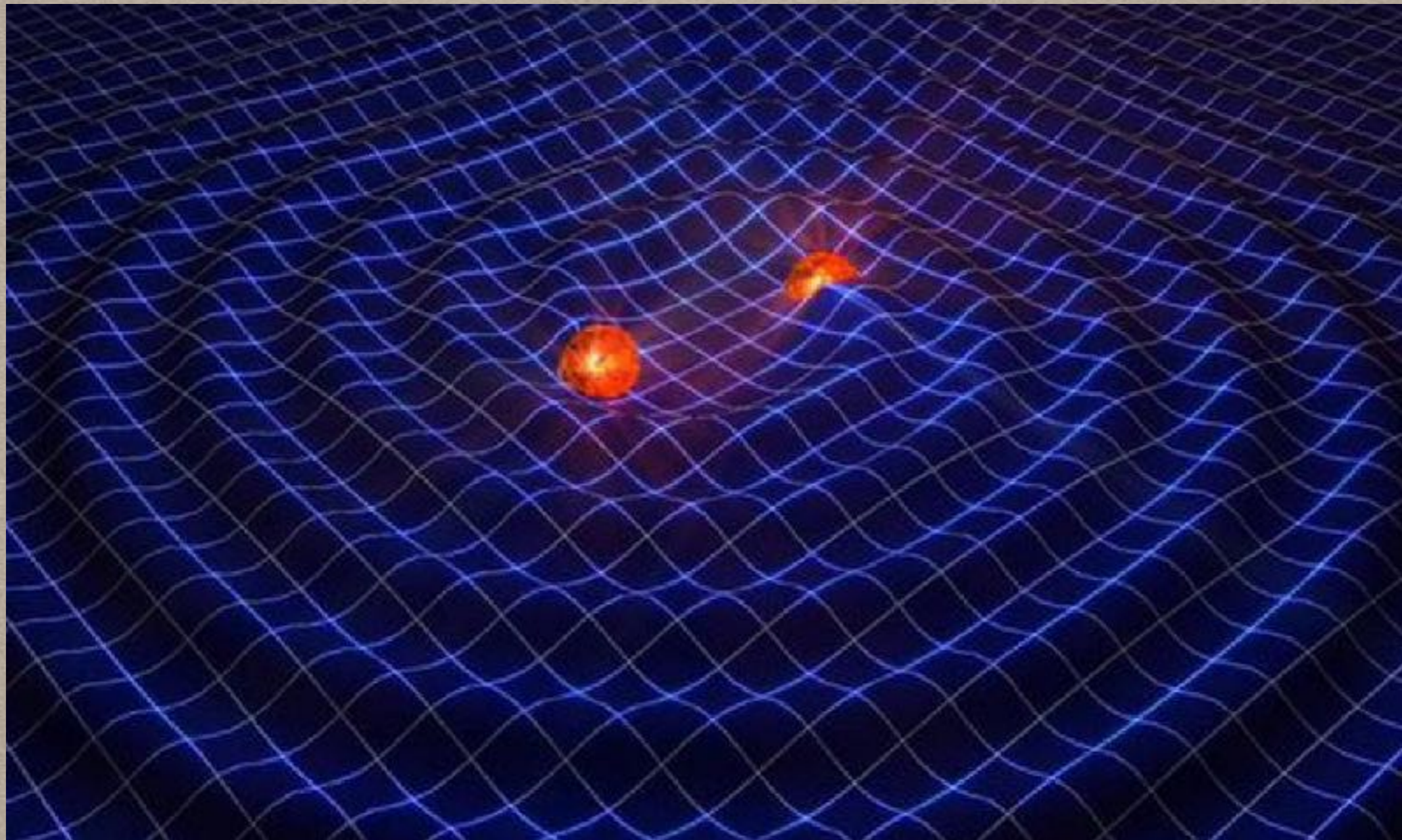
- Η σκοτεινή ενέργεια έχει αμετάβλητη πυκνότητα. Αυτό σημαίνει σταθερό ρυθμό διαστολής ( $\rho_{\Lambda} = 10^{-47} GeV^4$ )
- Η σκοτεινή ενέργεια δεν "αφηνει" τον ορίζοντα μας να αυξηθεί
- Η σκοτεινή ενέργεια σταματάει το σχηματισμό δομών



