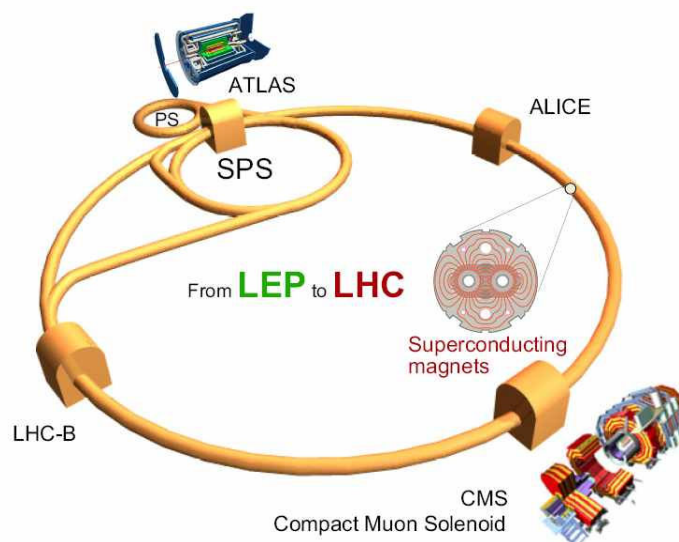


Δύο λόγια για το CERN:



European Organization for Nuclear Research



Το CERN είναι το Ευρωπαϊκό Εργαστήριο, το μεγαλύτερο κέντρο για τη Φυσική στοιχειωδών σωματιδίων στον κόσμο. Όταν ιδρύθηκε στη Γενεύη της Ελβετίας το 1954 από 12 ευρωπαϊκές χώρες, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα, ήταν ένας από τους πρώτους οργανισμούς προς την κατεύθυνση της διευρωπαϊκής ένωσης και συνεργασίας. Σήμερα, απαρτίζεται όχι μόνο από τα 20 κράτη-μέλη της ΕΕ (βασικά μέλη), αλλά ταυτόχρονα συμμετέχουν ενεργά οι ΗΠΑ, Ινδία, Ισραήλ, Ρωσία, Ιαπωνία, Τουρκία και η UNESCO. Πρόκειται για ένα πανανθρώπινο εγχείρημα, που ως βασικό αντικείμενο ερευνών του ήταν και είναι τα στοιχειώδη σωματίδια, οι δομικοί λίθοι που απαρτίζουν την ύλη, όπως και οι δυνάμεις που τα διέπουν. Δηλαδή έργο του CERN είναι η καθαρή επιστήμη, η διερεύνηση των πλέον θεμελιωδών ερωτημάτων για τη Φύση: Τι είναι η ύλη; Από πού προέρχεται; Πως συγκρατείται για να σχηματίσει άστρα, πλανήτες και ανθρώπινα όντα;

Το Εργαστήριο βρίσκεται πάνω στα Γαλλοελβετικά σύνορα, δυτικά της Γενεύης, στους πρόποδες της οροσειράς Ζουρά (Jura). Γύρω στους 6500 επιστήμονες, δηλαδή σχεδόν το 50% των επιστημόνων σ' όλο τον κόσμο που ασχολούνται με τα σωματίδια, χρησιμοποιούν τις εγκαταστάσεις του CERN. Οι επιστήμονες αυτοί εκπροσωπούν 500 πανεπιστήμια και πάνω από 80 εθνικότητες.

Στο CERN βρίσκεται ο μεγαλύτερος και ακριβότερος επιταχυντής σωματιδίων που έχει κατασκευαστεί ποτέ, ονομάζεται LHC («Large Hadron Collider»-Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων) και όπως και τα 4 εργαστήρια - πειράματα που επίσης κατασκευάζονται –ATLAS, CMS, ALICE και LHCb–, αποτελεί μερικά από τα πιο αξιόλογα «μνημεία» της επιστήμης των ημερών μας. Οι ενέργειες (= ταχύτητες = θερμοκρασίες) στις οποίες θα φτάσει το LHC δεν έχουν επιτευχθεί ποτέ μέχρι σήμερα.

Οι επιταχυντές σωματιδίων χρησιμοποιούνται για τη μελέτη των μικρότερων συστατικών της ύλης. Επιταχύνουν σωματίδια σε τεράστιες ενέργειες και κατόπιν τα αναγκάζουν να συγκρουστούν, με αποτέλεσμα την παραγωγή πληθώρας νέων σωματιδίων.

Η διάσημη εξίσωση του Einstein $E=mc^2$ δείχνει ότι η ενέργεια (E) μπορεί να μετατραπεί σε μάζα (m), όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό ($c=3 \cdot 10^8$ m/s) . Για την κατασκευή ακόμη και μιας μικρής μάζας απαιτείται πολύ υψηλή συγκέντρωση ενέργειας. Όσο ισχυρότερος είναι ο επιταχυντής, τόσο υψηλότερη είναι η ενέργεια της σύγκρουσης και τόσο βαρύτερα τα σωματίδια τα οποία μπορούν να δημιουργηθούν.

Μερικά εντυπωσιακά στοιχεία:

- Ο LHC είναι εγκατεστημένος σε ένα κυκλικό τούνελ μήκους 27 χλμ. (26.659 m) σε βάθος 100 μέτρων (μέγιστο 175 m – ελάχιστο 50 m), το οποίο όταν κατασκευάστηκε τα δύο άκρα συνέπεσαν με ακρίβεια 1 cm.
- Το κόστος κατασκευής μόνο του επιταχυντή ξεπέρασε τα 3 δισεκατομμύρια ευρώ.
- Η Ελλάδα καταβάλλει το 1,5% του προϋπολογισμού του CERN και είναι τυπική στις υποχρεώσεις της. Όμως δεν παίρνει πίσω τα οφέλη που της αναλογούν γιατί ενώ καταβάλλει τα 10 εκατ. ευρώ της συνδρομής δε δίνει το ένα ακόμα που απαιτείται για τη διεξαγωγή πειραμάτων από τις ελληνικές επιστημονικές ομάδες.
- Η Ελλάδα συμμετέχει σε τρία από τα πειράματα του LHC: ALICE, ATLAS και CMS.
- Σε πλήρη ισχύ οι δέσμες των πρωτονίων θα εκτελούν 11.245 περιστροφές το δευτερόλεπτο κινούμενα με το 99,99% της ταχύτητας του φωτός στο κενό.
- Κάθε πρωτόνιο της δέσμης θα αποκτά κινητική ενέργεια 7 TeV, οπότε θα συγκρούονται μετωπικά με την εκπληκτική ενέργεια των 14 TeV (1 TeV είναι περίπου η ενέργεια ενός κουνουπιού που πετάει. Ο LHC συγκεντρώνει 14 TeV σε ένα χώρο περίπου 1.000.000.000.000 φορές μικρότερο από αυτό του κουνουπιού). Επίσης, θα επιταχυνθούν στον LHC δέσμες ιόντων μολύβδου, οι οποίες θα συγκρουσθούν με ενέργεια της τάξης των 1150 TeV.
- Η συνολική ενέργεια κάθε δέσμης πρωτονίων θα είναι περίπου 350 MJ (Μέγα Τζάουλ), η οποία είναι περίπου ίση με την κινητική ενέργεια ενός τραίνου 400 τόνων το οποίο ταξιδεύει με ταχύτητα 150 km/h. Αυτή η ενέργεια μπορεί να λειώσει 500 kg χαλκού.
- Η κάθε δέσμη πρωτονίων θα αποτελείται από 2.808 δεσμίδες και κάθε δεσμίδα θα περιέχει $1,15 \cdot 10^{11}$ πρωτόνια. Κάθε δεσμίδα θα έχει μήκος μερικά εκατοστά αλλά η διατομή της θα είναι μερικά μm^2 (τετραγωνικά μικρά).
- Οι δεσμίδες θα απέχουν μεταξύ τους περίπου 7 μέτρα, απόσταση που θα καλύπτουν σε 25 nsec ($1 \text{ nsec} = 10^{-9} \text{ sec}$).
- Κάθε δέσμη θα μπορεί να περιστρέφεται για δέκα ώρες καλύπτοντας μία απόσταση δέκα δισεκατομμυρίων χιλιομέτρων, αρκετή για να ταξιδέψει με επιστροφή μέχρι τον Ποσειδώνα.
- Με σκοπό την αποφυγή συγκρούσεων μεταξύ των σωματιδίων της δέσμης και ατόμων αερίου ο σωλήνας της δέσμης θα βρίσκεται σε κενό της τάξης των 10^{-13} atm , δέκα φορές μικρότερη πίεση από την πίεση στην επιφάνεια της Σελήνης.
- Η θερμοκρασία στην "περιοχή" της σύγκρουσης των δεσμών θα είναι 100.000 φορές μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία στον πυρήνα του Ηλίου, με αποτέλεσμα να είναι ένα από τα θερμότερα σημεία του Γαλαξία μας.

