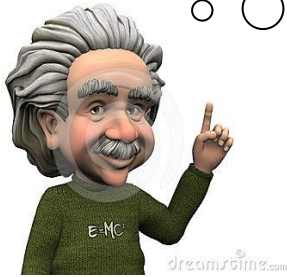


2ο ΛΥΚΕΙΟ ΑΛΙΜΟΥ



Το σύμπαν είναι σαν ένα τεράστιο ταχυδακτυλουργικό κόλπο και οι επιστήμονες προσπαθούν να καταλάβουν πώς το κάνει αυτό που κάνει.
Albert Einstein (1879-1955)

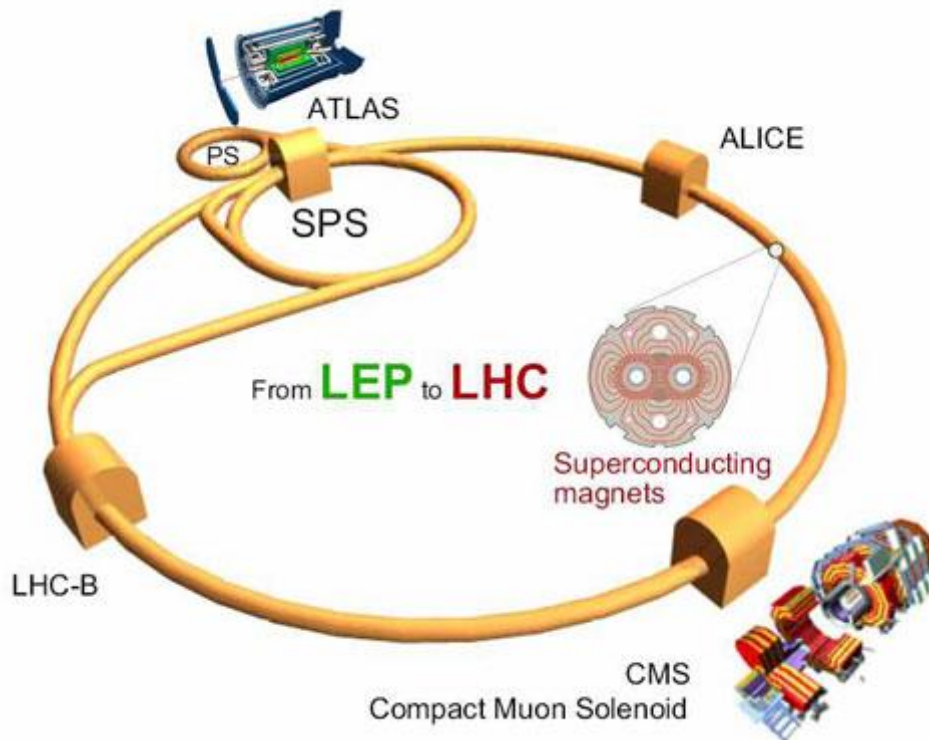
✧ **ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ**

✧ **ΕΠΙΤΕΥΓΜΑΤΑ ΤΟΥ CERN**

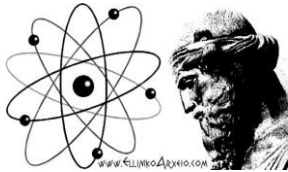
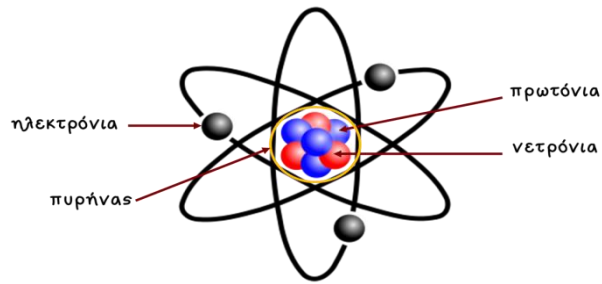
✧ **ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ HIGGS**
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ HIGGS

✧ **ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΥΛΗ**

1



1. ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΠΡΙΝ ΤΟΥΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ

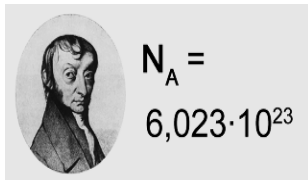


Η ατομική θεωρία της ύλης, σαν φιλοσοφική θεωρία τουλάχιστον, ξέρουμε ότι ξεκίνησε από τον **Λεύκιππο** και το **Δημόκριτο** (4^{ος} αιώνας π.χ.).

Υποστήριξαν ότι η ύλη αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια, τα οποία δεν μπορούν να διαιρούνται απεριόριστα και γι αυτό ονομάστηκαν **ά-τομα** (δηλαδή **άτμητα**). Η ατομική θεωρία του Δημόκριτου καταπολεμήθηκε από τον Πλάτωνα και τον Αριστοτέλη και τους μαθητές τους και έπεσε σε αφάνεια μέχρι το 19^ο αιώνα.



Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα ο Dalton επανέφερε την ατομική θεωρία για να εξηγήσει τους νόμους της Χημείας που ανακάλυψε πειραματικά.



Το 1811 ο Avogadro υποστηρίζει ότι τα αέρια αποτελούνται από μόρια, τα οποία προκύπτουν από τη σύνθεση ακόμη πιο μικρών δομικών συστατικών της ύλης.



Το 1869 ο Μεντελέγιεφ παρουσιάζει το Περιοδικό Πίνακα των χημικών στοιχείων.



Κατά το τέλος του 19^{ου} αιώνα (1897) ο Thomson ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο ως συστατικό του ατόμου και έδειξε ότι το άτομο έχει εσωτερική δομή και επομένως δεν είναι άτμητο.



Στη συνέχεια το 1911 ο Νεοζηλανδός φυσικός E. Rutherford προτείνει για το άτομο το **πλανητικό μοντέλο**, σύμφωνα με το οποίο το άτομο αποτελείται από τον πυρήνα, στον οποίο βρίσκεται σχεδόν ολόκληρη η μάζα και το θετικό φορτίο του ατόμου και τα ηλεκτρόνια, που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα, υπό την επίδραση της ηλεκτροστατικής έλξης.