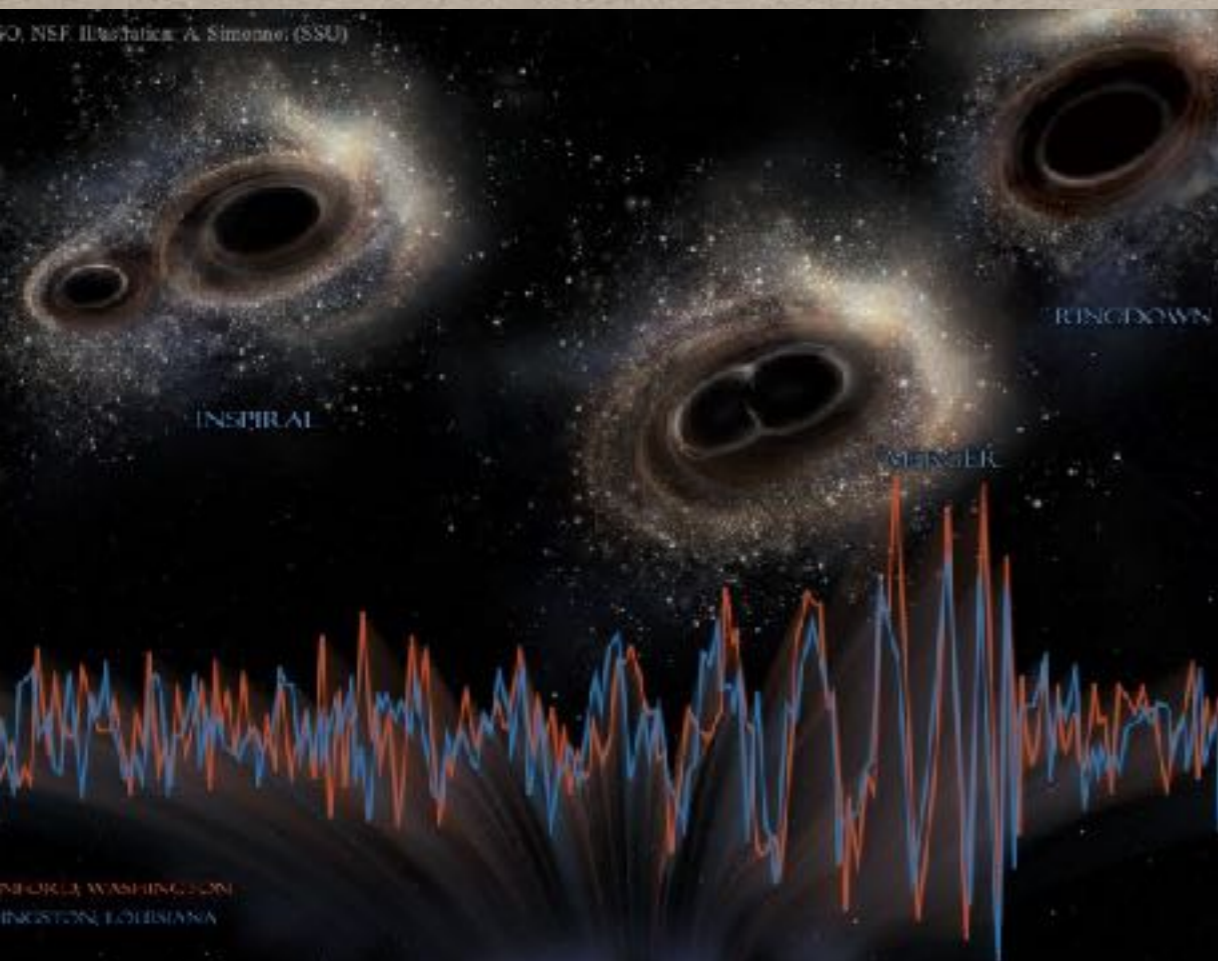
## Υπολογισμοί

- Υπολογισμός της πυκνότητας ενέργειας της Σκοτεινής Ενέργειας  $n \sim 5 \text{ GeV/m}^3$
- Εκτίμηση της μελλοντικής εικόνας του Σύμπαντος, του νυχτερινού ουρανού
- Εύρεση της ενεργειακής πίτας σε ένα μελλοντικό Σύμπαν (οταν π.χ. 10πλασιαστεί η ακτίνα του)
- Εύρεση άνω ορίου στη θεμελιώδη ενέργεια (αθροιστικά) των κβαντικών πεδίων