- 9.593 υπεραγώγιμοι ηλεκτρομαγνήτες θα συγκρατούν τις δέσμες σε τροχιά. Οι ηλεκτρομαγνήτες θα "προψυχθούν" στους $-193,2^{\circ}\text{C}$ (80 K) χρησιμοποιώντας 10.080 τόνους υγρό άζωτο πριν ψυχθούν στους $-271,3^{\circ}\text{C}$ (1,9 K) με 120 τόνους υγρού ηλίου, θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτή του Διαστήματος (2,7 K).
- Το ήλιο υγροποιείται, σε ατμοσφαιρική πίεση, περίπου στους -269°C (4,2 K) ενώ περίπου στους -271°C (2,17 K) μετατρέπεται σε υπερευστό.
- Τα υπεραγώγιμα καλώδια νιοβίου-τιτανίου (Nb-Ti) που αποτελούν το σπείρωμα των ηλεκτρομαγνητών έχουν μήκος 7.600 km. Τα καλώδια αυτά είναι κατασκευασμένα από λεπτά σύρματα με πάχος 0,007 mm, δέκα φορές λεπτότερα από μια ανθρώπινη τρίχα. Εάν απλωθεί το σύρμα αυτό καλύπτει την απόσταση Γης - Ηλίου – Γης πέντε φορές και περισσεύει αρκετό για μερικούς γύρους γύρω από τη Σελήνη.
- Ρεύμα έντασης 11.700 Ampere θα διαρρέει τους ηλεκτρομαγνήτες δημιουργώντας μαγνητικό πεδίο έντασης 8,3 Tesla.
- Υπεραγωγοί υψηλής θερμοκρασίας θα μεταφέρουν ένα συνολικό ρεύμα 2.300.000 A από σταθμούς ισχύος στους μαγνητικούς κρυοστάτες.
- Η ισχύς που θα καταναλώνει ο LHC θα είναι 120 MW (όλο το CERN 230 MW), περίπου όσο καταναλώνει το Καντόνι της Γενεύης. Λειτουργώντας 270 ημέρες τον χρόνο (θα κλείνει το χειμώνα) εκτιμάται ότι θα καταναλώνει 800.000 MWh το χρόνο με κόστος περίπου 19.000.000 ευρώ.
- 150 εκατομμύρια αισθητήρες θα παίρνουν μετρήσεις 40 εκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο ανιχνεύοντας 600 εκατομμύρια συγκρούσεις πρωτονίων το δευτερόλεπτο.
- Μετά το φιλτράρισμά τους θα αποθηκεύονται για ανάλυση τα δεδομένα από περίπου 100 εκατομμύρια συγκρούσεις το δευτερόλεπτο, με ρυθμό 700 Mbyte/sec.
- Ο LHC θα δίνει ετησίως το 2% της παγκόσμιας παραγωγής δεδομένων.
- Κάθε χρόνο (από τα 15 χρόνια προγραμματισμένης λειτουργίας) θα αποθηκεύονται περίπου 15.000.000 GB (=15 PB) δεδομένων. Εάν αυτά εγγράφονταν σε CDs και τοποθετούνταν το ένα πάνω στο άλλο θα δημιουργούσαν μία στήλη ύψους 20 km, διπλάσιο από του Έβερεστ, κάθε χρόνο.
- Για την επεξεργασία των δεδομένων έχει δημιουργηθεί η 2^η γενιά του Internet, που προς το παρόν, αξιοποιείται μόνο από το ακαδημαϊκό προσωπικό, γνωστή με το όνομα Τεχνολογία Πλέγματος, Grid. Υπολογιστές σε κάθε γωνιά του πλανήτη θα επεξεργάζονται, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, δεδομένα δημιουργώντας έναν υπερυπολογιστή.
- Με τους προηγούμενους επιταχυντές, είχαμε πετύχει πυκνότητα ενέργειας ίση με αυτή που είχε το πρώιμο Σύμπαν 1 sec μετά τη Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang).

Ο LHC θα δημιουργήσει συνθήκες που μπορεί να φτάσουν έως και 10^{-25} sec μετά τη Μεγάλη Έκρηξη όταν το Σύμπαν είχε θερμοκρασία 10^{17}°C .

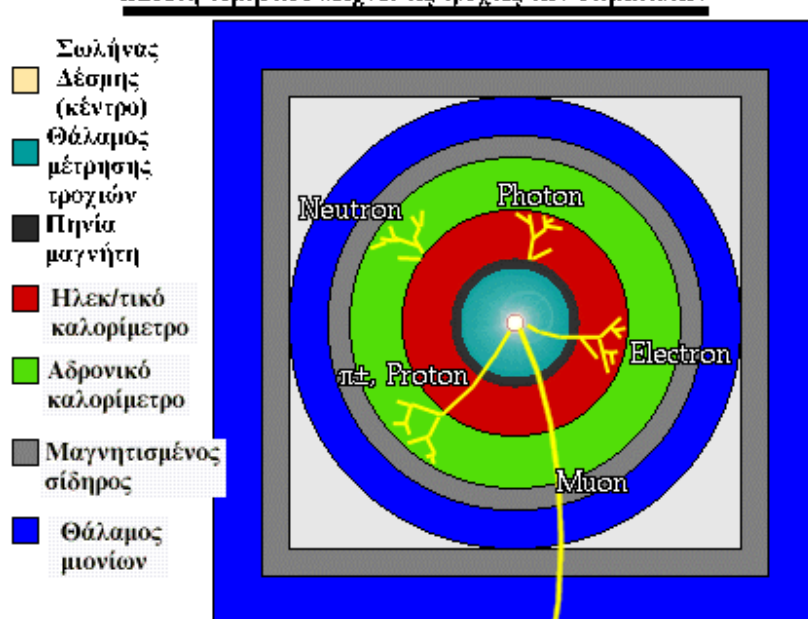
Οι ανιχνευτές:

Ο σκοπός των ανιχνευτών στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων είναι να προσδιορίσουν τις τροχιές, τις γωνίες σκέδασης, την ενέργεια και την ταυτότητα των παραγόμενων σωματιδίων. Οι σύγχρονοι ανιχνευτές σωματιδίων αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό επιμέρους ανιχνευτών διαφορετικών ειδών, από τους οποίους κάθε είδος έχει ένα καλώς καθορισμένο καθήκον στη διαδικασία ανίχνευσης. Οι επιστήμονες μπορούν να συμπεράνουν τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια μιας σύγκρουσης σωματιδίων συνδυάζοντας πληροφορίες από διαφορετικούς επιμέρους ανιχνευτές.

Αρχικά τρία είδη επιμέρους ανιχνευτών χρησιμοποιούνται στα πειράματα φυσικής στοιχειωδών σωματιδίων:

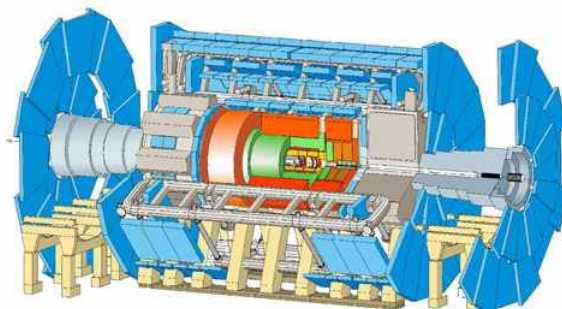
- Οι πιο κοντινοί στο σημείο σύγκρουσης είναι *ανιχνευτές τροχιάς* που φανερώνουν τις τροχιές και τις γωνίες σκέδασης φορτισμένων σωματιδίων.
- Εξωτερικά των ανιχνευτών τροχιάς βρίσκονται τα *θερμιδόμετρα (καλορίμετρα)* που μετρούν την ενέργεια τόσο των φορτισμένων όσο και των ουδέτερων σωματιδίων. Τα θερμιδόμετρα χωρίζονται περαιτέρω σε ηλεκτρομαγνητικά και αδρονικά θερμιδόμετρα, με τα ηλεκτρομαγνητικά να βρίσκονται πιο κοντά στο σημείο σύγκρουσης.
- Πιο μακριά από το σημείο σύγκρουσης βρίσκονται οι *ανιχνευτές μιονίων* που ταυτοποιούν τα μίονια.

