

Δομή της ύλης και θεμελιώδεις

Αλληλεπιδράσεις

1. Μακροσκοπική $\gamma\chi\eta \longrightarrow \text{Μόρια} \longrightarrow \text{Ατόμα}$
 $\longrightarrow \eta\lambda\epsilon\kappa\tau\epsilon\acute{o}\nu\iota\alpha + \pi\upsilon\kappa\upsilon\nu\acute{\iota}\delta\iota\alpha$

$\downarrow$

$\underbrace{e \quad p, n}_{+ \text{ πoλλά "στοιχειαώδη" σωματίδια}}$

2. Αλληλεπιδράσεις και κατάταξη των σωματιδίων:

Υπάρχουν τέσσερες θεμελιώδεις
Αλληλεπιδράσεις:

Μικροσκοπ. επιβλέψεις

Απειρος επιβλέψεις

- (i) Ισχυρές πυρηνικές
- (ii) Ηλεκτρομαγνητικές
- (iii) Ασθενείς πυρηνικές
($n \rightarrow p e^- \bar{\nu}_e$)
- (iv) Βαρυτικές

$\perp$

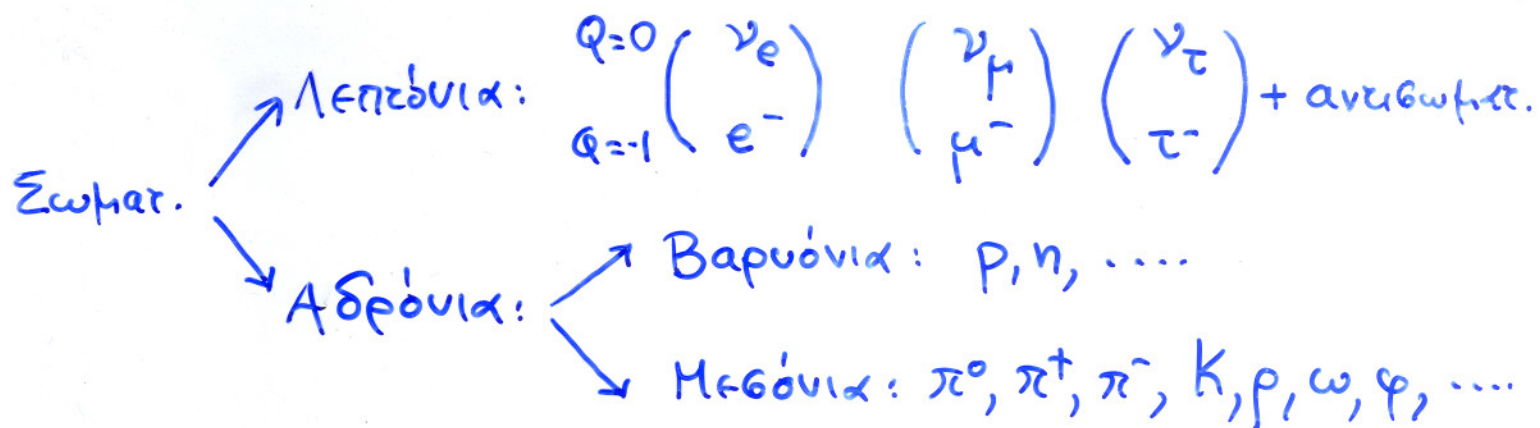
10^{-2}

10^{-5}

10^{-38}

Πυρηνικά και υποπυρηνικά φαινόμενα

Μακρο-κόσμος



Σωματιδ. αντιδράσεις: $a b \rightarrow c d \dots$

Νόμοι διατήρησης: Ενέργεια, Ορμή, Στροφορμή,
 ηλεκτρικό φορτίο → ευδιάθετα e^-

οχι απόλυτοι { Βαρυονικός αριθμός → ευδιάθετα p
 e -λεπτονικός αριθμός
 μ -λεπτονικός αριθμός
 τ -λεπτονικός αριθμός

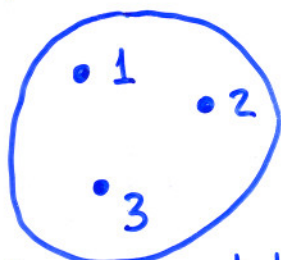
Τα αδρόνια αποτελούνται από "quarks":

$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} \begin{matrix} Q=2/3 \\ Q=-1/3 \end{matrix}$ "flavour"
 ≡ άρωμα

"colour" (χρώμα): $u \rightarrow u_1, u_2, u_3$
 $\vdots$

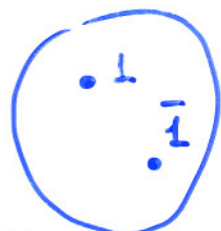
Εγκλωβισμός χρώματος:

Βαρυόνια →



$$p = u_1 u_2 d_3, n = u_1 d_2 d_3$$

Μεσόνια →



$$\pi^0 = u_1 \bar{u}_1 + \dots$$

$$\pi^+ = u_1 \bar{d}_1 + \dots$$

Νόμοι διατήρησης $\longleftrightarrow$ Συμμετρίες

→ Ομάδα μετασχηματισμών που αφήνει την δυναμική αναλλοίωτη: $g, g' \in G \Rightarrow gg' \in G$

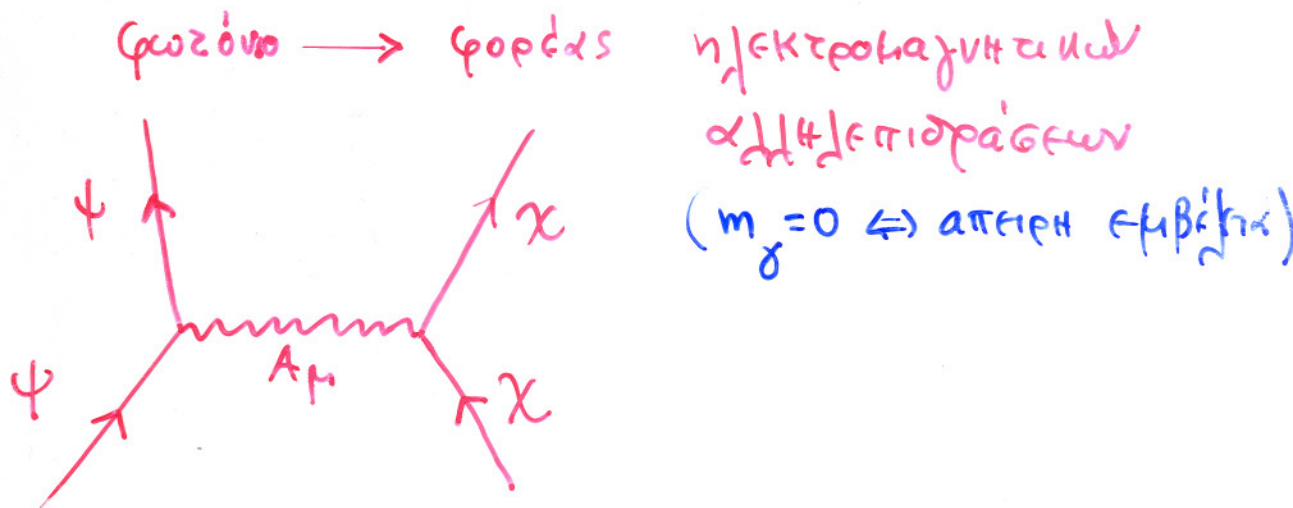
$$\forall g \in G: \mathcal{L}(g\psi_1, g\psi_2, \dots) = \mathcal{L}(\psi_1, \psi_2, \dots)$$

