

## ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΤΟ CERN – ΤΙ ΠΡΟΣΔΟΚΟΥΝ ΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ

Αστεροσκοπείο Πεντέλης, 16/11/2008  
Επιμέλεια: Μαρήνη Γιαννοπούλου

### **Μεγάλη Έκρηξη: η απαρχή των πάντων**

Κανείς δεν γνωρίζει πώς δημιουργήθηκε το σύμπαν. Υπάρχουν ενδείξεις ότι πριν από 15 έως 20 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου όλη η ύλη μαζί με την ενέργεια του Σύμπαντος βρισκόταν πυκνά συγκεντρωμένη σε αφάνταστα υψηλή θερμοκρασία και ότι υπέστη μία πρωταρχική έκρηξη, αναφερομένη συνήθως ως η *Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang)*, συνοδευόμενη από πολύ ισχυρή έκλυση ακτινοβολίας υψηλής συχνότητας, που την ονομάζουμε *αρχέγονη πύρινη σφαίρα*. Το Σύμπαν είναι τα υπολείμματα αυτής της εκρήξεως και το βλέπουμε διαστελλόμενο. Η ακτινοβολία από τις πυρακτωμένες στάχτες της αρχέγονης πύρινης σφαίρας διαπερνά τώρα όλο το Διάστημα με την μορφή των μικροκυμάτων μεγάλου μήκους κύματος, τα οποία παρατηρούμε σήμερα και των οποίων το μήκος αυξήθηκε εξ' αιτίας της διαστολής του Σύμπαντος.

(Paul G. Hewitt, «Οι Έννοιες της Φυσικής», τόμ. II, σελ. 311, εκδόσεις ΠΕΚ, 1997)

### **Επιδίωξη του πειράματος.**

Στόχος είναι η κατανόηση της δομής του Σύμπαντος. Για τον σκοπό αυτό επιδιώκεται η δημιουργία συνθηκών οι οποίες προσομοιάζουν με εκείνες που επικρατούσαν στις πολύ αρχικές φάσεις του Σύμπαντος, ώστε να παρατηρηθεί με ποιο τρόπο αυτό εξελίχθηκε στην σημερινή του μορφή.

Η επίτευξη της αρχικής φάσης είναι αδύνατον να γίνει με την υπάρχουσα τεχνολογία και τις αρχές πάνω στις οποίες βασίζεται η λειτουργία των επιταχυντών σήμερα. Είμαστε δε απελπιστικά μακριά από το σημείο αυτό με τα μόλις 14 TeV του μεγαλύτερου επιταχυντή που υπάρχει σήμερα (LHC).

Ακόμα και με τη χρήση των πιο προηγμένων επιταχυντών και με διαστάσεις όσο η γη, η ενέργεια τους θα αγγίξει μόλις τα ~20.000 TeV έναντι των 10.000.000.000.000 TeV που επικρατούσε τότε!

### **Η παρουσίαση.**

Στην προκειμένη παρουσίαση περιγράφεται συνοπτικά το επικρατούν θεωρητικό μοντέλο της Μεγάλης Εκρήξεως, και το πείραμα του CERN.

Για την ανάπτυξη όμως του θέματος αυτού, κρίνεται σκόπιμη μία μικρή εισαγωγή στα *Στοιχειώδη Σωματίδια*. Το τί γνωρίζουμε σήμερα για την δομή της γνωστής μας ύλης είναι αναγκαίο για την κατανόηση της συνέχειας της παρουσιάσεως.

## ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΑ

**Φερμιόνια και Μποζόνια.** Τα δύο είδη των βασικών σωματιδίων.

- Τα **Φερμιόνια** είναι τα βασικά σωματίδια που αποτελούν την ύλη και διακρίνονται σε **Λεπτόνια** και **Quarks**. Τα θεωρούμε *απλά* σωματίδια (δεν αποτελούνται από άλλα): όλα έχουν *spin* 1/2.  
Τα quarks δεν απαντούν ελεύθερα στην φύση.