Κάθετη τομή, που δείχνει τις τροχιές των σωματιδίων

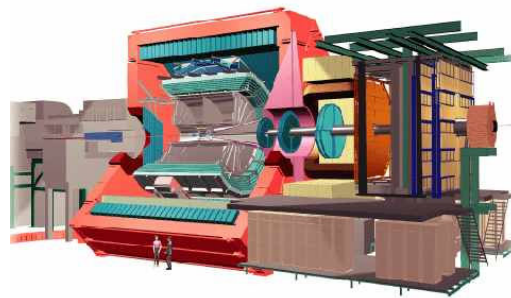


Στο CERN θα πραγματοποιηθούν έξι πειράματα, με τους αντίστοιχους ανιχνευτές. Δυο μεγάλης κλίμακας (ATLAS, CMS), δύο μεσαίας κλίμακας (ALICE, LHCb) και δύο μικρής κλίμακας (TOTEM, LHCf). Οι τέσσερις πρώτοι ανιχνευτές έχουν εγκατασταθεί σε ισάριθμες μεγάλες, υπόγειες αίθουσες γύρω από τον δακτύλιο του επιταχυντή (σχήμα 1^{ης} σελίδας). Ο ανιχνευτής TOTEM έχει εγκατασταθεί δίπλα στον CMS, ενώ ο LHCf δίπλα στον ATLAS.

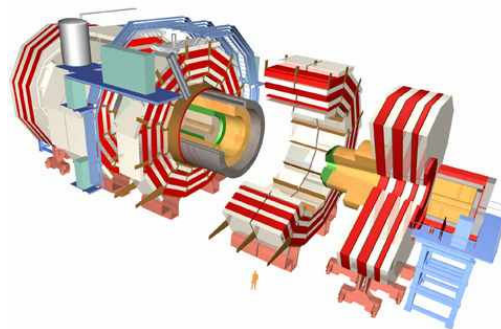
- Ο ανιχνευτής ATLAS (**A** Toroidal **L**HC **A**pparatu**S**) με πλάτος 20m, ύψος 20m, μήκος 46 m και βάρος 7.000 τόνους θα ανιχνεύσει τις συγκρούσεις πρωτονίου-πρωτονίου. Θα κάνει έρευνες για το μποζόνιο Higgs, τις έξτρα διαστάσεις και τα τυχόν υπερσυμμετρικά σωματίδια συστατικά της σκοτεινής ύλης. Στο πείραμα αυτό συμμετέχουν περισσότεροι από 1700 επιστήμονες από 159 Ινστιτούτα 37 χωρών, μεταξύ αυτών και η Ελλάδα (128 ανιχνευτές μιονίων από τους συνολικά 1.200 του φασματομέτρου μιονίων του ATLAS έχουν κατασκευαστεί στη Θεσσαλονίκη).



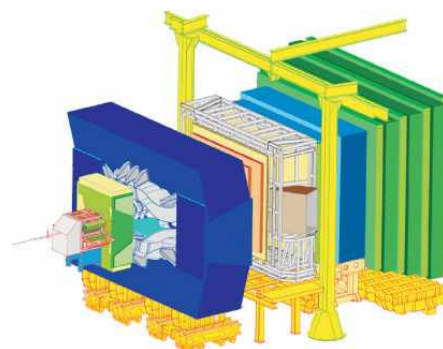
- Ο ανιχνευτής ALICE (**A** Large **I**on **C**ollider **E**xperiment) θα μελετήσει τις συγκρούσεις μεταξύ βαρέων ιόντων όπου αναμένεται να δημιουργηθεί η αρχέγονη κοσμική σούπα γκλουονίων-κουάρκ. Είναι μικρότερος από τον ανιχνευτή ATLAS (μήκος 26m - ύψος 16m - πλάτος 16m) και βάρος 10.000 τόνους. Οι συγκρούσεις αυτές θα δημιουργήσουν θερμοκρασίες πάνω από 100.000 φορές τη θερμοκρασία του πυρήνα του Ήλιου. Στο πείραμα αυτό συμμετέχουν περισσότεροι από 1000 επιστήμονες από 94 Ινστιτούτα 28 χωρών.



- Ο ανιχνευτής CMS (**C**ompact **M**uon **S**olenoid) με μήκος 21m, ύψος 15m, πλάτος 15m και βάρος 12.500 τόνους, θα κάνει παρόμοια πειράματα με αυτά του ATLAS αλλά με διαφορετικές τεχνικές αρχές. Ο ανιχνευτής CMS κτίστηκε γύρω από ένα τεράστιο σωληνοειδή μαγνήτη που η ένταση του είναι 4 tesla, περίπου 100.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή του μαγνητικού πεδίου της Γης. Στο πείραμα αυτό συνεργάζονται περισσότεροι από 2000 επιστήμονες από 155 Ινστιτούτα 37 χωρών.



- Ο ανιχνευτής LHCb (**L**arge **H**adron **C**ollider **b**eauty) με μήκος 21m, ύψος 10m, πλάτος 13m και βάρος 5.600 τόνους, θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε γιατί στο σύμπαν υπάρχει ύλη κι όχι αντιύλη. Οι ειδικοί θα ανακαλύψουν τη λεπτή διαφορά μεταξύ ύλης και αντιύλης μελετώντας ένα τύπο μεσονίου(τα μεσόνια αποτελούνται από ένα κουάρκ και ένα αντικουάρκ), που λέγεται B-μεσόνιο. Θα δημιουργηθούν πολλοί τύποι μεσονίων στον επιταχυντή LHC προτού αυτοί διασπαστούν γρήγορα σε άλλες μορφές. Στο πείραμα αυτό συμμετέχουν 650 επιστήμονες από 48 Ινστιτούτα 13 χωρών.



- Ο ανιχνευτής TOTEM (**T**OTal **E**lastic and diffractive cross section **M**easurement) με μήκος 440m, ύψος 5m, πλάτος 5m και βάρος 20 τόνους, θα μετρήσει το μέγεθος του πρωτονίου και τη φωτεινότητα του LHC. Για να το κάνει αυτό ο TOTEM πρέπει ανιχνεύσει σωματίδια που παράγονται πολύ κοντά στις δέσμες του LHC. Οι ανιχνευτές του θα στεγάζονται στις ειδικά σχεδιασμένες αίθουσες κενού αποκαλούμενες "ρωμαϊκά δοχεία"(Roman pots). Οκτώ "ρωμαϊκά δοχεία" θα τοποθετηθούν ανά ζευγάρια σε τέσσερις θέσεις κοντά στο σημείο σύγκρουσης του πειράματος CMS. Αν και τα δύο πειράματα είναι επιστημονικά ανεξάρτητα, το TOTEM θα συμπληρώσει τα αποτελέσματα του CMS αλλά και όλων των πειραμάτων του LHC. Στο πείραμα αυτό συνεργάζονται 50 επιστήμονες από 10 Ινστιτούτα 8 χωρών.
- Οι δύο ανιχνευτές LHCf (**L**arge **H**adron **C**ollider **f**orward) με μήκος 30cm, ύψος 80cm, πλάτος 10cm και βάρος 40 kg ο καθένας, θα χρησιμοποιεί τα σωματίδια που δημιουργούνται μέσα στο LHC σαν πηγή για να παραχθούν κοσμικές ακτίνες σε συνθήκες εργαστηρίου. Στο πείραμα αυτό συμμετέχουν 22 επιστήμονες από 10 Ινστιτούτα 4 χωρών.