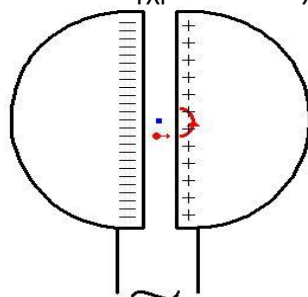
Ο Rutherford πιστώνεται γενικά με την ανακάλυψη του **πρωτονίου** (1918). Το **πρωτόνιο** είναι ένα από τα υποατομικά σωματίδια, που θεωρούνταν παλιότερα στοιχειώδες σωματίο, αλλά αργότερα βρέθηκε ότι έχει εσωτερική δομή. Ως νουκλεόνιο, είναι ένας από τους βασικούς δομικούς λίθους των πυρήνων των ατόμων. Επίσης κατατάσσεται στην κατηγορία των **αδρονίων**. (από την λέξη αδρός =δυνατός)

Το 1932, ο φυσικός Τζέιμς Τσάτουικ (Chadwick) στην Αγγλία πραγματοποίησε μια σειρά από πειράματα που είχαν ως αποτέλεσμα την ανακάλυψη του **νετρονίου**. Η ανακάλυψη των νετρονίων εκτός των άλλων, έδωσε την εξήγηση για την ύπαρξη των ισοτόπων.

2. Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΩΝ

Για να μελετήσουν τον πυρήνα και τις αλληλεπιδράσεις των πρωτονίων και των νετρονίων που τον αποτελούν, οι φυσικοί χρειάστηκαν ένα εργαλείο που θα μπορούσε να "δει" μέσα στον μικροσκοπικό πυρήνα, όπως ακριβώς τα πειράματα σκέδασης του Rutherford μπόρεσαν να "δουν" μέσα στο άτομο. Αυτό το εργαλείο είναι ο επιταχυντής, που παρέχει σωματίδια με πολύ μεγάλη ορμή και δίνει στους φυσικούς την δυνατότητα να μελετήσουν την υφή του πυρήνα.

Ο πρώτος επιταχυντής σωματιδίων κατασκευάστηκε από τον Ernest Lawrence (Λόρενς) το 1930. Ήταν το γνωστό **κύκλωτρο**, μια συσκευή επιτάχυνσης σωματιδίων που μαζί με το σύγχροτρο είναι οι πρόγονοι του σύγχρονου επιταχυντή.



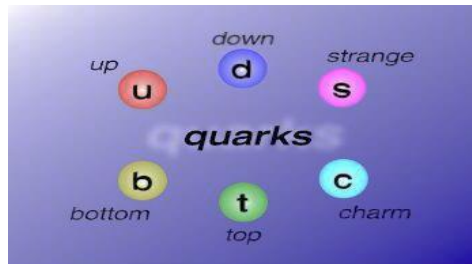
παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος

Το **σύγχροτρο** είναι επιταχυντική διάταξη, η οποία μπορεί να προσδώσει σε σωματίδια και πυρήνες ατόμων υψηλότερες ενέργειες από εκείνες που επιτυγχάνονται με άλλους επιταχυντές. Επινοήθηκε το 1945 από τον Σοβιετικό Β. Βέξλερ. Προορίζεται ιδιαίτερα για την επιτάχυνση των πρωτονίων και των ηλεκτρονίων..

3. Η Έκρηξη των Σωματιδίων

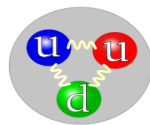
Προς έκπληξη των φυσικών, τα πειράματα στους επιταχυντές αποκάλυψαν ότι ο κόσμος των σωματιδίων ήταν πολύ πλούσιος. Πολλά είδη σωματιδίων παρόμοια με τα πρωτόνια και τα νετρόνια (ονομάζονται βαρυόνια) καθώς και μια καινούρια οικογένεια σωματιδίων, τα μεσόνια, ανακαλύφθηκαν. Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 περίπου εκατό τέτοια σωματίδια είχαν ταυτοποιηθεί αλλά οι φυσικοί δεν είχαν ακόμη καταλάβει τις θεμελιώδεις δυνάμεις.

4. Η Εισήγηση των quarks

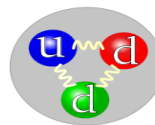


Το 1964, δύο φυσικοί οι **Murray Gell-Mann** (Μάρει Γκελ-Μαν: (Γεννήθηκε 15 Σεπτέμβρη 1929. Είναι ένας Αμερικανός φυσικός που έλαβε το 1969 το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για την εργασία του σχετικά με τη θεωρία των στοιχειωδών σωματιδίων) και **George Zweig** (Τζορτζ Τσβάιχ: Αμερικανός φυσικός ο οποίος εισήγαγε, ανεξάρτητα από Murray Gell-Mann , το μοντέλο των κουάρκ και που ο ίδιος ονόμασε «άσους»). είχαν την ιδέα ότι τα πρωτόνια, τα νετρόνια και όλα αυτά τα καινούρια σωματίδια θα μπορούσαν να εξηγηθούν από μια ομάδα ακόμη μικρότερων αντικειμένων που ο Gell-Mann ονόμασε **κουάρκ**. Μπόρεσαν να εξηγήσουν όλα τα βαρυόνια και τα μεσόνια που είχαν παρατηρηθεί με τρία είδη κουάρκ.

Σήμερα ονομάζονται **up (πάνω)**, **down (κάτω)**, και **strange (παράξενο)**-καθώς και τα αντικουάρκ τους. Το επαναστατικό μέρος της ιδέας τους είναι ότι έπρεπε να ορίσουν για τα κουάρκ ηλεκτρικό φορτίο $2/3$ και $-1/3$ του φορτίου του πρωτονίου. Τέτοιο κλασματικό φορτίο δεν είχε ποτέ παρατηρηθεί! Το 1968 στον επιταχυντή SLAC των ΗΠΑ αποδεικνύεται ότι το πρωτόνιο αποτελείται από τρία κουάρκ, δύο "πάνω"(up) και ένα "κάτω"(down).