Σωματρία	Συμβολισμός			Ιδιότητες
<b>Λεπτόνια</b>	$(e^-, \nu_e)$ ηλεκτρόνιο, ηλεκτρονικό νεutrίνο	$(\mu^-, \nu_\mu)$ μυόνιο, μυονικό νεutrίνο	$(\tau^-, \nu_\tau)$ ταυ, ταυ νεutrίνο	Δεν υπόκεινται στις ισχυρές αλληλεπιδράσεις.
<b>Quarks</b>	$(u^{+2/3}, d^{-1/3})$ up - down	$(c^{+2/3}, s^{-1/3})$ charm - strange	$(t^{+2/3}, b^{-1/3})$ top - bottom	Υπόκεινται σε όλες τις αλληλεπιδράσεις.

Υπάρχουν τα **αντισωματρία** των ανωτέρω. Πρόκειται για σωματρία με ίδια μάζα αλλά με αντίθετο φορτίο και αντίθετο spin.

Τα **λεπτόνια** διακρίνονται σε φορτισμένα:  $(e^-, \mu^-, \tau^-)$  και ουδέτερα: (τα αντίστοιχα νεutrίνα).

- Τα **μποζόνια** ( $W^\pm, Z^0$ , φωτόνιο, γλουόνιο) είναι οι φορείς των δυνάμεων.

		Σε ποιες αλληλεπιδράσεις υπόκεινται τα:		
Δύναμη: ↓ (αυξανόμενη ισχύος)	Φορείς δυνάμεων	Quark	Φορτισμένα Λεπτόνια	Ουδέτερα Λεπτόνια
Βαρυτική	Βαρυτόνιο μή παρατηρήσιμο	✓	✓	✓
Ασθενής (weak)	$W^\pm, Z$	✓	✓	✓
Ηλεκτρομαγνητική	Φωτόνιο ( $\gamma$ )	✓	✓	-
Ισχυρή (strong): (συγκρατούν τους δομικούς λίθους του πηρήνα.)	Γλουόνιο (g)	✓	-	-

Όλα τα σωματρία που έχουν μάζα υπόκεινται στην βαρυτική αλληλεπίδραση.

Τα νεutrίνα έχουν πολύ μικρή μάζα ηρεμίας.

Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη δρα σε ότι έχει ηλεκτρικό φορτίο.

Τα **μποζόνια** έχουν ακέραιο spin. Τα φωτόνια και τα γλουόνια δεν έχουν μάζα. Τα  $W^\pm, Z$  έχουν μάζα.

### Βαρυόνια και Μεσόνια.

Τα βαρύτερα σωματρία συντίθενται από τα quarks ( $q$ ) και τα antiquarks ( $\bar{q}$ ):

- Σωματρία με  $3q$  συνθέτουν ένα **βαρυόνιο**

Πχ.

Πρωτόνιο ( $p : uud$ ). Αποτελείται από δύο  $u$  και ένα  $d$ , γι' αυτό το φορτίο του είναι +1.

Νεutrόνιο ( $n : udd$ ). Αποτελείται από ένα  $u$  και δύο  $d$ , γι' αυτό το φορτίο του είναι 0

- Σωματρία με  $q\bar{q}$  συνθέτουν ένα **μεσόνιο**, το οποίο δεν είναι σταθερό. Spin: 0 ή 1.

Πχ.

Το  $\pi$  μεσόνιο:

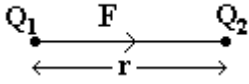
$$\pi^+ : u\bar{d}$$

$$\pi^- : \bar{u}d$$

- Τα βαρυόνια και τα μεσόνια καλούνται **αδρόνια**.
- Τα μεσόνια, επειδή έχουν ακέραιο spin, ανήκουν στα μποζόνια.

### Λίγα λόγια για τις δυνάμεις.

#### Κλασική Φυσική:

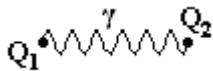


Έστω δύο ηλεκτρικά φορτία  $Q_1, Q_2$ . Στην κλασική φυσική, θεωρούμε ότι το ένα από τα δύο φορτία (πχ. το  $Q_1$ ) δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το πεδίο ασκεί δύναμη σε άλλο φορτίο  $Q_2$  που εισέρχεται εντός αυτού.

Δύο ακίνητα αρχικά, ομώνυμα φορτία θα αρχίσουν να απομακρύνονται το ένα από το άλλο, εφ' όσον δέχονται δυνάμεις ίσες και αντίθετες (Δράση-Αντίδραση).