Τι ψάχνουν να βρουν στο CERN:

- Το σωματίδιο Higgs

Στόχος της σύγχρονης φυσικής είναι να περιγράψουμε τις 4 δυνάμεις-αλληλεπιδράσεις με έναν ενιαίο τρόπο, σε μια ενοποιημένη θεωρία που θα τις εξηγήσει ως 4 διαφορετικές εκδηλώσεις μίας και μοναδικής δύναμης ή και να διαψεύσουμε αυτήν την προσδοκία. Γνωρίζουμε πειραματικά σήμερα ότι οι ηλεκτρομαγνητικές και οι ασθενείς πυρηνικές αλληλεπιδράσεις σε πολύ υψηλές ενέργειες συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο και είναι δυνατόν να περιγραφούν με μία “ενοποιημένη” θεωρία, την ηλεκτρασθενή. Ο “γρίφος” αυτής της θεωρίας βρίσκεται σήμερα στο μυστηριώδες σωματίδιο Higgs, που αρνείται πεισματικά να μας αποκαλυφθεί.

Η βαρύτητα μπορεί να ασκεί επιρροή πάνω στη μάζα των σωμάτων, αλλά μέχρι τώρα δεν έχει εξηγηθεί γιατί τα θεμελιώδη σωματίδια έχουν τη μάζα που έχουν. Αυτό που σε θεωρητικό επίπεδο το Καθιερωμένο Μοντέλο προβλέπει, αλλά πειραματικά δεν έχει διαπιστωθεί, είναι ότι τα σωματίδια, και άρα κάθε υλικό αντικείμενο, έχουν τη μάζα που έχουν επειδή τους τη δίνει ένα σωματίδιο, το σωματίδιο Higgs. Μεταξύ των πειραμάτων που θα γίνουν στο CERN και που θα διαρκέσουν 10 με 20 χρόνια, είναι να δούμε το σωματίδιο Higgs – αν υπάρχει και πόσα είναι.

Η θεωρία προβλέπει ότι όλα τα στοιχειώδη σωματίδια αποκτούν μάζα μέσω του λεγόμενου «μηχανισμού Higgs». Ολόκληρο το σύμπαν διαπερνάται από ένα «πεδίο Higgs», το οποίο σχετίζεται με ένα τουλάχιστον σωματίδιο που δεν έχει ακόμη ανιχνευθεί, το μποζόνιο Higgs ή σωματίδιο του Θεού. Σε αυτό το πλαίσιο, όλα τα σωματίδια της ύλης που γνωρίζουμε αποκτούν μάζα μέσω της αλληλεπίδρασης τους με αυτό το πεδίο. Δηλαδή, όσο περισσότερο αλληλεπιδρά ένα σωματίδιο με το πεδίο Higgs, τόσο μεγαλύτερη αντίσταση συναντά στην κίνηση του και κατά συνέπεια τόσο βαρύτερο είναι.

- Γιατί το Σύμπαν αποτελείται από ύλη

Να δούμε αν στην αρχή του σύμπαντος δημιουργήθηκαν κι άλλοι δομικοί λίθοι εκτός από αυτούς που ήδη γνωρίζουμε. Πού πήγε η αντιύλη που υπήρχε στο Σύμπαν; Υπάρχει η σκοτεινή ύλη και σε τι μορφή;

Μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, η οποία συνέβη πριν από 13,7 δισεκατομμύρια χρόνια παρήχθησαν σωματίδια ύλης και αντι-ύλης σε ίσες περίπου ποσότητες. Τούτο σημαίνει πως κάθε σωματίδιο (π.χ. πρωτόνιο) είχε το αντίστοιχο πανομοιότυπό του σωματίδιο (αντι-πρωτόνιο). Μεταξύ τους διαφέρουν μόνο ως προς το φορτίο που φέρουν (θετικό /αρνητικό). Στο σύμπαν μας δεν υπάρχει αντι-ύλη. Ο επιταχυντής του CERN λειτουργώντας ως χρονομηχανή που θα μας πάει πίσω στη στιγμή του Big Bang, θα προσπαθήσει να ρίξει φως στο μυστήριο της “εξαφάνισης” ερευνώντας εάν και πώς παραβιάστηκε αυτή η ισορροπία ύλης και αντιύλης.

Οι φυσικοί υποθέτουν ότι σχεδόν αμέσως μετά τη Μεγάλη Έκρηξη που δημιούργησε το σύμπαν θα πρέπει να υπήρξε μια ελάχιστη «αστάθεια» στη σχέση ύλης και αντιύλης, αφού διαφορετικά δε θα υπήρχε η ύλη που βλέπουμε γύρω μας. Η ασυμμετρία αυτή μεταξύ ύλης και αντιύλης θα μελετηθεί σε έναν από τους ανιχνευτές του LHC, σε μια προσπάθεια να κατανοηθεί γιατί το σύμπαν στο οποίο ζούμε αποτελείται από ύλη.

- Την ύπαρξη των χορδών

Η μεγαλύτερη πρόκληση για το Καθιερωμένο Μοντέλο είναι ότι δε συμφωνεί με τον άλλο πυλώνα της φυσικής και της κοσμολογίας, τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας. Η περίφημη θεωρία του Albert Einstein περιγράφει τη βαρυτική δύναμη, η οποία διέπει την εξέλιξη και δυναμική του σύμπαντος σε μεγάλη κλίμακα και έχει επαληθευτεί αναρίθμητες φορές με αστρονομικές παρατηρήσεις. Το πρόβλημα είναι ότι οι ηλεκτρομαγνητικές, οι ασθενείς και οι ισχυρές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχειωδών σωματιδίων - τα οποία θεωρούνται σημειακά - πραγματοποιούνται διαμέσου της ανταλλαγής των αντίστοιχων μποζονίων τους σε ένα σημείο του χωροχρόνου, με μηδενική απόσταση μεταξύ των σωματιδίων. Στην περίπτωση όμως των σωματιδίων - φορέων της βαρυτικής αλληλεπίδρασης, των λεγόμενων γκραβιτονίων, κάτι τέτοιο θα οδηγούσε μαθηματικό σε απειρισμούς, δηλαδή σε μη λογικό αποτελέσματα.

Μια θεωρητική λύση στο πρόβλημα είναι να δεχτούμε ότι οι μικρότεροι δομικοί λίθοι που συγκροτούν την ύλη δεν είναι σημειακά σωματίδια, αλλά μικρές μονοδιάστατες παλλόμενες χορδές. Αν είναι έτσι, τότε οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις δε λαμβάνουν χώρα σε ένα σημείο, αλλά σε ένα μικρό χώρο μη μηδενικού μήκους, γεγονός που οδηγεί σε μια πιο «λογική» κβαντική συμπεριφορά. Τα στοιχειώδη σωματίδια σε αυτή την περίπτωση δεν είναι τίποτε άλλο από τις «μουσικές νότες» που παράγουν οι παλλόμενες χορδές, ακριβώς όπως οι ήχοι στην κιθάρα παράγονται από την ταλάντωση των χορδών της.

- Υπερσυμμετρικά σωματίδια

Αρχικά, οι θεωρίες των χορδών αντιμετώπιζαν ένα σοβαρό πρόβλημα: Ενώ περιέγραφαν επαρκώς τα σωματίδια-φορείς των θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων, αδυνατούσαν να περιγράψουν τα στοιχειώδη σωματίδια που συγκροτούν την ύλη, αυτά που οι φυσικοί τα ονομάζουν όλα μαζί φερμιόνια. Όπως αποδείχθηκε εντέλει, για να μπορεί μια θεωρία των χορδών να συμπεριλαμβάνει και φερμιόνια στην περιγραφή του κόσμου, θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από μια ειδική συμμετρία, γνωστή ως υπερσυμμετρία (SUSY), σύμφωνα με την οποία σε κάθε μποζόνιο (σωματίδιο-φορέας μιας αλληλεπίδρασης) αντιστοιχεί ένα φερμιόνιο, και αντίστροφα. Με άλλα λόγια, κάθε σωματίδιο-φορέας και κάθε σωματίδιο ύλης έχουν ένα υπερσυμμετρικό σωματίδιο ως ταίρι. Κάπως έτσι, ο συνδυασμός της θεωρίας της υπερσυμμετρίας και των θεωριών των χορδών οδήγησε στις θεωρίες των υπερχορδών, οι οποίες αποτελούν σήμερα μια από τις πιο ελπιδοφόρες προσπάθειες ενοποίησης των τεσσάρων αλληλεπιδράσεων της φύσης, συμπεριλαμβανομένης και της βαρύτητας. Το μειονέκτημα τους είναι ότι προϋποθέτουν την ύπαρξη επιπλέον διαστάσεων.