Οι γεννήτορες της ομάδας $\longleftrightarrow$ διατηρούμενα μεγέθη

Διατήρηση ηλεκτρικού φορτίου, βαρυονικού αριθμού, e-λεπτονικού αριθ., ... $\rightarrow U(1)$ συμμετρία

Αν την συμμετρία ~~μη~~ την κάνουμε τοπική (βαθμίδα)

$\Rightarrow$ ύπαρξη πεδίου βαθμίδας A_μ (φωτόνιο)



Ηλεκτροαβθενής θεωρία (Weinberg-Salam-Glashow 1967):

θεωρία βαθμίδας με ομάδα $SU(2)_L \times U(1)_Y \supseteq U(1)_{em}$

$\Rightarrow$ τέσσερις γεννήτορες $\rightarrow$ τέσσερα πεδία βαθμίδας

$\underbrace{\gamma}_{\text{φωτόνιο}} \quad \underbrace{W^+ \quad W^- \quad Z^0}_{\text{φορέας ασθενών αλληλεπιδράσεων}} \quad \underbrace{\text{92 GeV}}_{\text{(CERN, Rubbia 1984)}}$

την μάζα την παίρνουν από το αυθόρμητο σπάσιμο της συμμετρίας:

$$SU(2)_L \times U(1)_Y \xrightarrow{\langle \Phi \rangle \neq 0} U(1)_{em}$$

→ μικροσκοπική εμβέλεια.

Ισχυρές αλληλεπιδράσεις (Κβαντική Χρωμοδυναμική):

ομάδα βαθμίδας: $SU(3)_c$

(συνδέεται με το χρώμα)

→ οκτώ πεδία βαθμίδας: "Gluons"

(φορείς Ισχυρών Αλληλ.)

$SU(3)_c$ παραμένει άσπαστο → "Gluons" με μηδενική μάζα.

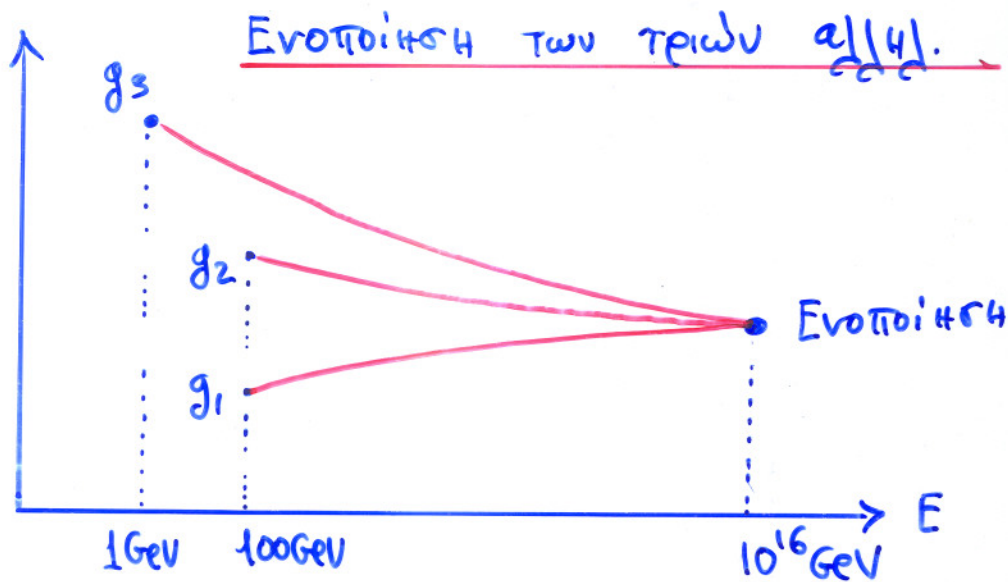
Ιδιότητες Χρωμοδυν: (i) Ασυμπιεστική ελευθερία

(ii) Εγκλωβισμός

Πρότυπο μοντέλο: $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$

Υπερσυμμετρία (διπλασιασμός βωνιαν.) →

"Υπερσυμμετρικό Πρότυπο μοντέλο"



Μικρότερη ομάδα που περιέχει το Π. Μ. : $SU(5)$

$$SU(5) \xrightarrow[M_X \sim 10^{16} \text{ GeV}]{\langle \phi_{24} \rangle} SU(3) \times SU(2) \times U(1) \xrightarrow[M_W \sim 100 \text{ GeV}]{\langle \phi_5 \rangle}$$

$$SU(3)_c \times U(1)_{em}$$

$\Rightarrow$ Υπάρχουν 12 επιπλέον πεδία βαθμίδας (X, Y)

με $m_{X,Y} \sim 10^{16} \text{ GeV} \rightarrow$ παραβιάζουν τον βαρυτικό

Αριθμό :

Προβλέψεις: (i) Διάρκεια p (πείραξη $\gg (2-3) \cdot 10^{32} \text{ yr}$)

(ii) $\alpha_s = 0.12$, $\sin^2 \theta_W \approx 0.235$

(iii) ν 's αποκτών μικρή μάζα

(iv) Κβάντωση ηλεκτρικών φορτίων

(v) 'Υπαρξη "μαγνητικών μονοπόλων"

(vi) Πιθανή ύπαρξη κοσμικών χορδών (δημιουργ. χαλαζίων), τοιχωμάτων (καταστροφ.)



Μικροκοσμολογία

($\equiv$ μελέτη των αρχικών σταδίων εξέλιξης του σύμπαντος με βάση την φυσική των στοιχειωδών):

Το σύμπαν ξεκίνησε πριν από 10^{10} yr με μία "μεγάλη έκρηξη" (BIG BANG): Ήταν τόσο πυκνωμένο σε απεριόριστη έκταση και με τεράστια θερμοκρασία. Ο χώρος και ο χρόνος γεννήθηκαν μαζί με την ύλη.