**Σημείωση:** όταν σε ένα σώμα ασκείται δύναμη, μεταβάλλεται η ορμή του.  
(ορμή = μάζα × ταχύτητα)

#### Κβαντική Φυσική: Η αλληλεπίδραση γίνεται μέσω ανταλλαγής μποζονίων.



Καθώς το  $Q_1$  εκπέμπει ένα μποζόνιο (φωτόνιο) προς το  $Q_2$ , ανταλλάσσουν ενέργεια και ορμή.

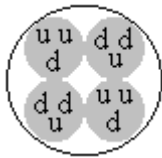
[Φανταστείτε δύο πατινέρ, αρχικά ακίνητους στον πάγο. Ο ένας κρατά μία μπάλα και την πετά στον άλλον. Καθώς πετά την μπάλα, αυτός γλιστρά προς την αντίθετη κατεύθυνση (όπως η κάνη ενός όπλου ανακρούεται κατά την έξοδο της σφαίρας από αυτήν). Όταν ο άλλος πιάσει την μπάλα θα σπρωχτεί από αυτήν και θα γλιστρήσει. Τελικά θα αρχίσουν να απομακρύνονται. Η μπάλα μεταφέρει ενέργεια και ορμή]

Με αυτόν τον μηχανισμό τα μποζόνια μεταφέρουν τις δυνάμεις.

#### Ισχυρές δυνάμεις.

Οι ισχυρές δυνάμεις διαχωρίζονται στις **θεμελιώδεις** (fundamental) και στις **υπολοίπες** (residual).

Στο σχήμα φαίνεται ο πυρήνας του ευγενούς αερίου ηλίου ( $He$ ): περιέχει  $2p$  και  $2n$ .



Τα quark εντός των πρωτονίων και νετρονίων συγκρατούνται με τις θεμελιώδεις ισχυρές δυνάμεις.

Τα πρωτόνια και νετρόνια εντός του πυρήνος συγκρατούνται με τις υπόλοιπες ισχυρές.

Οι θεμελιώδεις ισχυρές μεταφέρονται με τα **γλουόνια** (gluons).  
Οι υπόλοιπες με τα **μεσόνια**.

#### Μερικές πληροφορίες για τα φερμιόνια.

Για έναν άγνωστο (ακόμη) λόγο, η φύση έχει φτιάξει 3 ζεύγη λεπτονίων

$$\left\{ \left( e^-, \nu_e \right), \left( \mu^-, \nu_\mu \right), \left( \tau^-, \nu_\tau \right) \right\}$$

και 3 ζεύγη quark  $\left\{ \left( u^{+2/3}, d^{-1/3} \right), \left( c^{+2/3}, s^{-1/3} \right), \left( t^{+2/3}, b^{-1/3} \right) \right\}$

Οι μάζες των ζευγών αυξάνουν από αριστερά προς τα δεξιά.

Την μάζα την μετράμε με ενέργεια βάσει του τύπου  $E = m c^2$ .

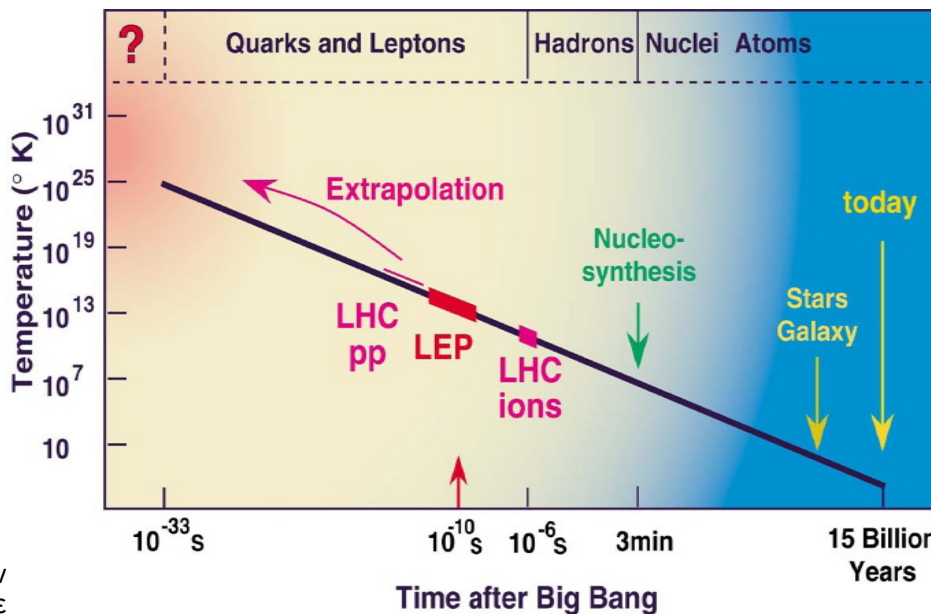
Μεγαλύτερη μάζα (ηρεμίας) σημαίνει μεγαλύτερη ενέργεια.