Δυστυχώς όμως οι υπερχορδές - αν υπάρχουν - είναι αδύνατον να ανιχνευθούν, αφού οι ποσότητες ενέργειας που θα απαιτούνταν για κάτι τέτοιο είναι εξωπραγματικές για τις τεχνολογικές μας δυνατότητες. Εντούτοις, η θεωρία των υπερχορδών θα αποκτούσε ισχυρότερα ερείσματα αν ανιχνεύονταν τα υπερσυμμετρικά σωματίδια. Μέχρι σήμερα, κανένα υπερσυμμετρικό σωματίδιο δεν έχει ανιχνευθεί, και αυτό ίσως να οφείλεται στη μεγάλη μάζα τους.

Η ανακάλυψη υπερσυμμετρικών σωματιδίων ενδέχεται - ανάλογα βέβαια και με τη μάζα τους - να προηγηθεί της ανακάλυψης των μποζονίων Higgs, καθώς η θεωρία προβλέπει ότι υπερσυμμετρικά σωματίδια σχηματίζονται σχετικά συχνά όταν συγκρούονται πρωτόνια σε υψηλά ενεργειακά επίπεδα. Αν τώρα οι φυσικοί στον LHC ανακαλύψουν υπερσυμμετρικά σωματίδια και καταφέρουν να καθορίσουν τη μάζα τους, οι κοσμολόγοι θα μπορέσουν να εισαγάγουν τη νέα πειραματικά τεκμηριωμένη παράμετρο στα μοντέλα τους για το σύμπαν. Αν οι υπολογισμοί δείξουν ότι η μάζα των υπερσυμμετρικών σωματιδίων αντιστοιχεί στην προβλεπόμενη από τα κοσμολογικά μοντέλα σκοτεινή ύλη του σύμπαντος (η οποία αποτελεί το 23% της συνολικής μάζας του σύμπαντος), οι ερευνητές θα μπορούν να είναι πολύ πιο σίγουροι ότι η τελευταία αποτελείται όντως από υπερσυμμετρικά σωματίδια.

• Πόσες διαστάσεις έχει το Σύμπαν

Μια πιθανή τεκμηρίωση της ύπαρξης υπερσυμμετρικών σωματιδίων δε θα συνιστά βέβαια μια αδιάψευστη απόδειξη για τη θεωρία των υπερχορδών ως μια «θεωρία των Πάντων», αλλά δεν αποκλείεται το LHC να μπορέσει να προσφέρει μια πιο άμεση απόδειξη, η οποία θα βασίζεται στην πλέον εντυπωσιακή πρόβλεψη της θεωρίας: την ύπαρξη 10 ή 11 διαστάσεων. Με άλλα λόγια να υπάρχουν 6 ή 7 επιπλέον διαστάσεις πέρα από τις τέσσερις γνωστές (3 του χώρου και ο χρόνος).

Η επικρατέστερη ερμηνεία για το γεγονός ότι δεν μπορούμε να αντιληφθούμε αυτές τις επιπλέον διαστάσεις αφορά το ότι αυτές είναι συρρικνωμένες, και μάλιστα είναι πολύ μικρότερες ακόμη και από το μικρότερο δομικό λίθο της ύλης.

Μέχρι το 1998 περίπου, οι περισσότεροι θεωρητικοί φυσικοί πίστευαν ότι και οι τέσσερις αλληλεπιδράσεις της φύσης (βαρύτητα, ηλεκτρομαγνητική, ασθενής και ισχυρή πυρηνική δύναμη) δρουν παντού σε αυτό το σύμπαν των πολλαπλών διαστάσεων. Τότε όμως έγινε επίκαιρη μια ριζικά διαφορετική θεωρία, η οποία προέκυψε όταν οι Σάββας Δημόπουλος, Nima Arkani-Hamed και Gia Dvali υπέθεσαν ότι μόνο η βαρύτητα - και όχι οι άλλες αλληλεπιδράσεις - «γνωρίζει» την ύπαρξη των επιπλέον διαστάσεων.

Σύμφωνα με τη θεωρία που ανέπτυξαν, η ηλεκτρομαγνητική, η ισχυρή και η ασθενής αλληλεπίδραση, το σύμπαν στο οποίο ζούμε και η ύλη που περικλείει είναι όλα «παγιδευμένα» σε μια επιφάνεια τριών χωρικών διαστάσεων, γνωστή ως βράνη, και μόνο τα γκραβιτόνια, τα σωματίδια-φορείς της βαρυτικής αλληλεπίδρασης μπορούν να απομακρύνονται από αυτήν και να κινούνται στις υπόλοιπες διαστάσεις.

Πόσο μεγάλες όμως είναι αυτές οι επιπλέον διαστάσεις, που μόνο η βαρύτητα μπορεί να τις «δει»; Η θεωρία προβλέπει ότι όσο περισσότερες είναι οι επιπλέον διαστάσεις τόσο περισσότερο συρρικνώνονται. Στην περίπτωση που οι επιπλέον διαστάσεις είναι δύο, η κλίμακα στην οποία είναι συρρικνωμένες δεν υπερβαίνει τα 0,02 χιλιοστά περίπου.

Το ότι η «πύλη» προς τις ανώτερες διαστάσεις ίσως είναι πιο μεγάλη απ' όσο πίστευαν αρχικά οι επιστήμονες μπορεί να σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητο να φτάσουμε στο ενεργειακό επίπεδο της Μεγάλης Έκρηξης για να δούμε αν υπάρχει αυτό το «άνοιγμα», θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν, μάλιστα, ότι η πύλη μεταξύ του ορατού σύμπαντος και των ανώτερων διαστάσεων μπορεί να ανοίξει και σε ενέργειες που βρίσκονται εντός των δυνατοτήτων του LHC. Αν - κατά ανεξήγητο τρόπο - ενέργεια από συγκρούσεις μεταξύ πρωτονίων χαθεί στο άγνωστο, αυτό θα είναι μια ένδειξη για την ορθότητα της νέας εκδοχής της θεωρίας των βρανών, η οποία προβλέπει την ύπαρξη ανώτερων, κρυφών διαστάσεων.

• Γιατί υπάρχουν άστρα και γαλαξίες

Ο επιταχυντής LHC θα ρίξει επίσης φως σε ένα από τα μεγαλύτερα αινίγματα της κοσμολογίας, το γιατί γενικά υπάρχουν άστρα και γαλαξίες. Εδώ θα πρέπει να επιστρέψουμε ξανά στη Μεγάλη Έκρηξη. Κατά το πρώτο δευτερόλεπτο μετά τη γέννηση του το σύμπαν ήταν μια ταχύτατα διαστελλόμενη πύρινη σφαίρα, στην οποία η ακτινοβολία μετατρεπόταν σε ύλη και αντίστροφα. Όταν η ακτινοβολία μετατρέπεται σε ύλη, προκύπτουν ακριβώς ίσες ποσότητες σωματιδίων και αντισωματιδίων, αλλά στη Μεγάλη Έκρηξη θα πρέπει να δημιουργήθηκε ένα μικρό πλεόνασμα ύλης, αλλιώς το σύμπαν δε θα μπορούσε να υπάρξει. Κι αυτό γιατί, όταν ύλη και αντιύλη συναντώνται, τα σωματίδια τους αλληλοεξουδετερώνονται και μετατρέπονται σε ακτινοβολία γ. Συνεπώς, αν μετά τη Μεγάλη Έκρηξη είχαν παραχθεί ακριβώς ίσες ποσότητες σωματιδίων και αντισωματιδίων, αυτά θα είχαν αλληλοεξουδετερωθεί, αφήνοντας πίσω τους μόνο ακτινοβολία. Καθώς στη συνέχεια το νεαρό σύμπαν διαστελλόταν και γινόταν πιο ψυχρό, η ακτινοβολία θα εξασθενούσε και θα έχανε την

ικανότητα δημιουργίας νέων σωματιδίων, Το αποτέλεσμα θα ήταν ένα απέραντο κενό. Κανένα από τα δισεκατομμύρια άστρα του σύμπαντος δε θα είχε γεννηθεί.