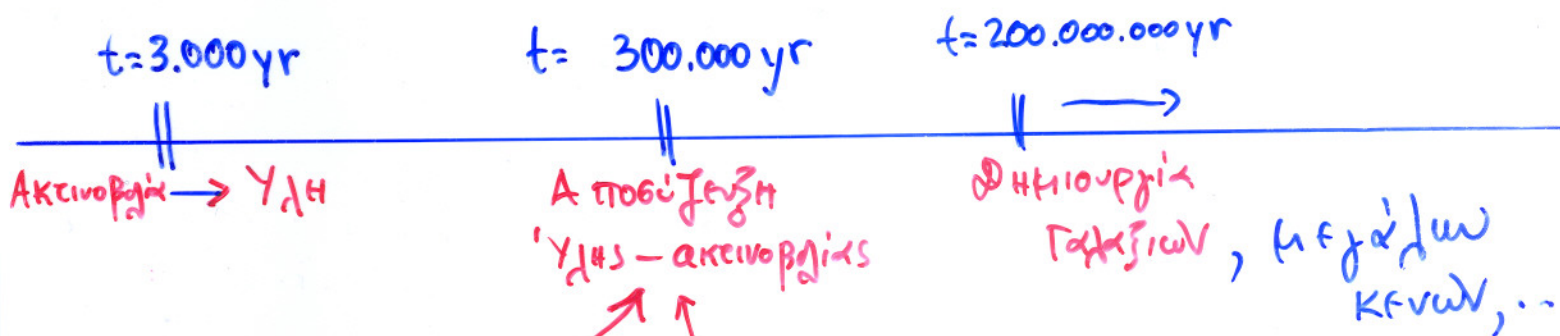
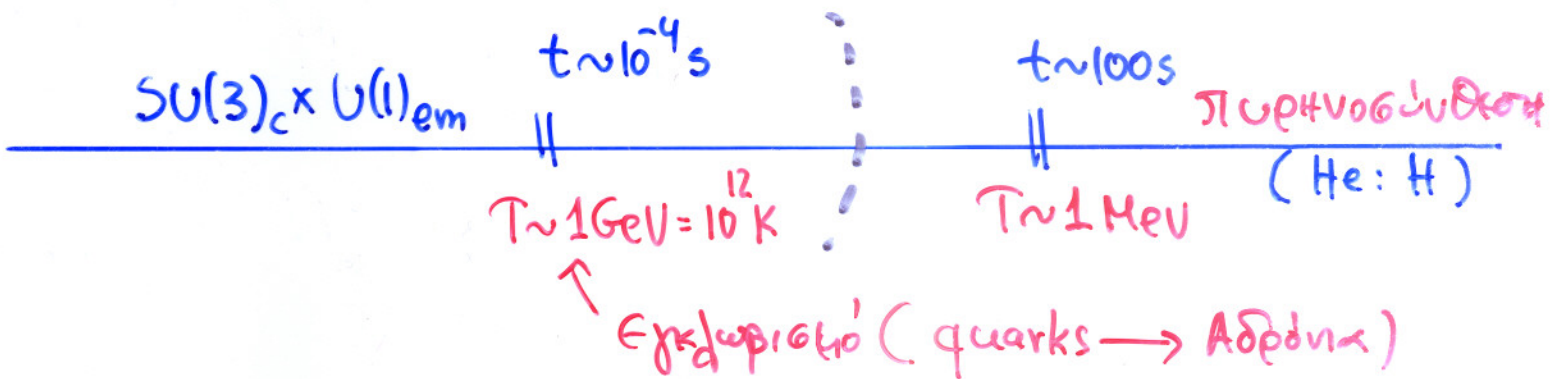
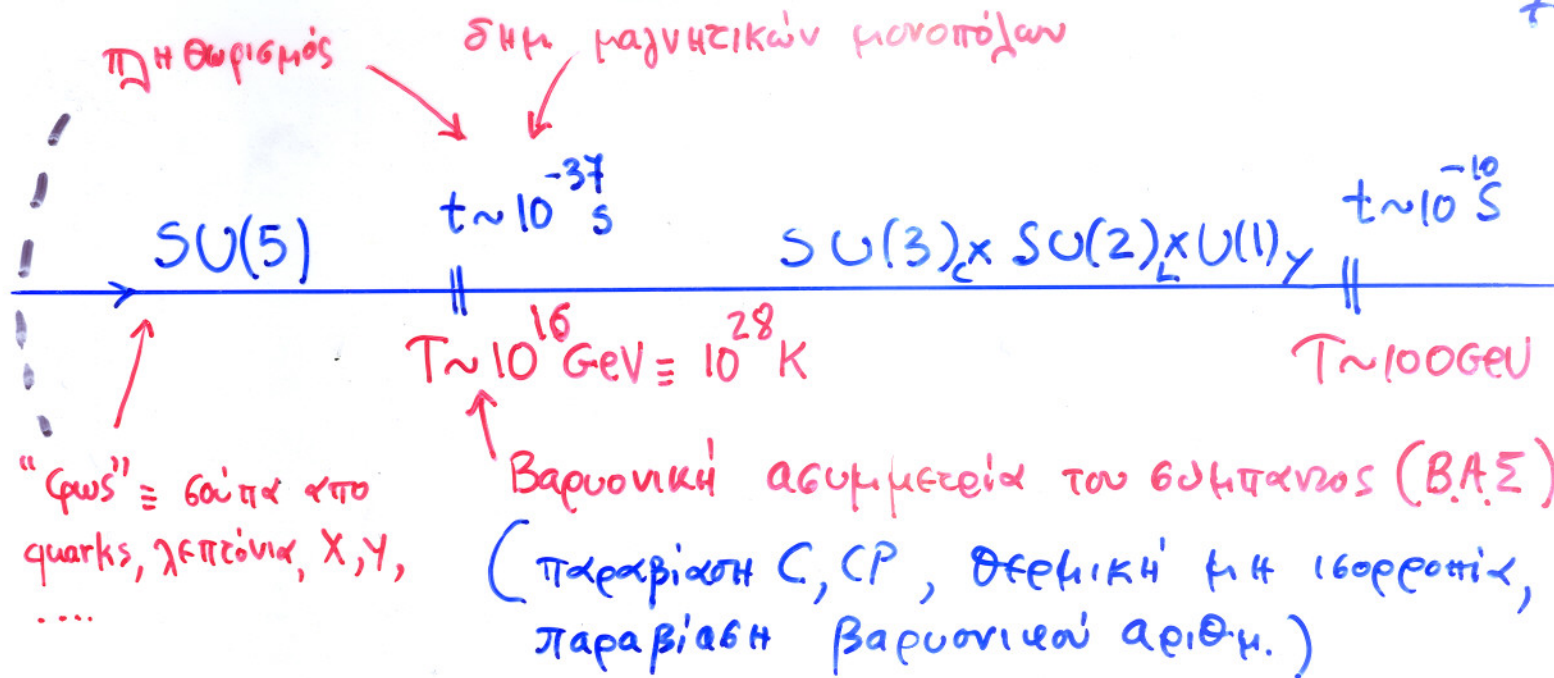
Μετά το "BIG BANG" και για χρόνους