Ο λόγος που τα πρωτόνια και τα νετρόνια αποτελούνται από up και down είναι ακριβώς οι χαμηλές μας θερμοκρασίες. Τα άλλα quark έχουν παρατηρηθεί στους πυρηνικούς σταθμούς όπου επιταχύνονται σωμάτια σε υψηλές ενέργειες.

Κατά την δημιουργία του σύμπαντος υπήρχαν ισόποσα όλα τα σωμάτια. Καθώς όμως αυτό κρύωνε, η ασθενής δύναμη μετέτρεπε τα σωμάτια σε ελαφρύτερα, ώσπου φτάσαμε στα ηλεκτρόνια, up και down. Αυτό δεν σημαίνει ότι εξαφανίστηκαν τα άλλα. Απλώς υπάρχουν σε μέρη με κατάλληλες συνθήκες. (Στο εσωτερικό των άστρων ίσως, η ποσοστιαία αναλογία τους θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερη)

Οι **ασθενείς δυνάμεις** είναι υπεύθυνες για την ακτινοβολία β, την διάσπαση νετρονίου, την καύση του Ηλίου, τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των νετρίνων.

### Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΕΚΡΗΞΕΩΣ



Το αν  
επόμε

**ΕΠΟΧΗ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ.** Έως την χρονική στιγμή  $t \sim 10^{-43}$  sec.

- Η Μεγάλη Έκρηξη ξεκινά από ένα σημείο με άπειρη πυκνότητα ενέργειας. Αρχικά υπάρχουν 10 ή 11 διαστάσεις. Οι τέσσερις δυνάμεις είναι ενοποιημένες και έχουν την ίδια ένταση.



- Κυριαρχία της βαρύτητας σε μεγάλες αποστάσεις – εφ’ όσον η ύλη είναι ηλεκτρικώς ουδέτερη, οπότε και δεν εκδηλώνεται η ΗΜ δύναμη. Σχηματισμός γαλαξιών.
- Στο εσωτερικό των άστρων δημιουργούνται βαρέα στοιχεία (άνθρακας, οξυγόνο, σίδηρος). Ακόμα βαρύτερα στοιχεία κατά τις αστρικές εκρήξεις.
- Δημιουργία αστέρων «επομένης γενεάς» -αστέρες πληθυσμού Ι. Πρόκειται για τους αστέρες όπου φιλοξενούν γύρω τους πλανήτες. Στα πλανητικά αυτά συστήματα αναζητείται η ύπαρξη ζωής.

**ΣΗΜΕΡΑ.  $t \sim 15$  δις έτη.**

- Σχηματισμός μορίων, χημικών ενώσεων.
- Σχηματισμός μορίου DNA. Εμφάνιση ζωής.

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

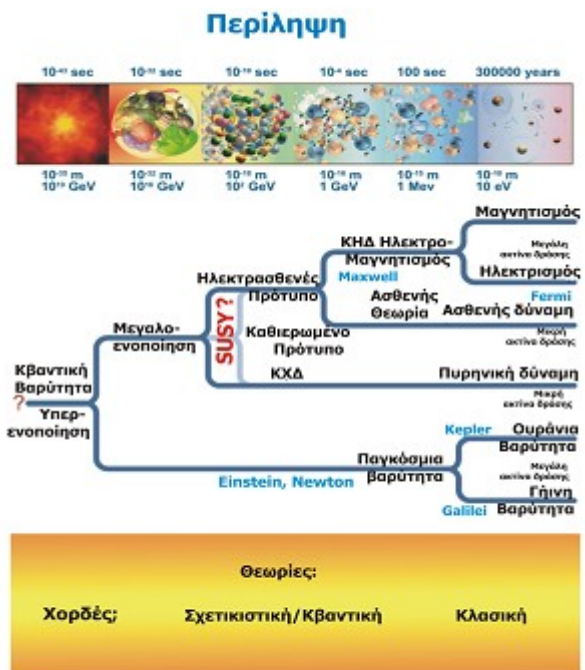
Μία περίληψη των ανωτέρω συνοψίζεται στο διπλανό σχήμα.