Το λογικό συμπέρασμα είναι ότι η Μεγάλη Έκρηξη άφησε πίσω της ένα πλεόνασμα ύλης. Θεωρητικοί δε υπολογισμοί δείχνουν ότι στο πρώτο δευτερόλεπτο μετά τη Μεγάλη Έκρηξη σχηματίστηκαν ένα δισεκατομμύριο συν ένα σωματίδια ύλης για κάθε δισεκατομμύριο αντισωματίδια. Αυτό μπορεί να εξηγήσει γιατί όλα τα άστρα και οι γαλαξίες του σύμπαντος αποτελούνται από συνηθισμένα σωματίδια ύλης.

Το ότι τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης σχηματίστηκε πλεόνασμα σωματιδίων οφείλεται στο ότι τα σωματίδια είναι λίγο σταθερότερα από τα αντισωματίδια. Αυτό αποδείχθηκε σε πειράματα που έγιναν στο Εθνικό Εργαστήριο Brookhaven της Νέας Υόρκης το 1964. Οι φυσικοί μελέτησαν έναν τύπο βραχύβιων σωματιδίων που ονομάζονται K-μεσόνια ή καόνια. Αποτελούνται από ένα κουάρκ και ένα αντικουάρκ. Τα πειράματα δείχνουν ότι τα καόνια και τα αντικαόνια, σε σπάνιες περιπτώσεις, μπορούν να μετατραπούν τα μεν στα δε, κάτι που όμως συμβαίνει λίγο συχνότερα για τα αντικαόνια απ' ό,τι για τα καόνια. Μερικά χρόνια αργότερο, ο Ρώσος φυσικός Αντρέι Ζαχάροφ υποστήριξε ότι αυτή ακριβώς η ασυμμετρία είναι ο λόγος που από τη Μεγάλη Έκρηξη προέκυψε ένα πλεόνασμα ύλης.

Υπάρχει, ωστόσο, ένα πρόβλημα. Η μικρή διαφορά που μετρήθηκε στα καόνια δεν είναι αρκετή για να εξηγήσει το πλεόνασμα ύλης που παρατηρείται στο σύμπαν. Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια οι φυσικοί άρχισαν να μελετούν τα «μεγαλύτερα αδέρφια» των καονίων, τα B-μεσόνια, τα οποία διασπώνται με περισσότερους τρόπους. Στον LHC θα παραχθούν B-μεσόνια για να μπορέσουν να μελετηθούν καλύτερα.

• Η αρχέγονη σούπα του Σύμπαντος

Στον LHC δε θα γίνονται μόνο συγκρούσεις πρωτονίων, θα συγκρούονται και βαρέα ιόντα μολύβδου για να μπορέσουν οι φυσικοί να μελετήσουν λεπτομερώς την κατάσταση του σύμπαντος στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Λιγότερο από ένα νανοδευτερόλεπτο μετά τη δημιουργία του, το νεογέννητο σύμπαν διεστάλει, και από μέγεθος μικρότερο αυτού των υποατομικών σωματιδίων κατέλαβε μια έκταση πολλών χιλιομέτρων. Καθώς η διαστολή του συνεχιζόταν, η θερμοκρασία του εξακολουθούσε να υπερβαίνει τα 1.000 δισεκατομμύρια βαθμούς, και για μια στιγμή η ύλη υπήρχε υπό μορφή ελεύθερων κουάρκ μέσα σε μια «σούπα» από γκλουόνια - τα σωματίδια «συγκόλλησης» των νουκλεονίων, που λειτουργούν κι ως φορείς της ισχυρής πυρηνικής δύναμης ανάμεσα στα κουάρκ.

Μόλις 10 μικροδευτερόλεπτα αργότερα, το σύμπαν ψύχθηκε τόσο πολύ, που τα γκλουόνια δέσμευσαν τα κουάρκ, σχηματίζοντας πρωτόνια και νετρόνια, δηλαδή τους δομικούς λίθους των ατομικών πυρήνων. Από τότε, κανένα κουάρκ δεν παρέμεινε ελεύθερο στο ορατό σύμπαν.

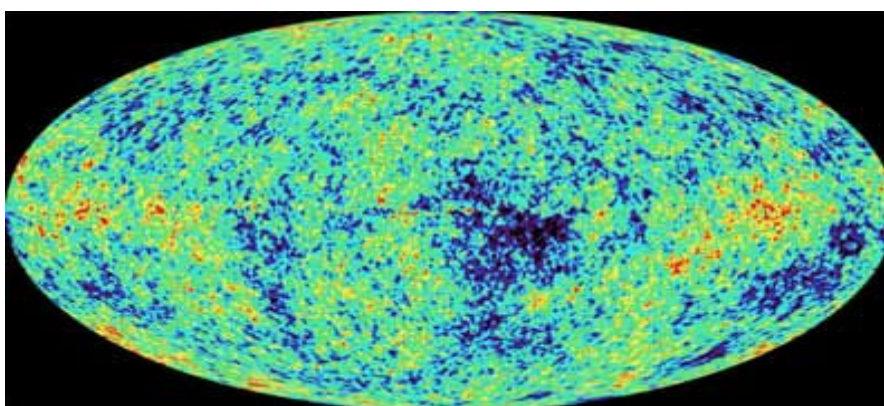
• Σκοτεινή ενέργεια

Μπορεί τελικά στον επιταχυντή να καταλάβουμε τη φύση της σκοτεινής ενέργειας ή της ενέργειας του κενού (η οποία αποτελεί το 73% της συνολικής μάζας του σύμπαντος), που είναι η αιτία της επιταχυνόμενης διαστολής του σύμπαντος. Μια δυνατότητα για τη σκοτεινή ενέργεια είχε εισαχθεί από τον Albert Einstein, που την ονόμασε "κοσμολογική σταθερά" λ. Η φύση της σκοτεινής ενέργειας είναι ένα ακόμη ένα μυστήριο.

Το άλλο μεγάλο "πείραμα"

Όσο και αν φαίνεται παράξενο οι θεωρίες της σύγχρονης σωματιδιακής φυσικής εκτός από τους επιταχυντές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μελέτη των μικρότερων συστατικών της ύλης, μπορούν να ελεγχθούν και από την αστρονομία, η οποία μελετά τις μεγαλύτερες δομές.

Το 2003 ένας δορυφόρος της NASA, ο WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) συνέλαβε την πιο παλιά και την καλύτερη εικόνα από την εποχή του Big Bang. Περιέχει τέτοια τρομακτική λεπτομέρεια που μπορεί να είναι ένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά αποτελέσματα των τελευταίων ετών. Οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν αυτό το δορυφόρο για να συλλάβουν το νέο Κοσμικό πορτρέτο, το οποίο αποκαλύπτει το λυκόφως της Μεγάλης Έκρηξης ή το Μικροκυματικό Κοσμικό Υπόβαθρο.



Ένας πλήρης Ουράνιος χάρτης του παλαιότερου φωτός στο Σύμπαν.

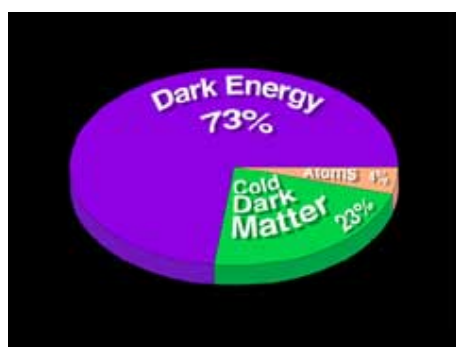
Η μικροκυματική ακτινοβολία που συνελήφθη σε αυτή την εικόνα είναι **380.000** χρόνια μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Αυτές οι χρωματικές μορφές είναι μικροσκοπικές διαφορές της θερμοκρασίας μέσα σε αυτό το εξαιρετικά ομοιόμορφο διασκορπισμένο φως μικροκυμάτων, μας δείχνουν τους σπόρους που γέννησαν την σημερινή κοσμική δομή, τα σημερινά σμήνη γαλαξιών ή τους μεγάλους γαλαξίες. Η θερμοκρασία αυτής της Κοσμικής Αρχέγονης Ακτινοβολίας υπολογίζεται κατά μέσο όρο τώρα 2.73 βαθμούς επάνω από την απόλυτη θερμοκρασία.