## 5. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ



Η ενέργεια που εκλείεται είναι ένα κλάσμα της βασικής ποσότητας:

$$L_0 = \frac{c^5}{G} = 3.6 \times 10^{52} W$$

Το πλάτος το βαρυτικού κύματος για διπλό σύστημα που συγχωνεύεται

$$h \sim 10^{-21} \left( \frac{M}{20M_{\odot}} \right) \left( \frac{r}{200Mpc} \right)$$

$$L_{\text{Ηλιος}} = 3.8 \times 10^{26} W$$

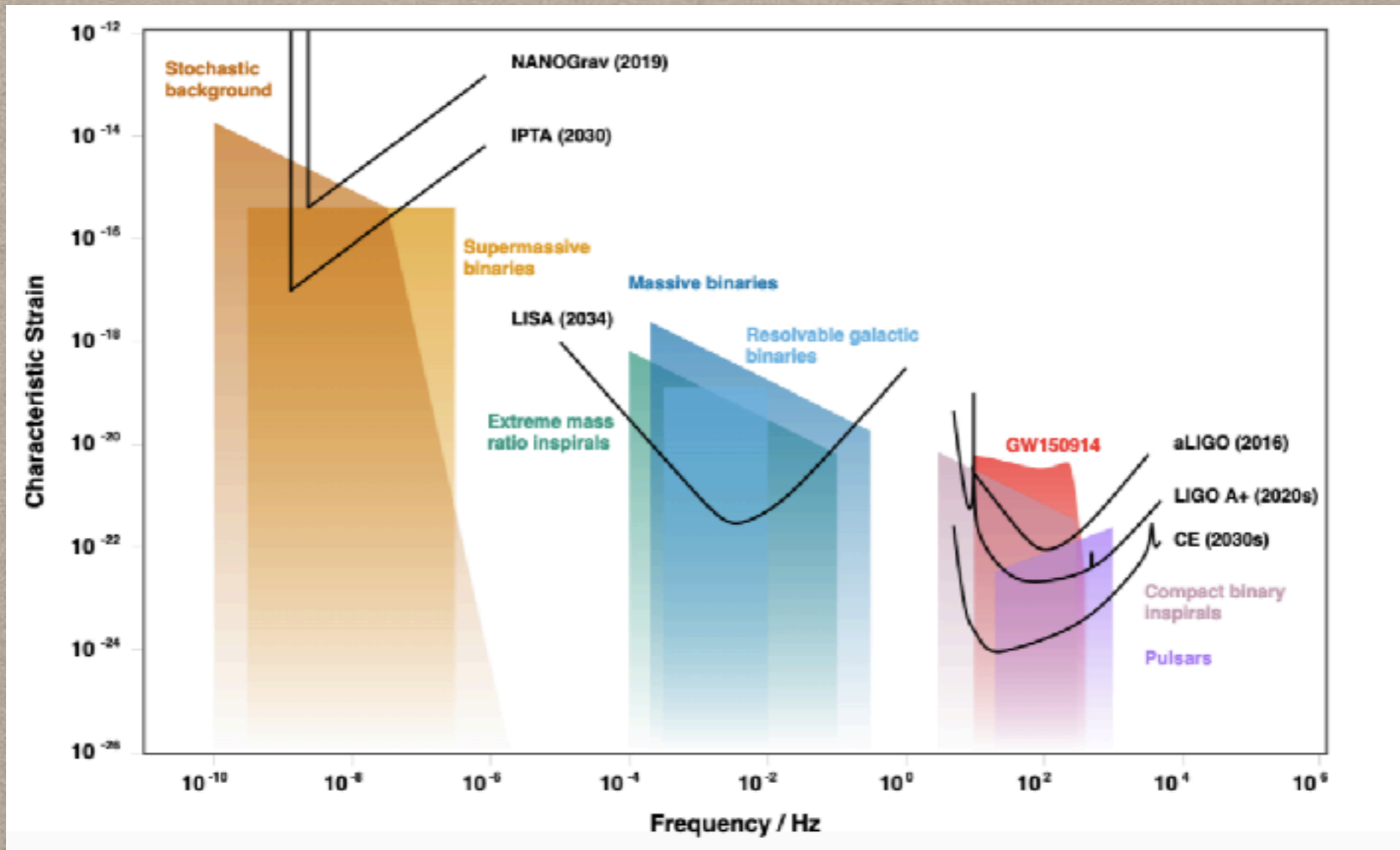
$$L_{\text{γαλ}} \approx 10^{37} W$$

$$L_{\text{ολοι-γαλ}} \approx 10^{49} W$$