Καθώς περνάει ο χρόνος, οι δυνάμεις σταδιακά αποχωρίζονται και παύουν να είναι ισοδύναμες σε ισχύ.

Η Βαρυτικές και η ΗΜ δυνάμεις έχουν άπειρη εμβέλεια αλλά η πρώτη είναι κατά πολύ ασθενέστερη της δεύτερας.

Ομοίως, η Ασθενής και η Ισχυρή έχουν διαφορετική ένταση – όπως υποδηλώνει και το όνομά τους – αλλά διαφορετική εμβέλεα. Η Ισχυρή περιορίζεται αυστηρά και μόνο σε διαστάσεις της τάξεως του πυρήνα  $\sim 1$  fermi.

$$(1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m})$$



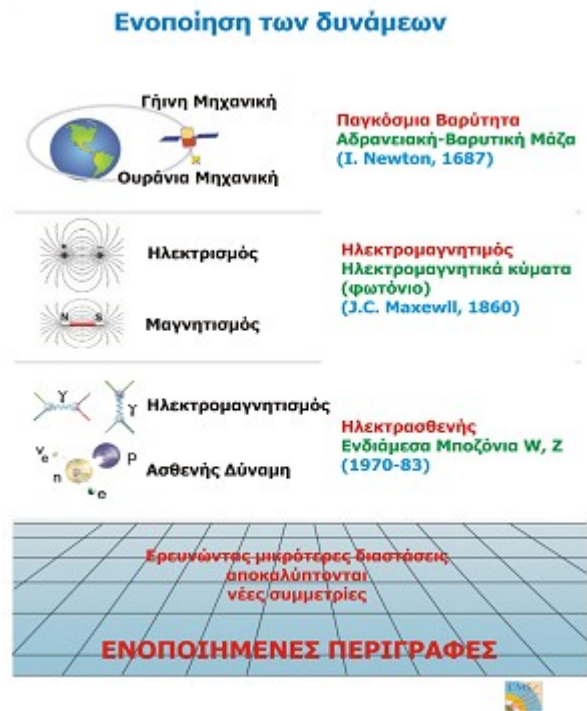
Ευχαριστούμε το CMS για την παραχώρηση των αφισών. Μετάφραση στα Ελληνικά: Α. Σπανού, Ν. Τράκας Ηλεκτρονική Επεξεργασία: Ν. Τράκας

Οι μεγάλοι πυρήνες (πχ. Ουράνιο) είναι ασταθείς γιατί έχουν αρκετά μεγάλες διαστάσεις, οριακές για την ισχυρή δύναμη. Δεν μπορεί να τον συγκρατήσει και διασπάται είτε με σχάση είτε με ακτινοβολία α (ανάλογα με τον πυρήνα)

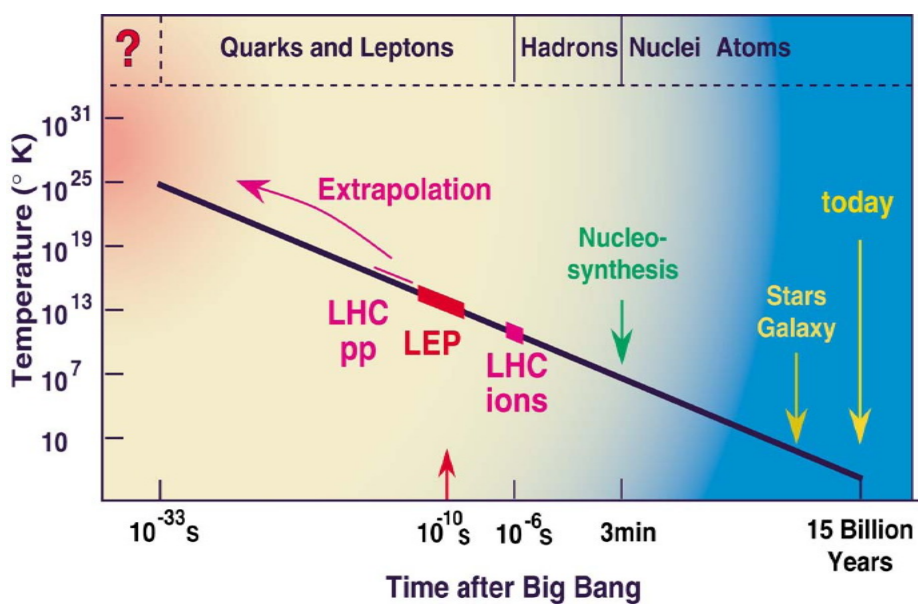
## ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ.