ΠΡΩΤΟΝΙΟ



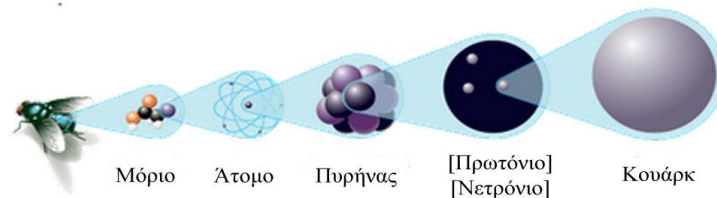
ΝΕΤΡΟΝΙΟ

4

5. Το Καθιερωμένο Πρότυπο

Σχεδόν τριάντα χρόνια μετά και αφού πραγματοποιήθηκαν πολλά πειράματα, η ιδέα των κουάρκ επιβεβαιώθηκε. Τώρα, αποτελεί μέρος του Καθιερωμένου Πρότυπου των Στοιχειωδών Σωματιδίων και Αλληλεπιδράσεων.

Νέες ανακαλύψεις απέδειξαν ότι υπάρχουν **έξι είδη κουάρκ** (που έχουν μάλιστα παράξενα ονόματα όπως **up (πάνω)**, **down (κάτω)**, **strange (παράξενο)**, **charm (χαριτωμένο)**, **bottom (χαμηλό)**, και **top (ψηλό)**, κατά αύξουσα σειρά σύμφωνα με την μάζα τους).



ΓΕΝΙΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

1^η ΓΕΝΙΑ:

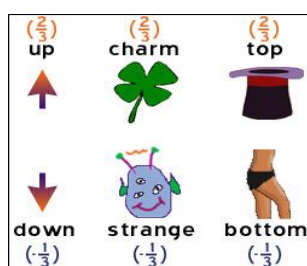
Μ' αυτά τα στοιχεία μπορούμε τώρα να περιγράψουμε όλη τη φύση, εμάς τους ίδιους, το σύμπαν ολόκληρο. Πράγματι, η σημερινή επιστήμη της δομής της ύλης, η ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ, χρειάζεται μόνο 4 βασικούς δομικούς λίθους για να χτίσει τον σημερινό κόσμο. Το άνω και το κάτω κουάρκ, το ηλεκτρόνιο και επιπλέον ένα πολύ παράξενο σωματίδιο, το νετρίνο.

2^η ΚΑΙ 3^η ΓΕΝΙΑ:

Παρόλο που τα τέσσερα αυτά σωματίδια σχηματίζουν την ύλη όλου του (σημερινού) σύμπαντος, στα πειράματα που γίνονται (και, όπως πιστεύουμε, επίσης κατά τα πρώτα δευτερόλεπτα της δημιουργίας του σύμπαντος), εμφανίζονται και άλλα σωματίδια που έχουν όμως εκπληκτικές ομοιότητες με τα τέσσερα που προαναφέραμε και που θα ονομάζουμε σαν 1η γενιά. Πράγματι λοιπόν, εμφανίζονται άλλες 2 γενιές σωματιδίων, η κάθε μια με 2 λεπτόνια και με 2 κουάρκ.

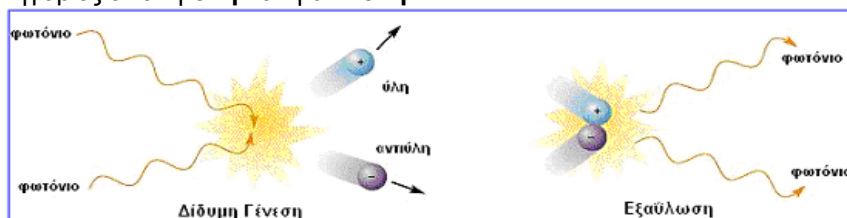
Στη 2η γενιά έχουμε το σωματίδιο μ και το δικό του νεutrίνο (διαφορετικό από αυτό της πρώτης γενιάς) για λεπτόνια καθώς και το γοητευτικό (charm) και το παράξενο (strange) κουάρκ με φορτία ακριβώς αντίστοιχα με τα σωματίδια της πρώτης γενιάς. Οι ομοιότητες συνεχίζουν και σε άλλες ιδιότητες εκτός από τη μάζα: η 2η γενιά είναι πιο βαριά από την 1η.

Στη 3η γενιά εμφανίζονται το σωματίδιο τ και το δικό του νεutrίνο για λεπτόνια και το υψηλό (top) και το χαμηλό (bottom) κουάρκ (κατ' άλλους κορυφή και πυθμένας). Και πάλι η 3η γενιά εμφανίζεται ακόμα πιο βαριά. **Είναι γεγονός ότι η ύπαρξη των 3 γενιών, με πανομοιότυπα χαρακτηριστικά, αποτελεί ένα από τα αναπάντητα ακόμα ερωτήματα της Φυσικής των Στοιχειωδών Σωματιδίων. Πάντως τα πειράματα συνηγορούν στην ύπαρξη 3 και όχι περισσότερων γενιών.**

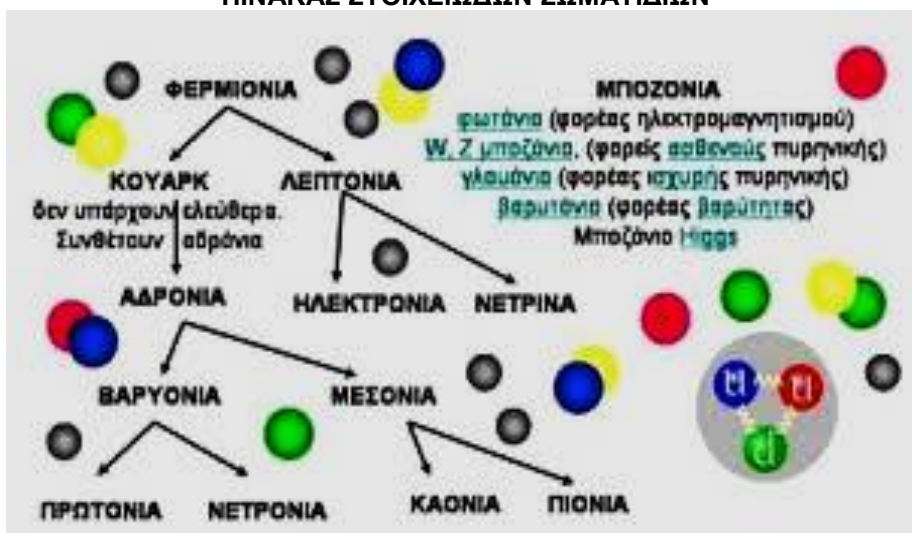


ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Για να διαχωρίσουμε τα σωματίδια μεταξύ τους έχουμε δημιουργήσει κάποιες κατηγορίες, όπου κατατάσσουμε ορισμένα απ' αυτά ανάλογα με τις ιδιότητες τους. Οι δύο πρώτες κατηγορίες είναι η **ύλη** και η **αντιύλη**.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ



Τα σωματίδια της ύλης αποτελούν όλο το σημερινό σύμπαν και τα **σωματίδια αντιύλης πρέπει να υπήρξαν στα πρώτα στάδια της δημιουργίας του σύμπαντος σε σχεδόν ίσες ποσότητες με αυτά της ύλης**. Υπολογίζεται δε, ότι κατά τη διάρκεια των αλληπάλληλων εξαυλώσεων εκείνη την περίοδο υπήρχαν λίγο περισσότερα σωματίδια ύλης τα οποία αποτελούν το σημερινό σύμπαν. Η πιο σημαντική διαφορά των σωματιδίων της ύλης με αυτά της αντιύλης είναι ότι έχουν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία και ίσες μάζες. Σωματίδια ύλης-αντιύλης μπορούν να σχηματιστούν από τις σφοδρές συγκρούσεις φωτονίων γάμμα και το αντίστροφο.

ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ και **ΜΠΟΖΟΝΙΑ** έκαναν την εμφάνισή τους στη Φυσική το 1945, ως «τέκνα» μιας πρότασης του Paul Dirac.

Τα **ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ FERMIONS** – λέξη δημιουργημένη από το όνομα του Enrico Fermi – είναι σωματίδια τα οποία υπακούουν στην κατανομή Fermi – Dirac . (**Παραδείγματα φερμιονίων είναι τα ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια, και quark.**) Τα **φερμιόνια** είναι τα σωματίδια της ύλης, υπακούουν στην απαγορευτική αρχή, έχουν κλασματικό spin κι έχουν μάζα.

Όλα τα στοιχειώδη σωματίδια – τα 6 λεπτόνια και τα 6 κουάρκ – ανήκουν στην οικογένεια των ΦΕΡΜΙΟΝΙΩΝ - FERMIONS. Στην οικογένεια των φερμιονίων δεν ανήκουν μόνο στοιχειώδη σωματίδια. **Το πρωτόνιο, λόγω χάρη, είναι φερμιόνιο , όπως και το νετρόνιο.**

Τρία φερμιόνια δημιουργούν την ύλη: Τα ηλεκτρόνια και τα κουάρκ up και down.

Τα **ΜΠΟΖΟΝΙΑ-BOSONS** – λέξη δημιουργημένη από το όνομα του Ινδού φυσικού S.N. Bose (Μποζέ) είναι τα σωματίδια που δεν υπακούουν στην απαγορευτική αρχή, είναι φορείς των τεσσάρων θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων, δεν έχουν μάζα (με εξαίρεση τα ασθενή μποζόνια, φορείς της ασθενούς πυρηνικής δύναμης) κι έχουν ακέραιο spin. Παραδείγματα μποζονίων είναι τα **W** και **Z** μποζόνια. Είναι τα στοιχειώδη σωματίδια που μεταδίδουν την ασθενή αλληλεπίδραση.

Το πρότυπο για την έννοια ΜΠΟΖΟΝΙΟ υπήρξε το ΦΩΤΟΝΙΟ. Όλα τα σωματίδια μεσολαβητές –φορείς - των τεσσάρων αλληλεπιδράσεων είναι ΜΠΟΖΟΝΙΑ.

Ένα παράδειγμα μποζονίου με μηδενικό spin είναι το σωματίδιο HIGGS, το οποίο προβλέπεται από το Standard Model. Το πεδίο Higgs στο οποίο αναφέρεται δεν είναι διανυσματικό πεδίο, είναι βαθμωτό, γι αυτό και το μποζόνιο HIGGS δεν είναι διανυσματικό μποζόνιο, χαρακτηρίζεται **scalar - βαθμωτό - μποζόνιο** με μηδενικό spin.

Τα φερμιόνια διαχωρίζονται σε άλλες δύο μεγάλες κατηγορίες: τα **κουάρκ** και τα **λεπτόνια**

Τα **κουάρκ (quarks)** θεωρούνται σήμερα βασικοί τύποι των στοιχειωδών σωματιδίων της ύλης από τα οποία αποτελούνται τα βαρυόνια (baryons) και τα μεσόνια (mesons). Μαζί με τα γκλουόνια, θεωρούνται τα μόνα στοιχειώδη σωματίδια που μπορούν και αλληλεπιδρούν ισχυρά.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ QUARKS

Γενιά	Ασθενές ισοτοπικό spin	Ονομασία	Σύμβολο	Φορτίο
1	+1/2	Up (πάνω)	u	+2/3
1	-1/2	Down (κάτω)	d	-1/3
2	-1/2	Strange (παράδοξο)	s	-1/3
2	+1/2	Charm (γοητευτικό)	c	+2/3
3	-1/2	Bottom (Beauty) (πυθμένας)	b	-1/3
3	+1/2	Top (Truth) (κορυφή)	t	+2/3

Τα **κουάρκ** υπόκεινται σε όλες τις δυνάμεις. Επειδή ακριβώς τα κουάρκ υπόκεινται εκτός των άλλων και στην ισχυρή πυρηνική δύναμη, βρίσκονται συγκροτημένα σε ενώσεις ,ενώ αντιθέτως τα λεπτόνια επειδή δεν υπόκεινται στην ισχυρή πυρηνική, αλλά στις άλλες τρεις βρίσκονται μεμονωμένα καθώς η ασθενής πυρηνική δεν τα επιτρέπει να σχηματίσουν πιο σύνθετα σωματίδια.

Τα quarks συνθέτουν αδρόνια. Τα αδρόνια ονομάστηκαν έτσι από την λέξη αδρός (=δυνατός). Είναι σύνθετα υποατομικά σωματίδια τα οποία αποτελούνται από κουάρκς και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- **βαρυόνια** (baryons): αποτελούνται από 3 κουάρκς (π.χ. το **πρωτόνιο** αποτελείται από 2 up και 1 down, ενώ το **νετρόνιο** από 2 down και 1 up,)
- **μεσόνια** (mesons): αποτελούνται από ζεύγος ενός κουάρκ (quark) κι ενός αντικουάρκ (antiquark) (π.χ. το πιόνιο αποτελείται από 1 up και ένα αντι-up). Τα **μεσόνια** είναι **μποζόνια**.