$t \geq t_{pl} = 10^{-43}$ sec, οι κβαντικές διακυμάνσεις της βαρύτητας γίναν αμελητέες

$\Rightarrow$ Κλασική Βαρύτητα (Γεν. Θεωρ. Σχ.)
+ Ενοποιημένες Θεωρίες Βασικής
(Κβαντικές)

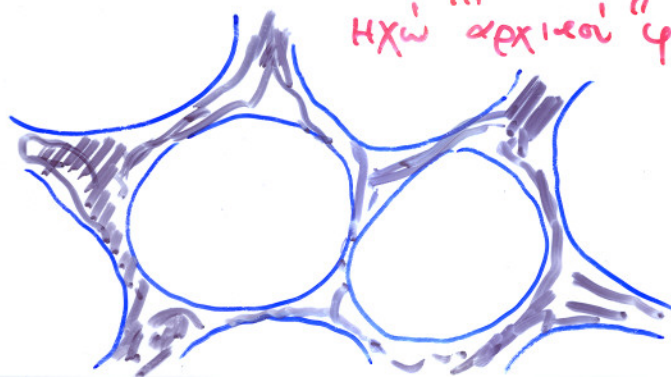
Το σύμπαν υφίσταται μία σειρά αλλαγών φάσης όπως φύχεται και διαστέλλεται μετά την "μεγάλη έκρηξη".

Κατά την διατεκτα αυτών των αλλαγών φάσης έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα:



Θηριοτροφία ατόμων
(οι πυρήνες συλλαμβάνουν ηλεκτρόνια)

(Ακτινοβολία Υποβάθρου 2.7° K "1964")
Ηχώ "αρχικού φωτός"



1989

"Προβλέψεις":

8

(α) Βαρυνική Αδυσμενεία του Σύμπαντος (δηλαδή

+ μικρή υπερβολή βαρυτίων έναντι ανήβαρυτίων)

⇒ Είναι απαραίτητη για την ύπαρξη του κόβου στην δημενική του μορφή

Παράγεται από τις δι-επιδράσεις των

X, Y κατά την αλλαγή φάσης GUT

(b) Επίλυση των τριών "κοσμολογικών παραδόξων"

(i) Πρόβλημα Μονοπόλων (κατά την αλλαγή φάσης

GUT παράγονται πέρα πολύ μικρ. μονίμων

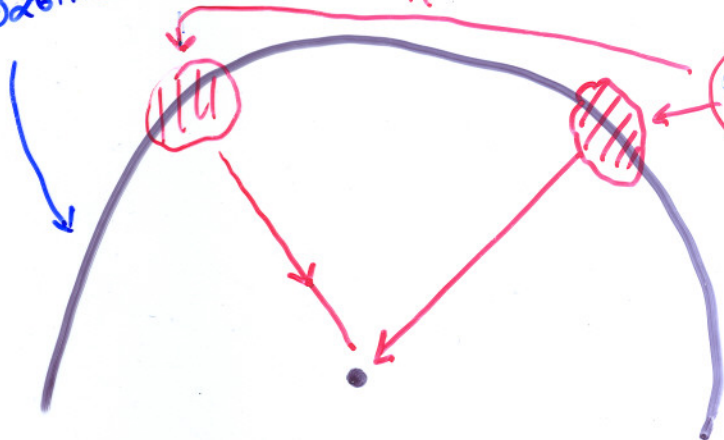
τα οποία δημιουργούν πρόβλημα στην

πυρηνόσυνθεση και στο δημενικό σύμπαν)

(ii) Πρόβλημα Θέρμανσης (η ακτινοβολία υποβάθρου

έχει την ίδια θερμοκρασία από παντού)

αλυσίδα
επιδράσεων
μεταξύ τους



οι περιοχές δεν πρόλαβαν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους από την δημενική