Η πορεία προς την ενοποίηση ήταν φυσικά αντίστροφη:

- Στα 1687 ο Newton διατυπώνει τον νόμο της **Παγκοσμίου Έλξεως**, ενοποιώντας την γήινη με την ουράνια βαρύτητα. (Η δύναμη που έλκει τα σώματα στην Γη είναι η ίδια με αυτήν που συγκρατεί τα ουράνια σώματα σε τροχιά.)
- Στα 1820 ο Hans Christian Oersted παρατήρησε την εκτροπή της μαγνητικής βελόνας από ηλεκτροφόρο σύρμα. Ήταν η πρώτη ένδειξη της σχέσεως μεταξύ ηλεκτρισμού και μαγνητισμού.
- Στα 1860 ο Maxwell απέδειξε θεωρητικά την ενοποίησή τους, διατυπώνοντας την **Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία**.
- Μεταξύ 1970-1983 ενοποιήθηκαν η ΗΜ με την Ασθενή δύναμη στην **Ηλεκτρασθενή**.



## ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ CERN



Στο Χοντρικά η πορεία του έχει ως εξής:

το πείραμα.

## ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΒΑΡΥΟΝΙΩΝ.

Σύγκρουση δεσμών πρωτονίων σε πολύ μεγάλες ενέργειες, ανάλογες αυτών που επικρατούσαν στις πρώτες στιγμές της δημιουργίας του Σύμπαντος (αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 100.000 μεγαλύτερη από αυτήν που επικρατεί στο εσωτερικό του Ηλίου).

Στόχος είναι να επέλθει διάσπαση των αδρονίων ώστε να ελευθερωθούν τα quark και τα γλουόνια που περικλείονται σε αυτά. Το πλάσμα quark-gluon που θα δημιουργηθεί, θα μελετηθεί καθώς θα ψύχεται, ώστε να διευκρινιστεί με ποιό τρόπο δίνει γένεση στα σωματίδια που αποτελούν σήμερα την ύλη.

## ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΝΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.

Εκτός των quark αναμένεται να παραχθούν κι άλλα σωματίδια, όπως λεπτόνια, το μποζόνιο Higgs που θεωρείται υπεύθυνο για την μάζα των σωματιδίων και το beauty quark το οποίο θα δώσει πληροφορίες για τις λεπτές διαφορές ύλης-αντιύλης.

Ίσως ακόμη και άγνωστα σωματίδια που δεν έχουν προβλεφθεί από την θεωρία.

Όλα τα παραγόμενα σωματίδια παρακολουθούνται από πολλούς ανιχνευτές και καταγράφεται λεπτομερέστατα η πορεία τους.

## ΑΠΟΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΚΡΥΜΜΕΝΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ.

Η διεξαγωγή του πειράματος σε αυτές τις υψηλές ενέργειες, φιλοδοξεί να αποκαλύψει τις κρυμμένες διαστάσεις. Η ξαφνική εξαφάνιση ενός σωματιδίου, υποδηλώνει την διαφυγή του δια μέσου των επιπλέον διαστάσεων. Αντίστοιχα η ξαφνική εμφάνιση ενός σωματιδίου υποδηλώνει την έξοδο του από τις αυτές.