Τα μεσόνια διακρίνονται σε **καόνια** και **πιόνια**.













Τα **καόνια**, που ονομάζονται και K μεσόνια, είναι σύνθετα σωματίδια που αποτελούνται από ομάδες τεσσάρων ζευγαριών κουάρκ με αντικουάρκ, δέσμιων μεταξύ τους. Αποτελούν μια πολύ σημαντική πηγή πληροφοριών για τους φυσικούς, ενώ η μελέτη τους βοήθησε ουσιαστικά στη διατύπωση των θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων της φύσης. Το πιο ενδιαφέρον ίσως χαρακτηριστικό τους, είναι πως συμμετέχουν σε μία παραβίαση της συμμετρίας CP (Charge Parity violation).

Η συμμετρία CP είναι παρούσα σχεδόν σε όλες τις φυσικές διαδικασίες, και μέχρι τη δεκαετία του '60 οι φυσικοί πίστευαν πως ήταν θεμελιώδης αρχή της φύσης. Η ανακάλυψη πως τα καόνια την παραβαίνουν έγινε το 1964 και οδήγησε στο Νόμπελ Φυσικής το 1980.

Το 1947 ο Powell (Πάουελ) ανακαλύπτει το πιόνιο. **Πιόνιο** είναι οποιοδήποτε από τα εξής τρία υποατομικά σωματίδια: π^0 , π^+ και π^- . Τα πιόνια είναι τα ελαφρύτερα μεσόνια και παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην εξήγηση των χαμηλής ενέργειας ιδιοτήτων της ισχυρής πυρηνικής δύναμης.

Στην κατηγορία των **λεπτονίων** ανήκουν τα **ηλεκτρόνια**, τα **μιόνια**, τα **ταυ** και τα **αντίστοιχα νετρίνα τους**.

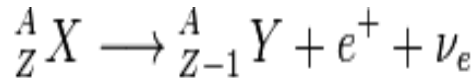
Αντίθετα με τα κουάρκ, το καθένα από τα έξι λεπτόνια μπορεί να βρεθεί μόνο του. Το **ηλεκτρόνιο** είναι το πιο γνωστό από τα λεπτόνια. Δύο ακόμη φορτισμένα λεπτόνια, το **μιόνιο** (Ανακαλύφθηκε το 1936) είναι στοιχειώδες σωματίδιο παρόμοιο με το ηλεκτρόνιο, με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο και ιδιοστροφορμή (spin) $1/2$) και το **ταυ** (ανακαλύφθηκε το 1975) διαφέρουν από το ηλεκτρόνιο μόνο στο ότι έχουν μεγαλύτερη μάζα.

	Κουάρκ		Λεπτόνια	
3 ^η Γενιά	 t Top	 b Bottom	 τ Tau	 ν_τ Tau-neutrino
2 ^η Γενιά	 c Charm	 s Strange	 μ Muon	 ν_μ Muon-neutrino
1 ^η Γενιά	 u Up	 d Down	 e Electron	 ν_e Electron-neutrino

Τα άλλα τρία λεπτόνια είναι πιο δυσκολοθώρητα και ονομάζονται **νετρίνο**, δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο και πάρα πολύ μικρή, αν όχι μηδέν, μάζα. Υπάρχει ένα είδος νετρίνο που αντιστοιχεί σε κάθε είδος φορτισμένου λεπτονίου. Για κάθε ένα από τα έξι λεπτόνια υπάρχει ένα αντιλεπτόνιο που έχει ίση μάζα και αντίθετο φορτίο.

Το 1956 ανιχνεύονται για πρώτη φορά **αντινετρίνα**.

Το **νετρίνο** είναι ένα αφόρτιστο και πολύ ελαφρύ σωματίδιο, του οποίου η ύπαρξη προτάθηκε από τον αυστριακό φυσικό Βόλφγκανγκ Πάουλι, ώστε να ισχύει η αρχή διατήρησης της ορμής και της ενέργειας στην ραδιενεργή εκπομπή ηλεκτρονίων από τον ατομικό πυρήνα, τη λεγόμενη β διάσπαση:



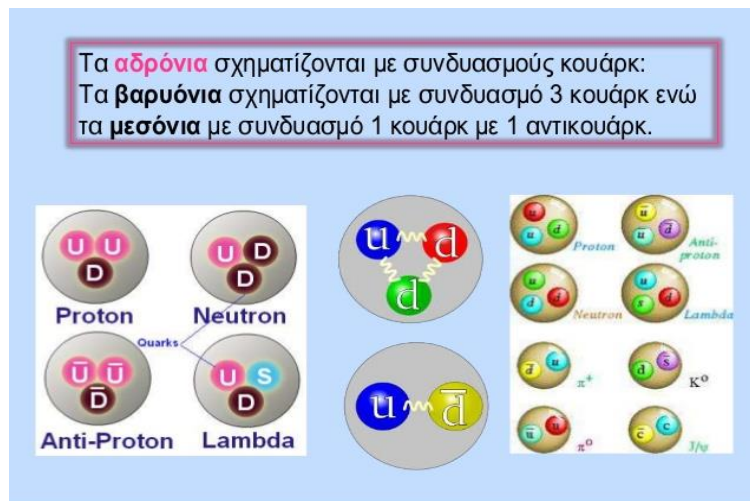
Τα **νετρίνα** παρατηρήθηκαν δεκαετίες μετά την πρόταση του Πάουλι. Πρόκειται για σωματίδια που αλληλεπιδρούν ασθενώς με την ύλη, συνεπώς είναι πολύ δύσκολο να παρατηρηθούν. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές πειραματικές διατάξεις, γνωστές ως "τηλεσκόπια νετρίνων", τοποθετημένες βαθιά μέσα σε εγκαταλειμμένα ορυχεία ή στον πυθμένα της θάλασσας (όπως το πείραμα «Νέστωρ» που διεξάγεται στην Πύλο), προκειμένου να μην επηρεάζονται από την κοσμική ακτινοβολία· καθώς τα νετρίνα δύσκολα εντοπίζονται, απαιτείται μια τέτοιου είδους "μόνωση" από άλλες αλληλεπιδράσεις, αλλά και το μεγάλο μέγεθος της πειραματικής διάταξης.