$t = 300.000 \text{ yr}$

9
Δορυφόρος COBE (Cosmic Background Explorer) 1989

⇒ Πρώτα αποτελέσματα (1992): $\frac{\delta T}{T} \sim 10^{-5}$

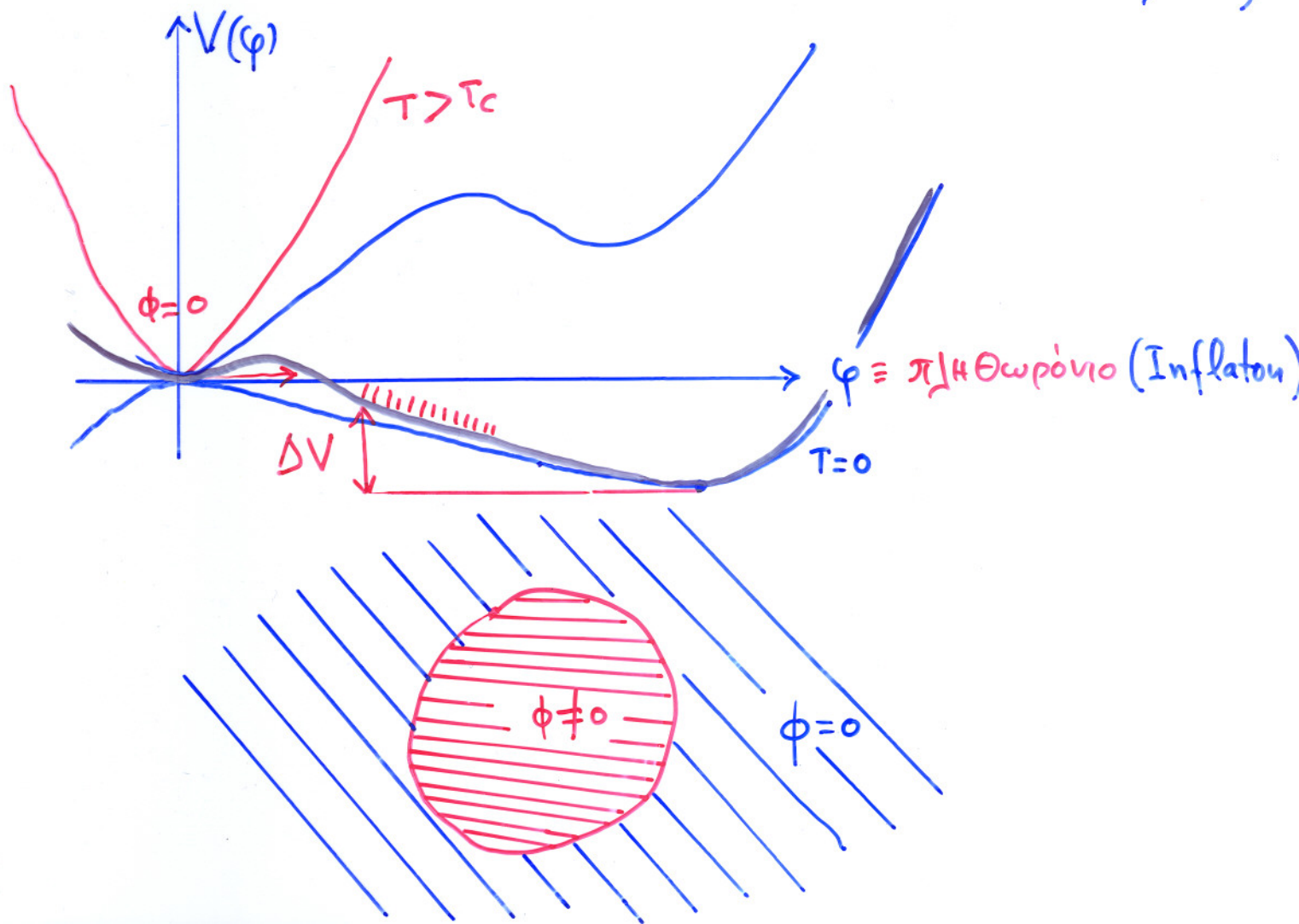
(iii) Πρόβλημα επιπέδτητας ούμπαντος (ω

ούμπαν τώρα περίπου επίπεδο: $\Omega = \frac{\rho}{\rho_c} \approx 1$

⇒ Στην αρχή επίπεδο με τρομερή ακρίβεια

⇒ Και τα τρία "παράδοξα" λύνονται με τον

"πληθωρισμό" (μία περίοδος εκθετικής διαστολής)



Με το κβαντικό φαινόμενο ύψους $\rightarrow$ φυσαλίδα με $\phi \neq 0$ και $\Delta V \neq 0$ και περίπου σταθ.

$\Rightarrow$ Η φυσαλίδα διαστέλλεται πολύ γρήγορα ($R(t) \sim e^{Ht}$, $H^2 = \Delta V / M_{pl}^2$) και κλείπτει πολλές φορές το ύψος μας.

$\Rightarrow$ Ο "πληθωρισμός" αυξάνεται επιλύει τα "κοσμολογικά παράδοξα"

Επιπλέον λόγω του "κβαντικών διακυμάνσεων" του "πληθωρισμού" $\Rightarrow$ διακυμάνσεις