Το ότι η βαρύτητα είναι η πιο ασθενής από όλες τις δυνάμεις, θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι το σωματίδιο-φορέας της, το βαρυτόνιο, *εκφεύγει δια μέσου των άλλων διαστάσεων, με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να νιώσουμε όλη την ισχύ της.*

## ΑΛΛΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ.

- Αναζήτηση τυχούσης δομής των quark.

Είναι όντως στοιχειώδη σωματίδια όπως τα θεωρούμε σήμερα ή αποτελούνται από άλλα;

- Κατανόηση της Σκοτεινής Ύλης και Σκοτεινής Ενέργειας.

Από παρατηρήσεις βρέθηκε ότι η περιστροφή των γαλαξιών είναι ταχύτερη της υπολογιζομένης βάσει της μετρούμενης ορατής τους ύλης. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχει επιπλέον μάζα, την οποία ονόμασαν *σκοτεινή* και αποτελεί το ~1/4 του Σύμπαντος. *Η μόνη αλληλεπίδραση με την γνωστή ύλη είναι η βαρυτική.*

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι ο ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος είναι αυξανόμενος, ενώ θα έπρεπε να είναι μειούμενος λόγω της βαρυτικής έλξης. (Ένα μπαλάκι εκτοξευόμενο προς τα πάνω μειώνει την ταχύτητά του λόγω της βαρυτικής έλξης της Γης. Αν αρχίσει να επιταχύνεται, σημαίνει ότι κάτι του δίνει ενέργεια εξουδετερώνοντας την έλξη). Υπάρχει μία μορφή ενέργειας η λεγομένη *σκοτεινή ενέργεια*, απλωμένη σε όλο το Σύμπαν που δίνει αυτήν την ώθηση και η οποία αποτελεί περίπου το 70% της ενέργειας του Σύμπαντος.

Με το πείραμα αυτό ευελπιστείται ότι θα καταστεί δυνατός ο προσδιορισμός της συστάσεως της σκοτεινής ύλης και της σκοτεινής ενέργειας.

- Τί απέγινε η αντιύλη;

Αρχικά, κατά την δημιουργία του Σύμπαντος, ύλη και αντιύλη ήταν ισόποσες. Αν και σήμερα συνέβαινε αυτό, θα αντιδρούσαν μεταξύ των και θα εξαυλώνοντο. Όμως υπάρχουμε! Για κάποιο λόγο έσπασε αυτή η συμμετρία και υπερτέρησε η ύλη. Τί απέγινε όμως η παραχθείσα αντιύλη;

### **Και μία διευκρίνηση για τις μαύρες τρύπες...**

Οι μαύρες τρύπες που δημιουργούνται στο σύμπαν προέρχονται από την κατάρρευση πολύ μαζικών άστρων –με μάζες > 10 ηλιακές. Η πυκνότητά τους είναι τεράστια. (η μάζα του Ηλίου θα περιοριζόταν σε ένα μπαλάκι του golf).

Εξ' αιτίας αυτής της μεγάλης πυκνότητας, η βαρυτική έλξη στην επιφάνειά τους είναι τόσο μεγάλη ώστε ούτε το φως δεν μπορεί να διαφύγει. Στην πραγματικότητα, όπως απέδειξε ο Hawking χάνουν μάζα δια μέσου μίας διαδικασίας εκπομπής ενέργειας.

Πιθανόν να δημιουργηθούν μικροσκοπικές μαύρες τρύπες κατά την διάρκεια των συγκρούσεων των αδρονίων, από την ενέργεια των συγκρούσεων αυτών. Επομένως οι ενέργειές τους (= πυκνότητές τους) θα είναι πάρα πολύ μικρές με αποτέλεσμα το βαρυτικό τους πεδίο να μην είναι ικανό να απορροφήσει την γύρω μάζα. Επομένως θα διαλυθούν αμέσως, αφού θα χάνουν ενέργεια χωρίς να απορροφούν μάζα.

Εάν το LHC μπορεί να δημιουργήσει μαύρες τρύπες, τότε η κοσμική ακτινοβολία που είναι πολύ υψηλότερης ενέργειας, θα είχε δημιουργήσει πολύ περισσότερες στην διάρκεια των 4,5 δις ετών ζωής της Γης. Αφού ακόμη υπάρχουμε, σημαίνει ότι δεν συντρέχει λόγος ανησυχίας!