6. Τα Σωματίδια που αποτελούνται από Κουάρκ

Τα κλασματικά ηλεκτρικά φορτία των κουάρκ σίγουρα ανατρέπουν το αξίωμα που έχουμε μάθει σαν μαθητές του Γυμνασίου, το οποίο αναφέρει ότι όλα τα φορτία που παρουσιάζονται στη φύση είναι ακέραια πολλαπλάσια του φορτίου του ηλεκτρονίου. Το αξίωμα αυτό δεν καταρρίπτεται με τις παρατηρήσεις μας για τα φορτία των κουάρκ. Απλά πρέπει να συμπληρωθεί. Πράγματι **δεν παρατηρούνται ΕΛΕΥΘΕΡΑ σωματίδια στη φύση με φορτίο μη ακέραιο πολλαπλάσιο του ηλεκτρονίου**. Η προσθήκη της λέξης "ΕΛΕΥΘΕΡΑ" λοιπόν μας οδηγεί ότι τα κουάρκ δεν παρατηρούνται ποτέ ελεύθερα, αλλά πάντα σε κατάλληλους συνδυασμούς (όπως αυτούς του πρωτονίου και του νετρονίου) ώστε το συνολικό φορτίο να συμφωνεί με το αξίωμα. Υπεύθυνη για την λεγόμενη "σκλαβιά" (slavery) των κουάρκ είναι η κβαντική χρωμοδυναμική, η θεωρία που διέπει τις αλληλεπιδράσεις τους.

Ο λόγος που κλασματικά ηλεκτρικά φορτία όπως αυτά των κουάρκ δεν έχουν ποτέ παρατηρηθεί είναι επειδή τα κουάρκ δεν μπορούν ποτέ να βρεθούν μόνα τους παρά μόνο σε σύνθετα σωματίδια που ονομάζονται αδρόνια. Υπάρχουν δύο είδη αδρονίων : τα **βαρυόνια** που περιέχουν τρία κουάρκ και τα **μεσόνια** που περιέχουν ένα κουάρκ και ένα αντικουάρκ.

Σωματίδια που αποτελούνται από τα πρώτα πέντε είδη κουάρκ έχουν παραχθεί και παρατηρηθεί στους επιταχυντές. Επειδή το κουάρκ τύπου t (top) έχει τόσο μεγάλη μάζα χρειάστηκαν πολλά χρόνια και επιταχυντές με πάρα πολύ μεγάλη ενέργεια για να παραχθεί. **Το κουάρκ τύπου t ανακαλύφθηκε τον Απρίλιο του 1995 στο Fermilab.**



7. Δυνάμεις και Αλληλεπιδράσεις

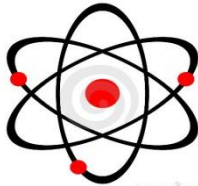
Τώρα ξέρουμε τα δομικά υλικά της ύλης, αλλά πρέπει επίσης να ρωτήσουμε: **Τι τα κρατά μαζί;** Όλες οι δυνάμεις οφείλονται στις υποκείμενες αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων.

Υπάρχουν τέσσερις αλληλεπιδράσεις: η βαρύτητα, η ηλεκτρομαγνητική, η ισχυρή και η ασθενής.

ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ			
ΕΙΔΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ (ΚΒΑΝΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ)	ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΙΣΧΥΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	-1	8 ΓΚΛΟΥΟΝΙΑ (ΑΜΑΖΑ)	ΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΥΡΗΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	$\sim 10^{-3}$	ΦΩΤΟΝΙΟ (ΑΜΑΖΟ)	ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	$\sim 10^{-5}$	ΜΠΟΖΟΝΙΑ Z, W ⁺ , W ⁻ (ΒΑΡΙΑ)	ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟ ΔΙΑΣΠΑΣΗ Β
ΒΑΡΥΤΗΤΑ	$\sim 10^{-38}$	ΓΚΡΑΒΙΤΟΝΙΑ (;)	ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ



Ίσως η **βαρύτητα** είναι η αλληλεπίδραση με την οποία είμαστε πιο εξοικειωμένοι, αλλά δεν συμπεριλαμβάνεται στο Καθιερωμένο Πρότυπο επειδή η επίδραση της στις σωματιδιακές αλληλεπιδράσεις είναι αμελητέα. Επιπλέον, οι φυσικοί δεν έχουν ακόμη βρει τον τρόπο που θα τους επιτρέψει να την συμπεριλάβουν στο Καθιερωμένο Πρότυπο.



Είμαστε επίσης εξοικειωμένοι με τις **ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις** που κρατούν τα ηλεκτρόνια συνδεδεμένα με τους πυρήνες και σχηματίζουν τα ηλεκτρικά ουδέτερα άτομα. Τα άτομα ενώνονται και σχηματίζουν μόρια ή κρυστάλλους λόγω των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων που οφείλονται στο φορτίο της υφής τους. Οι περισσότερες από τις δυνάμεις που συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή οφείλονται στις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις, όπως για παράδειγμα η **τριβή** που οφείλεται στην αντίσταση των ατόμων ή των ηλεκτρονίων να μετακινηθούν από την θέση ισορροπίας τους μέσα στο υλικό.

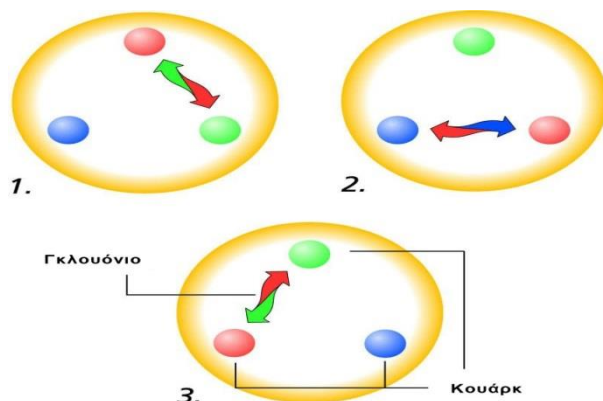
Στα σωματιδιακά φαινόμενα οι δυνάμεις περιγράφονται με την ανταλλαγή των σωματιδίων φορέων των δυνάμεων. Το **σωματίδιο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης είναι το φωτόνιο**. Το φωτόνιο που προέρχεται από πυρηνικές μεταπτώσεις ονομάζεται **ακτίνα γάμμα**.