Το WMAP βρήκε τόσο μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο αρχέγονο Σύμπαν, που μεταβάλλονται μόνο κατά ένα εκατομμυριοστό του βαθμού Kelvin.

Τα δεδομένα του WMAP υποστηρίζουν και ενισχύουν τη θεωρία του Big Bang καθώς και τις θεωρίες του πληθωρισμού.

Τα δεδομένα του WMAP μας προσδιόρισαν και την ηλικία του σύμπαντος, που είναι **13.7** δισεκατομμυρίων ετών, με ένα σφάλμα περίπου 1%.



Το Σύμπαν αποτελείται από:

4% τη γνωστή μας ύλη.

23% το εξωτικό υλικό που είναι γνωστό σαν "ψυχρή σκοτεινή ύλη".

73% είναι ένα ακόμη πιο εξωτικό υλικό, η "σκοτεινή ενέργεια".

Τη φύση των δύο τελευταίων είναι πιθανό να ανακαλύψει ο LHC.

Η ιστορία των δυνάμεων (αλληλεπιδράσεων):

- Γήινη Βαρύτητα (Galileo Galilei 1589)
Ο Γαλιλαίος μελετά την ελεύθερη πτώση και διατυπώνει τους αντίστοιχους νόμους.
- Ουράνια Βαρύτητα (Kepler 1609)
Διατυπώνονται από τον Κέπλερ οι τρεις ομώνυμοι νόμοι, που περιγράφουν τις πλανητικές τροχιές.
- Ηλεκτρισμός (Coulomb 1784)
Μελετά τις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων και διατυπώνει τον αντίστοιχο νόμο.
- Μαγνητισμός (Oersted 1820)
Ο Δανός φυσικός H.C.Oersted δείχνει ότι ρευματοφόροι αγωγοί δημιουργούν μαγνητικά πεδία.
- Ασθενής Πυρηνική Δύναμη (Fermi 1934)
Ο Enrico Fermi διατυπώνει τη θεωρία της ασθενούς αλληλεπίδρασης, που μοιάζει με την ηλεκτρομαγνητική αλλά έχει πολύ μικρότερη εμβέλεια, για να εξηγήσει τη δημιουργία των νετρίνων.
- Ισχυρή Πυρηνική Δύναμη (Yukawa 1935)
Ο Ιάπωνας φυσικός Hideki Yukawa διατυπώνει μία θεωρία για την περιγραφή της ισχυρής αλληλεπίδρασης με σκοπό να εξηγήσει τη σταθερότητα των πυρήνων.
 - Η Κβαντική Χρωμοδυναμική (QCD) είναι η θεωρία που διατυπώθηκε το **1972** από τους Harald Fritzsch και Murray Gell-Mann για να εξηγήσει την ισχυρή αλληλεπίδραση.

Η Ενοποίηση των Αλληλεπιδράσεων:

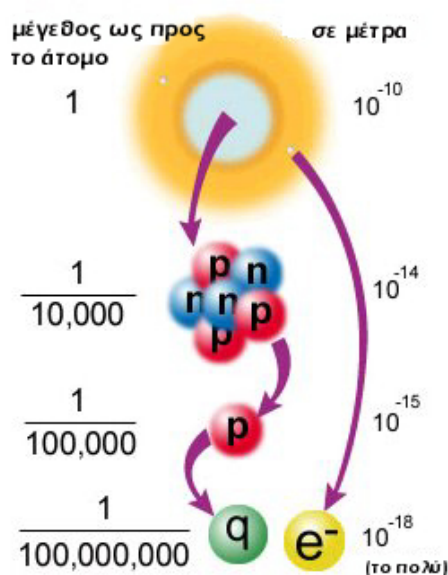
- Παγκόσμια Βαρύτητα (Newton 1687)
Ο Isaac Newton διατυπώνει τους τρεις νόμους της κίνησης και το νόμο παγκόσμιας έλξης. Η εργασία του δημοσιεύεται στο βιβλίο του "Principia" ("Αρχές"), που θεωρείται το σημαντικότερο βιβλίο Φυσικής, που γράφτηκε ποτέ.
 - Το **1905** διατυπώνεται η ειδική θεωρία της σχετικότητας από τον A. Einstein. Στα πλαίσια της θεωρίας αυτής ενοποιούνται ο χώρος με το χρόνο και η μάζα με την ενέργεια.
 - Το **1915** διατυπώνεται η «γενική θεωρία της σχετικότητας» από τον ίδιο. Πρόκειται για τη γενικευμένη θεωρία της βαρύτητας.
- Ηλεκτρομαγνητισμός (Maxwell 1865)
Ο Maxwell διατυπώνει τις τέσσερις εξισώσεις, που φέρουν το όνομά του, με τις οποίες κατόρθωσε να εκφράσει όλα τα φαινόμενα του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού.
 - Το **1948** Richard Feynman διατυπώνει τη θεωρία της Κβαντικής Ηλεκτροδυναμικής (QED), δηλαδή την κβαντική θεωρία για τον ηλεκτρομαγνητισμό.
- Ηλεκτρασθενής αλληλεπίδραση (Weinberg, Glashow και Salam 1967)
Ενοποιείται η ηλεκτρομαγνητική και η ασθενής αλληλεπίδραση στην ηλεκτρασθενή αλληλεπίδραση, από τους Steven Weinberg, Sheldon Glashow και Abdus Salam .



Η ιστορία των σωματιδίων:

- Άτομο (Λεύκιππος, Δημόκριτος 440 π.Χ.)
Ανέπτυξαν τη θεωρία ότι το σύμπαν αποτελείται από κενό χώρο και από έναν (σχεδόν) άπειρο αριθμό αόρατων σωματιδίων τα οποία δεν μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω και καλούνται άτομα.
- Άτομο (J. Dalton 1803)
Ο Άγγλος χημικός Jon Dalton συμπέρανε πως κάθε στοιχείο της φύσης αποτελούνταν από ένα μοναδικό τύπο σωματιδίου, το άτομο, και ότι διαφορετικά άτομα ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας χημικές ενώσεις.
- Ατομικό μοντέλο σταφιδόψωμου (Thomson 1897)
Ο J.J. Thomson, μετά την ανακάλυψη του ηλεκτρονίου το 1897, προτείνει ότι το άτομο είναι μια σφαίρα με ομοιόμορφα κατανεμημένο θετικό φορτίο μέσα στην οποία είναι εμφυτευμένα τα ηλεκτρόνια.
- Πλανητικό μοντέλο ατόμου (E. Rutherford 1911)
Ο Νεοζηλανδός φυσικός Ernest Rutherford προτείνει για το άτομο το πλανητικό μοντέλο, σύμφωνα με το οποίο το άτομο αποτελείται από τον πυρήνα (στον οποίο βρίσκεται σχεδόν όλη η μάζα και το θετικό φορτίο του) και τα ηλεκτρόνια τα οποία περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα, όπως οι πλανήτες γύρω από τον ήλιο.
- Ατομικό μοντέλο του N. Bohr (1913)
Ο Δανός φυσικός Niels Bohr επιτυγχάνει την σύνταξη μιας θεωρίας για τη δομή του ατόμου βασισμένη στις ιδέες των κβάντων, υποχρεώνοντας τα ηλεκτρόνια να περιστρέφονται σε καθορισμένες (επιτρεπόμενες) τροχιές.
- **1919:** Ο E. Rutherford βρίσκει την πρώτη απόδειξη για την ύπαρξη του πρωτονίου.
- **1925:** Ο W.K. Heisenberg εισηγείται την αντικατάσταση της τροχιάς του ηλεκτρονίου στο ατομικό μοντέλο, από την έννοια του τροχιακού.
- **1926:** Ο G.N. Lewis προτείνει το όνομα φωτόνιο για το κβάντο του φωτός.
- **1928:** Ο Paul Dirac συνδυάζει την κβαντομηχανική και την ειδική θεωρία της σχετικότητας για να περιγράψει το ηλεκτρόνιο με την ομώνυμη εξίσωση.
- Το 1930 υπάρχουν μόνο τρία στοιχειώδη σωματίδια: τα πρωτόνια, τα ηλεκτρόνια και τα φωτόνια. Ο Max Born δηλώνει "Σε έξι μήνες θα είναι το τέλος της Φυσικής που ξέρουμε".