# Χαρακτηριστική συχνότητα

(  $20 \text{ Hz} \rightarrow 1.5 \cdot 10^7 \text{ m}$  )



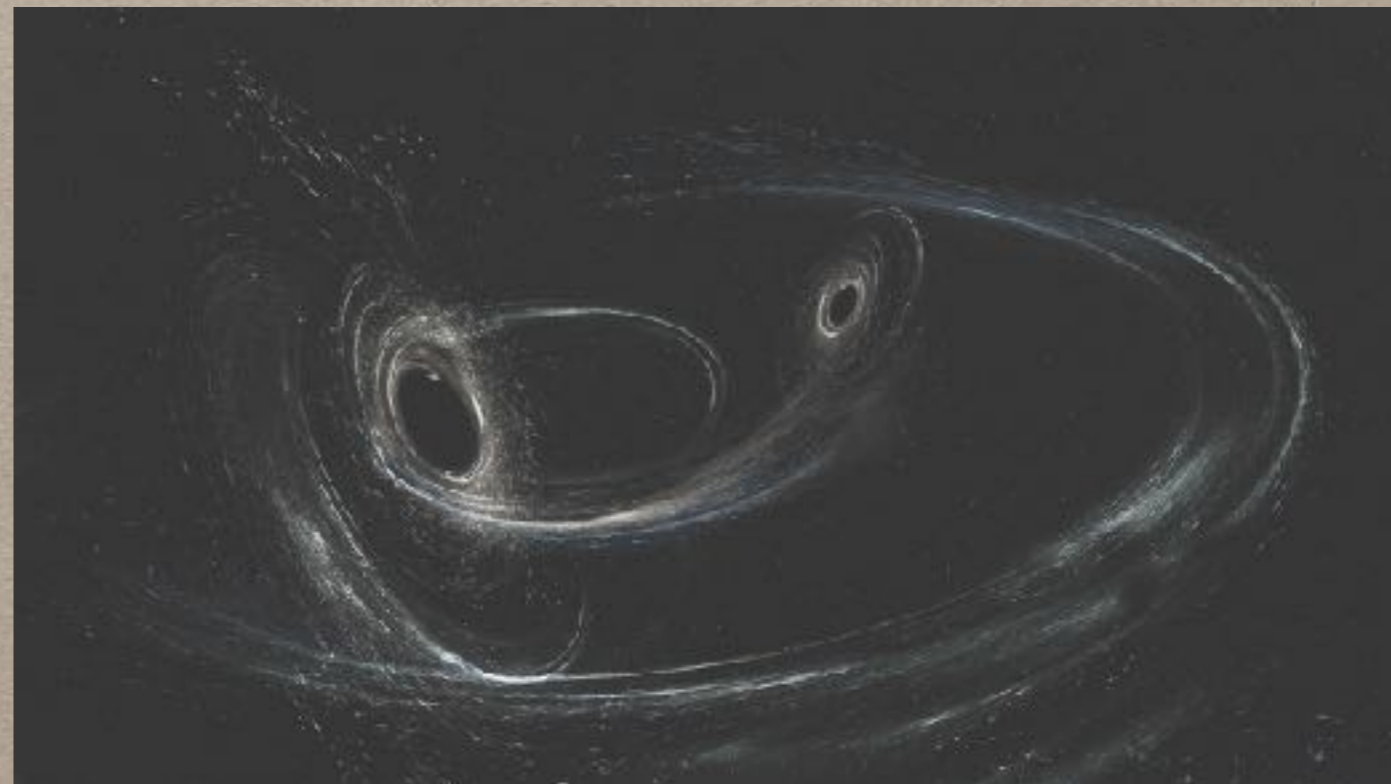
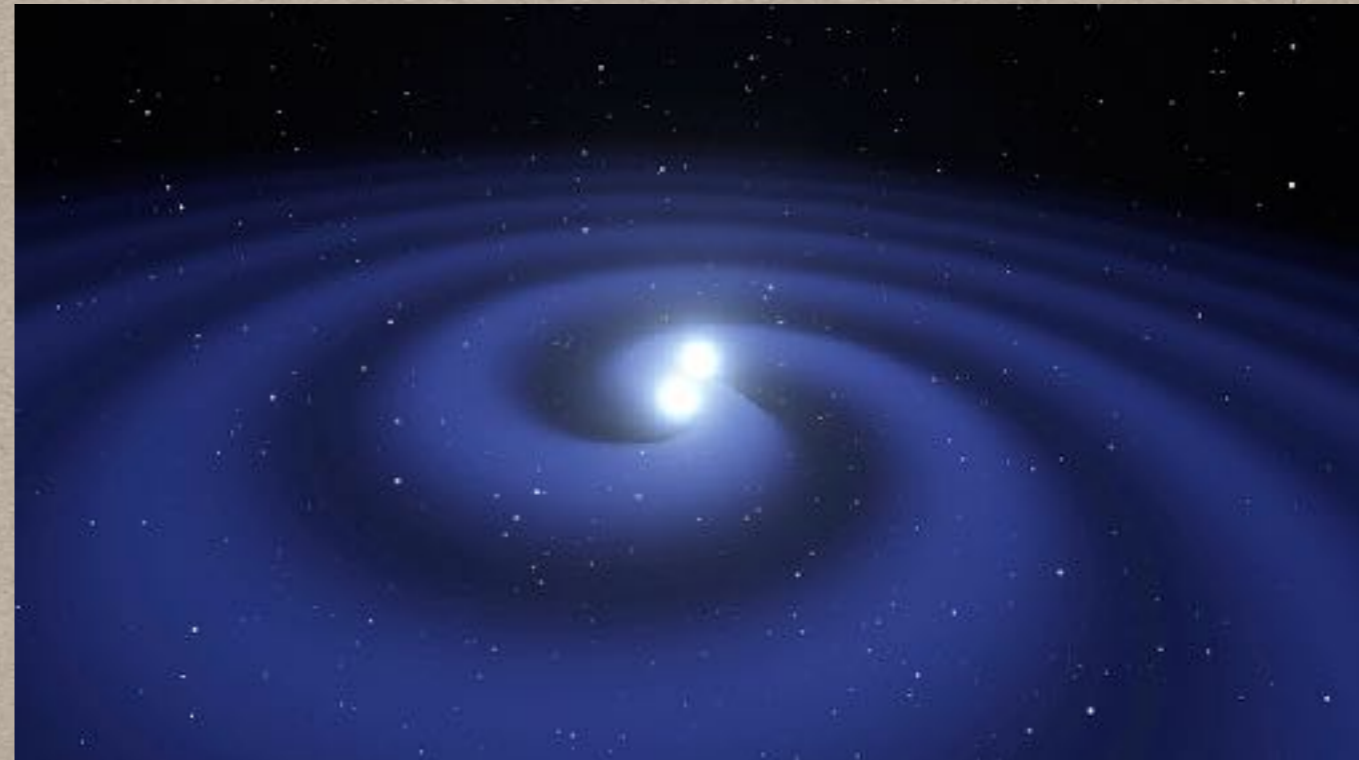
Συχνότητα των βαρυτικών κυμάτων από διπλά συστήματα (LSO):