Όλα τα χημικά φαινόμενα οφείλονται στα φωτόνια!!

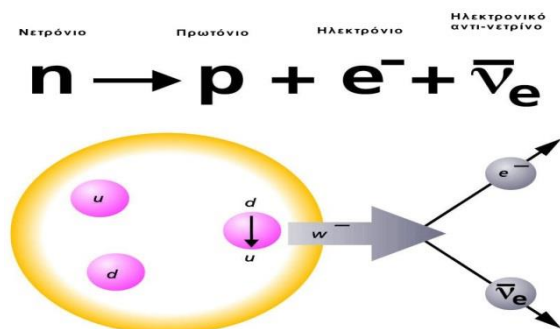
Για αποστάσεις μεγαλύτερες από το μέγεθος του πυρήνα του ατόμου οι εναπομένουσες δύο δυνάμεις έχουν αμελητέα επίδραση και γι' αυτό δεν τις προσέχουμε στην καθημερινή μας ζωή. Εξαρτόμαστε όμως από αυτές για την ύπαρξη όλων αυτών των υλικών από τα οποία είναι φτιαγμένος ο κόσμος καθώς και για τις διασπάσεις που κάνουν κάποιες μορφές της ύλης ασταθείς.

Η **ισχυρή δύναμη συνδέει τα κουάρκ για την δημιουργία των αδρονίων**. Τα σωματίδια φορείς της ισχυρής δύναμης που ονομάζονται **γκλουόνια** (από την αγγλική λέξη glue που σημαίνει κόλα-ανιχνεύτηκαν το 1979 στον επιταχυντή DESY στο Αμβούργο) "κολλούν" τα κουάρκ μεταξύ τους. Η δέσμευση των πρωτονίων και των νετρονίων για τον σχηματισμό του πυρήνα είναι αποτέλεσμα του φαινομένου της εναπομένουσας ισχυρής αλληλεπίδρασης επειδή τα πρωτόνια και τα νετρόνια περιέχουν τα κουάρκ και τα γκλουόνια

που αλληλεπιδρούν μέσω της ισχυρής δύναμης. Τα λεπτόνια δεν επηρεάζονται από τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις.



Το φαινόμενο κατά το οποίο ένα κουάρκ μπορεί να μετατραπεί σε ένα άλλο κουάρκ ή ένα λεπτόνιο σε ένα άλλο λεπτόνιο είναι το μόνο που οφείλεται στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις. Η λέξη "ασθενής" προέρχεται από το γεγονός ότι η έντασή της είναι περίπου 10¹³ φορές μικρότερη από την αντίστοιχη της ισχυρής αλληλεπίδρασης. Είναι υπεύθυνες για το γεγονός ότι τα βαρύτερα κουάρκ και λεπτόνια παράγουν ελαφρύτερα κουάρκ και λεπτόνια. Γι' αυτό τον λόγο η σταθερή ύλη γύρω μας αποτελείται μόνο από ηλεκτρόνια και τα δύο ελαφρύτερα είδη κουάρκ (τύπου u και d). Τα σωματίδια φορείς των ασθενών αλληλεπιδράσεων είναι τα μποζόνια W και Z (ανιχνεύτηκαν στον επιταχυντή CERN το 1983).



10

Η βήτα διάσπαση του νετρονίου είναι το πρώτο φαινόμενο οφειλόμενο στην ασθενή αλληλεπίδραση που παρατηρήθηκε: μέσα σ' ένα πυρήνα που υπάρχει αρκετή ενέργεια ένα νετρόνιο μετατρέπεται σ' ένα πρωτόνιο ελευθερώνοντας ένα ηλεκτρόνιο και ένα ηλεκτρονικό αντινεutrino. Αυτή η διάσπαση αλλάζει τον ατομικό αριθμό του πυρήνα. Το ηλεκτρόνιο που προέρχεται από αυτή την διάσπαση ονομάζεται ακτίνα βήτα.

Η ασθενής αλληλεπίδραση (συχνά αναφέρεται και ως ασθενής δύναμη ή ασθενής πυρηνική δύναμη) είναι μία από τις τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις της φύσης. Στο καθιερωμένο μοντέλο της σωματιδιακής φυσικής, γίνεται μέσω της ανταλλαγής των W και Z μποζονίων.

Η ασθενής πυρηνική δύναμη προέρχεται από την διάσπαση των μιονίων, που κατ' ουσία είναι τα βαρύτερα ξαδέλφια του ηλεκτρονίου, ένα από τα δομικά στοιχεία των ατόμων

Είναι η δύναμη που διέπει ορισμένες από τις αντιδράσεις που αναγκάζουν τον ήλιο μας να λάμπει!!

Η ασθενής πυρηνική δύναμη, βοηθά να μετατραπούν τα πρωτόνια σε νετρόνια μέσα στον ήλιο, ένα αναγκαίο βήμα για τη μετατροπή των πρωτονίων σε βαρύτερα στοιχεία, όπως το ήλιο. Είναι επίσης υπεύθυνη για την αποδέσμευση της ενέργειας στην ακτινοβολία που φθάνει στη Γη. Η ασθενής δύναμη έδρασε, επίσης, πριν από πολλά δισεκατομμύρια χρόνια και μέσα στις σουπερνόβα (Ο όρος **υπερκαινοφανείς αστέρες** ή **σουπερνόβα** αναφέρεται σε διάφορους τύπους εκρήξεων που συμβαίνουν στο τέλος της ζωής των αστέρων κατά τις

οποίες παράγουν εξαιρετικά φωτεινά αντικείμενα, αποτελούμενα από πλάσμα, (ιονισμένη ύλη) εκρήξεις για να φτιαχτούν στοιχεία όπως το οξυγόνο και ο άνθρακας, στοιχεία απαραίτητα για τη ζωή στη Γη.