πυκνότητας $\frac{\delta \rho}{\rho} \sim 10^{-5}$

$\rightarrow$ (i) δημιουργία Γαλαξιών

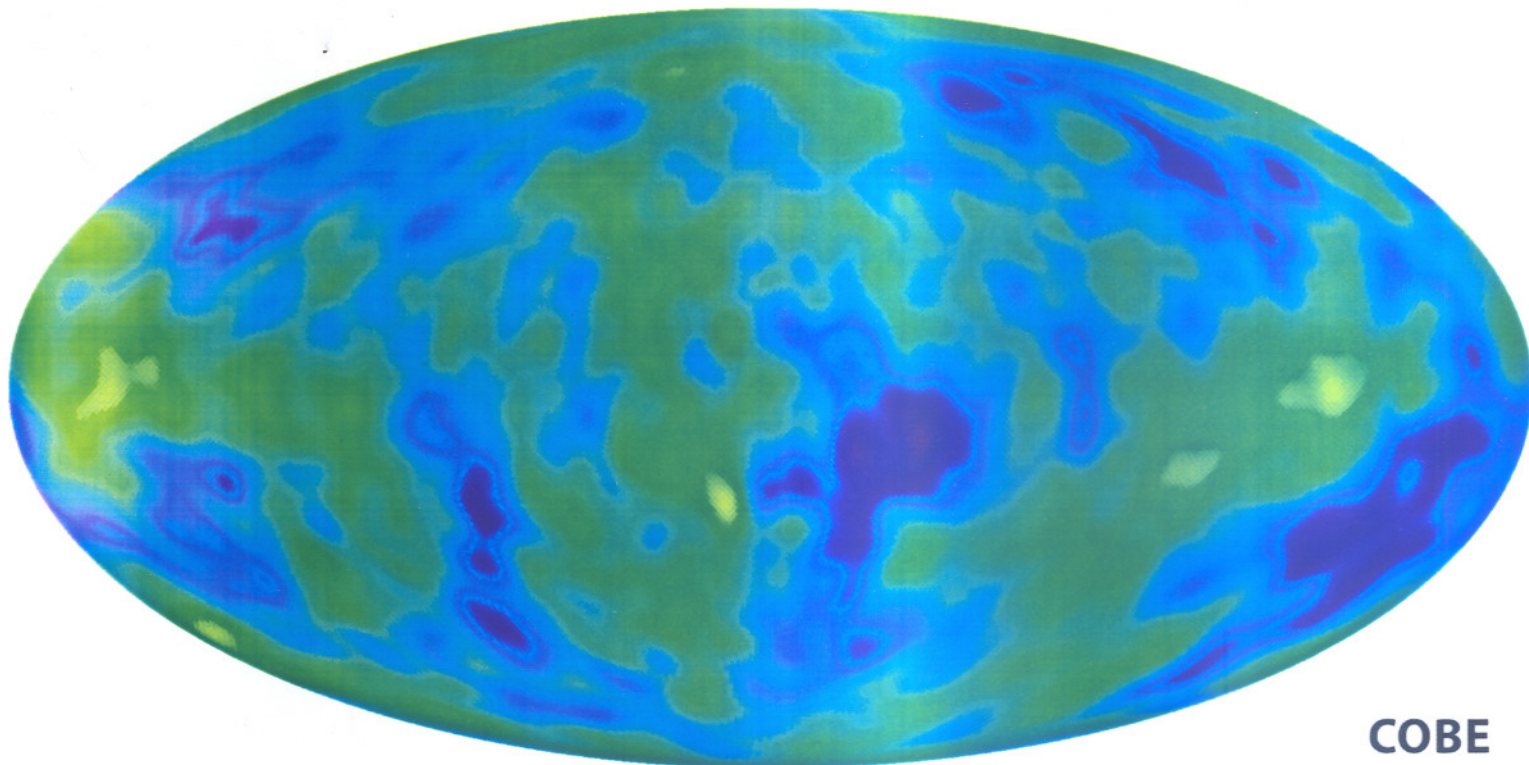
(ii) δημιουργούν τις διακυμάνσεις

θερμοκρασίας $\frac{\delta T}{T} \sim 10^{-5}$

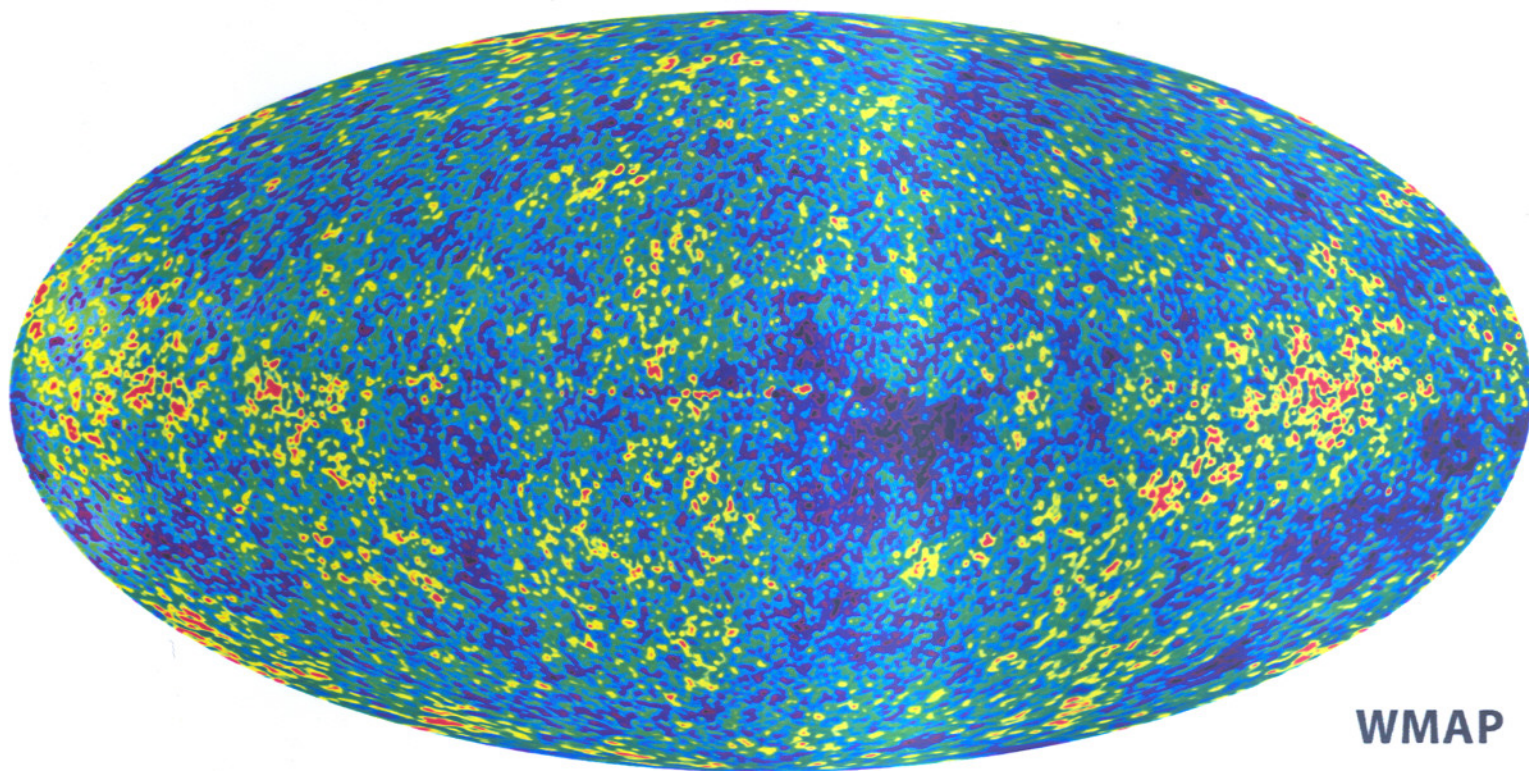
που μετράει ο COBE/WMAP

("πληθωρισμός" σε πληθνή

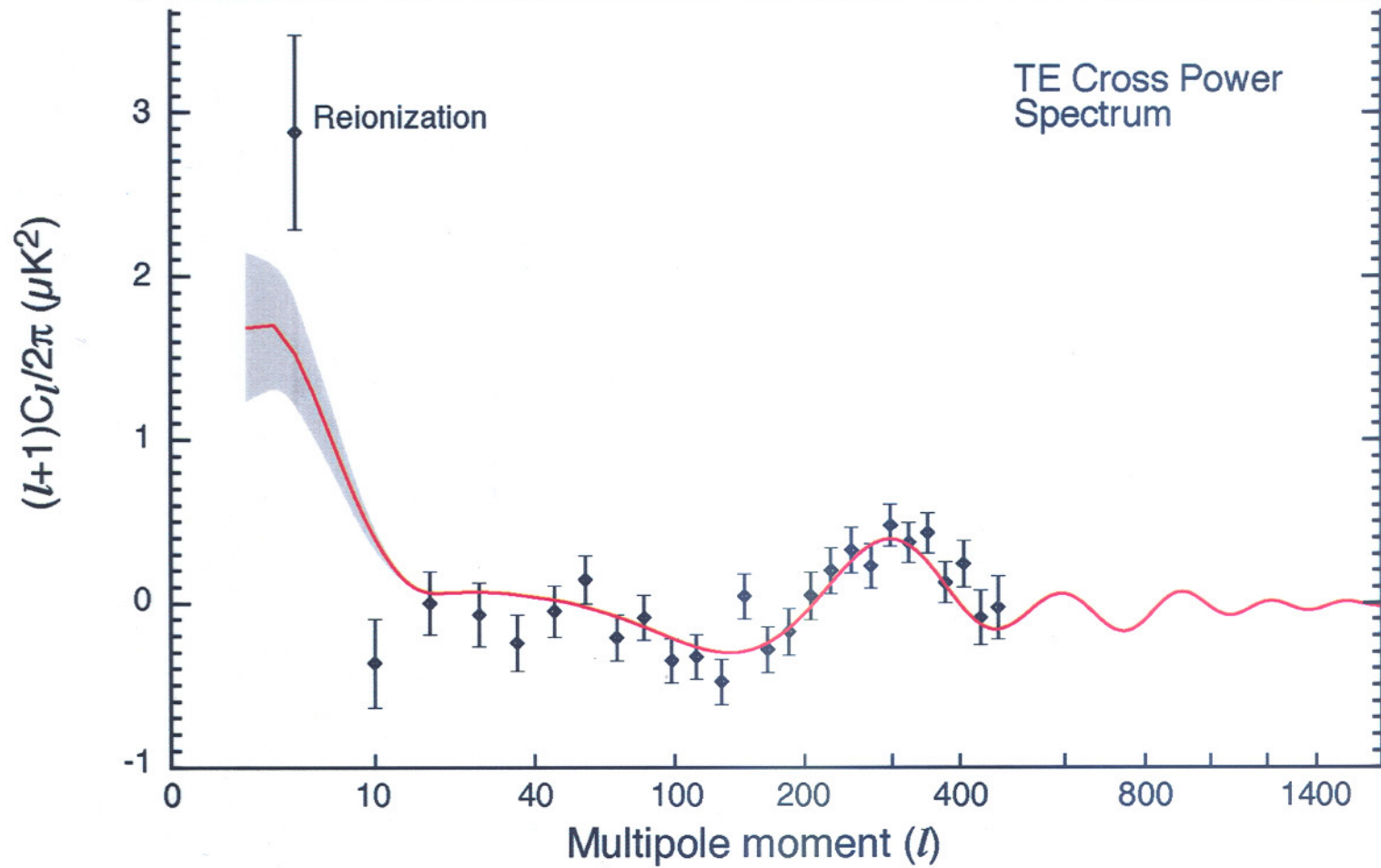
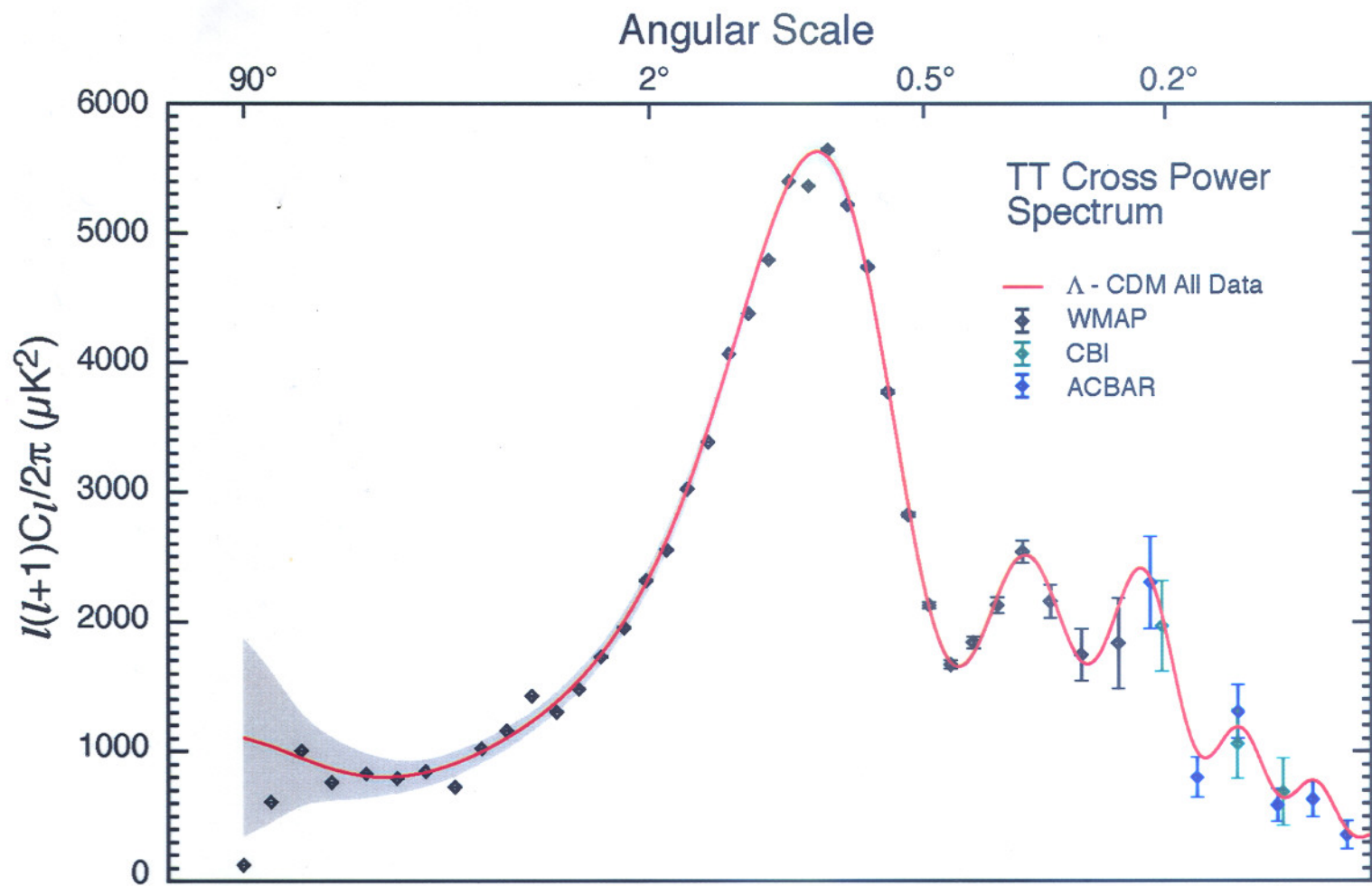
σύμφωνα με COBE/WMAP)



COBE



WMAP



Μια από τις συνέπειες του "Πηθωριστικού μοντέλου"
⇒ το κیهερινό σύμπαν είναι "απόλυτα" επίπεδο
($\Omega = \frac{\rho}{\rho_c} = 1$, χωρίς τρέλς)

Πράγματι το 2001, τα DASI, BOOMERANG, MAXIMA, WMAP (2003) → $\Omega = 1.02 \pm 0.02$ (μετά τις πάνω βεβν ακεινοβγία υποβάρ)

Επίσης ότι η "ύλη" μέσα στο σύμπαν είναι 27%.

Ερώτημα: από τι αποτελείται το 73% του σύμπαντος
αν όχι από ύλη;

Η απάντηση είχε δοθεί το 1997-8 από την Παρατήρηση
των υπερκαινοφανών τύπου "Ia" (τους βλέπομε σε προηγούμενες
εργασίες).

Βεβθηκε ότι η ταχύτητα διαστολής τους είναι μικρότερη
από την βήηφεινή → Η διαστολή του σύμπαντος είναι
'επιταχυνόμενη'.