$$f \sim 220 \left( \frac{20M_{\odot}}{M} \right) \text{ Hz}$$

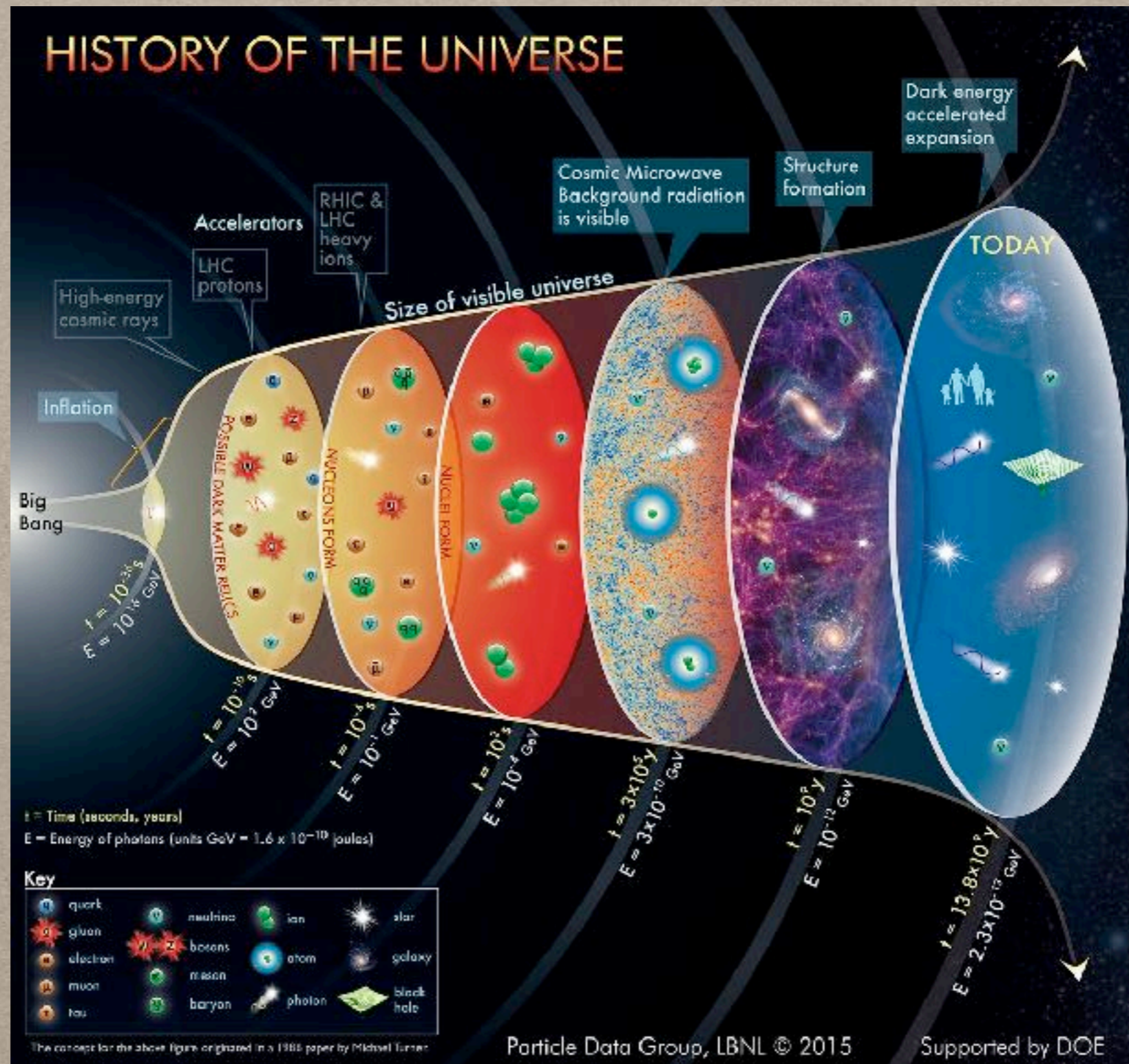


## Υπολογισμοί-Ερωτήματα

- Υπολογισμός της απόστασης και μάζας
- Πώς υπολογίζουμε την ταχύτητα των βαρυτικών κυμάτων;
- Μελλοντικά πειράματα παρατήρησης: ποια η σχέση συχνότητας μήκους κύματος;
- Συσχέτιση συχνότητας παρατηρήσεων και πληθυσμού αστέρων (π.χ στον Γαλαξία μας περιμένουμε 0.1 - 0.01 τυπου II εκρήξεις υπερκαινοφανών, πόσους θα περιμένουμε απο το Virgo cluster;)
- Παλσαρ συγχωνεύονται κάθε 100.000 χρόνια στον γαλαξία μας. Σε τι απόστασεις θα πρέπει να κοιτάξουμε για να βλέπουμε 1/χρόνο; (Απ:100 000 γαλαξίες ή σε έκταση με ακτίνα 100 Mpc)



# Να κατανοήσουμε το κοσμικό χωνί!





...συνεχίζεται  
στις τάξεις