- **1930:** Ο Wolfrang Pauli προτείνει την ύπαρξη του νετρίνο (η ύπαρξή του επαληθεύτηκε πειραματικά το 1956).
- **1930:** Προβλέπεται θεωρητικά από τον P. Dirac η ύπαρξη της αντιύλης. Το 1932 ανακαλύπτεται το ποζιτρόνιο από τον C.D. Anderson, το 1955 παρασκευάστηκε το αντιπρωτόνιο από τον G.E.Segre και τον O. Chamberlain, το 1956 ανιχνεύεται το αντineutrino και παρασκευάζεται το αντineutrino.
- **1932:** Ανακάλυψη του νετρονίου από τον James Chadwick.
- **1937:** Παρατηρούνται από πολλούς ερευνητές τα μίονια στην κοσμική ακτινοβολία.
- **1947:** Ανακαλύφθηκε στην κοσμική ακτινοβολία από τον C. F. Powell το σωματίδιο πιόνιο, που είχε αναφέρει στη θεωρία του ο Yukawa το 1935.
- **1952:** Πλήθος νέων αδρονίων (σωματιδίων που συμμετέχουν στην ισχυρή αλληλεπίδραση) ανακαλύπτονται. Η πληθώρα των νέων σωματιδίων, με παράξενες ιδιότητες, βάζει σε αμφισβήτηση την απλότητα περιγραφής των στοιχειωδών σωματιδίων. Αρχίζει εναγώνια αναζήτηση απλούστερης περιγραφής.
- **1961:** Ο M. Gell-Mann προτείνει τα κουάρκ (quarks), ως στοιχειώδη συστατικά των αδρονίων.
- **1974:** Ολοκληρώνεται η αντίληψη των φυσικών για το πλήθος και το είδος των λεπτονίων και των κουάρκ. Υπάρχουν 6 λεπτόνια και τα 6 αντισωματίδιά τους καθώς και 6 κουάρκ, κατανεμημένα σε τρία ζεύγη, καθώς και τα αντίστοιχα 6 αντικουάρκ.
- **Τέλη του 20ου αιώνα:** Διατυπώνεται η θεωρία του «Καθιερωμένου Προτύπου» (Standard Model), που είναι συνδυασμός της ηλεκτρασθενούς θεωρίας και της κβαντικής χρωμοδυναμικής, η οποία επιχειρεί να περιγράψει όλες τις συμπεριφορές των στοιχειωδών σωματιδίων, λεπτονίων και κουάρκ. Η επιτυχία του υπερβαίνει και τις πιο αισιόδοξες προβλέψεις.



Η εικόνα δείχνει ένα απλοποιημένο μοντέλο του ατόμου καθώς εισχωρούμε όλο και βαθύτερα μέσα του. Οι σχετικές διαστάσεις σε κάθε επίπεδο δεν είναι ρεαλιστικές.

Εάν τα πρωτόνια και τα νετρόνια είχαν διάμετρο 10 cm, τα κουάρκ και τα ηλεκτρόνια θα είχαν διάμετρο μικρότερη από 0,1 mm, ενώ όλο το άτομο θα είχε διάμετρο 10 km !!!
Περισσότερο από το 99,99% του ατόμου είναι κενός χώρος.

Το Καθιερωμένο Πρότυπο

Το Καθιερωμένο Πρότυπο συνοψίζει τη γνώση μας για τα στοιχειώδη σωματίδια, δηλαδή τι σωματίδια υπάρχουν και πώς αλληλεπιδρούν.

Υπάρχουν δύο ειδών σωματιδίων: σωματίδια ύλης και φορείς δυνάμεων.

Τα σωματίδια ύλης (φερμιόνια) είναι έξι κουάρκ και έξι λεπτόνια που διακρίνονται σε τρεις γενιές. Σε κάθε σωματίδιο ύλης αντιστοιχεί ένα αντισωματίδιο που έχει τις ίδιες ιδιότητες με το κανονικό σωματίδιο αλλά με αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο. Μόνο τα σωματίδια της πρώτης γενιάς (ηλεκτρόνιο, νεutrino του ηλεκτρονίου, άνω-up και κάτω-down κουάρκ) εμφανίζονται σήμερα στο σύμπαν. Και οι τρεις γενιές έπαιξαν σημαντικό ρόλο στο πρώιμο σύμπαν, αλλά από εκείνη την εποχή τα σωματίδια της δεύτερης και τρίτης γενιάς έχουν "διασπαστεί" σ' αυτά της πρώτης γενιάς, όμως δημιουργούνται στις συγκρούσεις σωματιδίων υψηλής ενέργειας που γίνονται στα διάφορα πειράματα.

Τα κουάρκ έχουν μάζα και φορτίο. Συνδυασμοί των κουάρκ συγκροτούν τα αδρόνια (π.χ. πρωτόνια και νετρόνια αποτελούνται από 3 κουάρκ). Τα λεπτόνια (π.χ. το ηλεκτρόνιο) είναι στοιχειώδη με την έννοια ότι δεν συγκροτούνται από άλλα σωματίδια. Υπάρχουν τρία αφόρτιστα και τρία φορτισμένα λεπτόνια. Τα ουδέτερα λεπτόνια είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευθούν.

Οι φορείς δυνάμεων (μποζόνια) είναι σωματίδια υπεύθυνα για τις αλληλεπιδράσεις (δυνάμεις) μεταξύ των σωματιδίων. Υπάρχουν τέσσερα είδη φορέων δυνάμεων: το φωτόνιο, τα γκλουόνια, τα ασθενή διανυσματικά μποζόνια και το γκαραβιτόνιο.

Το φωτόνιο είναι άμαζο και ουδέτερο στοιχειώδες σωματίδιο υπεύθυνο για την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση. Είναι η αλληλεπίδραση που ασκείται μεταξύ ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων.

Τα οκτώ γκλουόνια είναι υπεύθυνα για την ισχυρή αλληλεπίδραση που δρα μεταξύ των κουάρκ και οδηγεί στη συγκρότηση των αδρονίων.

Τα ασθενή διανυσματικά μποζόνια (W^+ , W^- και Z^0) είναι υπεύθυνα για την ασθενή αλληλεπίδραση και τον μετασχηματισμό του ενός σωματιδίου σε άλλο.

Το γκαραβιτόνιο είναι υπεύθυνο για την βαρυτική αλληλεπίδραση και δεν έχει ακόμα παρατηρηθεί. Το σωματίδιο Higgs δεν θεωρείται σωματίδιο ύλης ούτε φορέας δύναμης. Παρουσιάζεται στις εξισώσεις του Καθιερωμένου Προτύπου για να προσδώσει μάζα στα υπόλοιπα σωματίδια.

Οι επιστήμονες ελπίζουν να αποδείξουν την ύπαρξη του σωματιδίου Higgs με τον LHC.

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Λεπτόνια					
Ταυ		Ηλεκτρικό φορτίο -1	Νετρίνο Ταυ		Ηλεκτρικό φορτίο 0
Μιόνιο		-1	Νετρίνο Μιονίου		0
Ηλεκτρόνιο		-1	Νετρίνο Ηλεκτρονίου		0

Κουάρκ					
Χαμηλό		Ηλεκτρικό φορτίο -1/3	Υψηλό		Ηλεκτρικό φορτίο 2/3
Παράξενο		-1/3	Χαριτωμένο		2/3
Κάτω		-1/3	Άνω		2/3
Κάθε κουάρκ: ●R, ●B, ●G 3 χρώματα					

ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Ισχυρή	Ηλεκτρομαγνητική
Γκλουόνια (8)  Κουάρκ  Μεσόνια Βαρυόνια  Πυρήνας	Φωτόνιο  Άτομα Χημεία Ακτινοβολία Ηλεκτρονικά 
Βαρύτητα	Ασθενής
Γκαραβιτόνιο  Ηλιακό Σύστημα Γαλαξίες Μαύρες Τρύπες 	Μποζόνια (W, Z)  Διάσπαση νετρονίου Ακτινοβολία β Καύση του Ηλίου Αλληλεπιδράσεις νετρίνων 