Αυτο ερμηνεύεται μόνο αν βεχθούμε ότι $> 2/3$
πείπου της ενέργειας μέσα στο σύμπαν είναι
βεν μορφή της 'κοσμολογικής Σταθεράς' ή κάτι
κοντά σε αυτό ("πείπτουσία"), δηλαδή δέν αραιώνη
με την διαστολή (αρνητική πίεση) όπως και στα "Πη-
θωριστο". → Βεβκόμαστε βεί πρόθερα επερχόμενου
Πηθωριστού (αν και αυτό δέν είναι απόλυτα βωβό
: πείπτουσία)

WMAP επιβεβαιώνει την ύπαρξη *γκοσμικής ενέργειας*
 73%

Από την μέτρηση της "Πυρνοφύσσης" (WMAP)

→ "Βαρυονική ύλη" είναι 4% (4.4%)

"Άρα $27\% - 4\% = 23\%$ "γκοσμική ύλη" μέσα στο Σύμπαν.

Ερώτημα: Ποια είναι η φύση της "γκοσμικής ύλης";

Αποδεικνύεται ότι η "γκοσμική ύλη" πρέπει να είναι κυρίως "ψυχρή", δηλ. από σωματίδια με $m \neq 0$ που κινούνται με μικρές ταχύτητες και αλληλεπιδρούν με ελ υπολογιστά μόνο "βαρυστρά", για να ερμηνευθούν τις συμπυκνώσεις σε όλη τη κλίμακα.

Τι μπορεί να είναι; → (i) LSP (από το ελαφρύτερο υπερ-βαρυονικό σωματίδιο)

(ii) Αξιόνια (που συνδέονται με το CP πρόβλημα των "ισχυρών αλληλεπιδράσεων")

(iii) ...

Μπορούμε να ανιχνεύσουμε; Τα LSP με την σκέδασή τους πάνω σε πρωτόνια. Τα αξιόνια πολύ δύσκολοτερά.

Superstrings → κβαντικά βασίδια
 → $t \leq 10^{-43}$ sec.

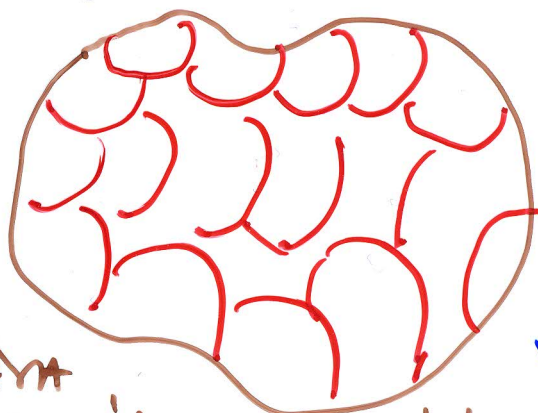
Θεωρία Υπερχορδών (1985) → ανακαθιστά τα
 σωηατίδια με "μονοδιάστατες" χορδές →
 ενοποιεί την "βαρύτητα" με τις άλλες αλληλεπιδράσεις
 ⇒ προβλέπει την ύπαρξη 10 ή 11 χωροχρονικών
 διαστάσεων.

Οι έξι διαστάσεις → "συμπυκνωμένες" $\sim l_{Pl} \sim 10^{-33} \text{ cm}$

Οι υπερχορδές → μας δίνουν την δυνατότητα να
 μελετήσουμε την "κβαντική βαρύτητα" → προηγήθηκε
 στην "Μεγάλη Έκρηξη" (ή και πριν από αυτήν).

Πρόβλημα του Κοσμολογικού "Πηθωρισμού" είναι οι
 "αρχικές του συνθήκες":

χρησιμοποιούμε
 μία μεγάλη
 ομογενοποιημένη



περιοχή που όλο και αποκλείεται από
 πολλές εικασίες που δεν επικυρώνονται

→ Πιθανή λύση: 1^ο στάδιο Πηθωρισμού πριν t_{Pl}

Πιο ενδιαφέροντα λύση: με βάση τις "Υπερχορδές"

→ που είτε δίνουν το "1^ο στάδιο Πηθωρισμού" είτε
 κάνουν οι ίδιες την "δυναμική" του Πηθωρισμού.

Δύο συστάσεις:

(i) Σενάριο "Αερίου Χορδών":

Το σύμπαν ξεκινά με μια **ημιστατική κατάσταση** "αερίου χορδών" περιτυλιγμένων ως "εξτρα διαστάσεις" → μένει στάσιμη για κατάσταση "επί μακρόν χρόνον" κοντά στην θερμότητα Hagedorn.

Κάποια στιγμή **εξαυλώνονται** οι χορδές → **ακτινοβολία** → **κανονική εξέλιξη** της Μ.Ε.

Η αιτιακή επικοινωνία / **ομογενοποίηση** εξαεραγίζεται από τον μακρό χρόνο της "ημιστατικής κατάστασης"

Οι "διακυμάνσεις" από τις θερμικές διακυμάνσεις του "αερίου χορδών".

(ii) Σενάριο "Πρό- Μ.Ε.":

Πηγαίνοντας πίσω **εις τον χρόνο** →

Περνάμε στη "**αρχική ανισορροπία**" ($t=0$) που οφείλεται από τις "**υπερχορδές**" και βγαίνουμε με "**αρνητικούς χρόνους**" (πρό της Μ.Ε.).

Οπότε έχουμε $\rightarrow$ κίνηση των Σύντακτων προς την
 (θετική απήχηση) ($t=0$) οπού επικρατεί βέβαια
 «μεγάλη καθυστέρηση».

Αν π.χ., κατά την κίνηση αυτή, οι «έξτρα διαστάσεις»
 βυθίζονται $\rightarrow$ Πηθαρσισμός (επιταχυνόμενη διαστολή)
 αν και πάλι πην «μεγάλη καθυστέρηση».

Αυτός ο Πρὸ Μ.Ε. Πηθαρσισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί
 ποικίλα είτε ως πρώτο στάδιο $\rightarrow$ αρχικές συνθήκες του
 «συμβατικού Πηθαρσισμού» είτε σαν «μόνο» Πηθαρσισμό
 $\rightarrow$ παράγει την οργάνωσή του / διακυμάνσεις.

Υπάρχουν και άλλα βήματα όπως της «ανώτερης
 ύλης» (που δεν σχετίζεται με καρδές), το «Εκπυρνώ
 Παράδειγμα» (με συγκευόμενες μεμβράνες και έξτρα
 διαστάσεις), και άλλα.

Πάντως πρέπει να γράψετε προσεκτικοί γιατί η
 φυσική αυτή δε έχει κανονισμό / επιλογή
 ακόμη.