Στα μποζόνια W,Z, και στα φωτόνια οφείλεται η αλλαγή ενός χημικού στοιχείου σε άλλο!!

Η ΙΣΧΥΣ ΤΩΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

Ας βάλουμε τώρα σε μια σειρά τις τέσσερις αλληλεπιδράσεις ανάλογα με την ισχύ τους. Ας πάρουμε την πιο ισχυρή από αυτές, την Ισχυρή Πυρηνική Αλληλεπίδραση.

Της δίνουμε αυθαίρετα ισχύ 1.

Ας συγκρίνουμε τις υπόλοιπες ως προς αυτήν.

Η **Ηλεκτρομαγνητική** είναι περίπου **100** (για πιο ακρίβεια **137**) φορές μικρότερη, ενώ η **Ασθενής Πυρηνική Δύναμη** είναι **100 000** φορές πιο ασθενής από τη **Ισχυρή**.

Για την **Βαρυτική Αλληλεπίδραση**, πραγματικά η ισχύς της είναι τραγικά μικρή: είναι **1038** (η μονάδα ακολουθούμενη από **38** μηδενικά!) φορές πιο ασθενής από την **Ισχυρή**. Γι' αυτό ακριβώς η βαρυτική αλληλεπίδραση δεν παίζει κανένα ρόλο στα πειράματα που γίνονται με στοιχειώδη σωματίδια. Την "σκεπάζουν" κυριολεκτικά οι άλλες αλληλεπιδράσεις. Το αποτέλεσμα είναι να μην μπορούμε να έχουμε από αυτά τα πειράματα στοιχεία για τη βαρυτική αλληλεπίδραση. Μόνο σε πειράματα όπου υπεισέρχονται τεράστιες μάζες (αστέρων ή γαλαξιών) έχουμε τη δυνατότητα να δούμε τα αποτελέσματα αυτής της αλληλεπίδρασης.

8. Ποιες είναι οι Αναπάντητες Ερωτήσεις;

Το Καθιερωμένο Πρότυπο με τα έξι είδη κουάρκ, τα έξι λεπτόνια και τις τέσσερις δυνάμεις δίνει απάντηση σε πολλές από τις ερωτήσεις σχετικά με την υφή και την σταθερότητα της ύλης.

Το Καθιερωμένο Πρότυπο όμως αφήνει πολλές ερωτήσεις αναπάντητες:

- **Γιατί υπάρχουν τρία είδη κουάρκ και λεπτόνια;**
- **Υπάρχει κάποιο πρότυπο για τις μάζες τους;**
- **Υπάρχουν, μήπως, περισσότερα είδη σωματιδίων και δυνάμεων που θα χρειαστεί ακόμη μεγαλύτερης ενέργειας επιταχυντές για να ανακαλυφθούν;**
- **Είναι τα κουάρκ και τα λεπτόνια στην πραγματικότητα θεμελιώδη σωματίδια ή έχουν υφή;**
- **Πως μπορούμε να συμπεριλάβουμε την βαρύτητα στο Καθιερωμένο Πρότυπο;**
- **Ποια σωματίδια αποτελούν την σκοτεινή ύλη του σύμπαντος;**

Αυτού του είδους οι ερωτήσεις οδηγούν τους φυσικούς των υψηλών ενεργειών στο να κατασκευάσουν καινούριους επιταχυντές ώστε σε μεγαλύτερες ενέργειες να μπορέσουμε να βρούμε κάποιες ενδείξεις που θα μας οδηγήσουν στις απαντήσεις αυτών των ερωτήσεων.

9. Η δομική ύλη του Σύμπαντος

Όλη η ύλη στο σύμπαν αποτελείται από 2 X 12=24 δομικούς λίθους. Έξι τύπους κουάρκ και έξι τύπους λεπτονίων. Όλα δε διαθέτουν από ένα αντισωματίδιο.

Εκτός από τα σωματίδια ύλης υπάρχουν και τα σωματίδια ισχύος, τα μποζόνια. Αυτά μεταφέρουν τις τέσσερις φυσικές δυνάμεις, δηλαδή την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, την ισχυρή και ασθενή πυρηνική ενέργεια και τη βαρυτική ενέργεια.

Τα σωματίδια ύλης είναι: τα λεπτόνια (το ηλεκτρόνιο και ηλεκτρόνιο-νετρίνιο, το μιονίο και μιονιο-νετρίνιο, το ταυ και ταυ-νετρίνιο) και τα κουάρκ (πάνω-κάτω, γιοιτευτικό-παράδοξο, κορυφαίο-πυθμένιο).**

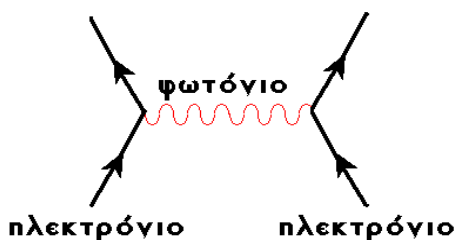
**Τα νετρίνιο είναι ηλεκτρικά ουδέτερα, σπανίως αλληλεπιδρούν με την κοινή ύλη (περνάνε μέσα από τοίχους και πλανήτες) και έχουν πολύ μικρή μάζα, αλλά υπάρχουν ολόγυρά μας, καθώς αποτελούν υποπροϊόν των πυρηνικών αντιδράσεων στο εσωτερικό του

ήλιου. Δισεκατομμύρια τέτοια υποατομικά σωματίδια περνάνε κάθε δευτερόλεπτο μπροστά από τα μάτια μας, χωρίς να το αντιλαμβανόμαστε.

	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	
				Higgs boson	

Source: AAAS

Τα σωματίδια ενέργειας είναι: τα φωτόνια που μεταφέρουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια.



Η άσκηση της δύναμης από ένα φορτίο σε άλλο γίνεται με την ανταλλαγή δυνητικών φωτονίων που κινούνται με την ταχύτητα του φωτός και μεταφέρουν ορμή από το ένα φορτίο στο άλλο).

Τα γκλουόνια που μεταφέρουν την ισχυρή πυρηνική ενέργεια, τα μποζόνια W και Z που μεταφέρουν την ασθενή πυρηνική ενέργεια, το σωματίδιο Higgs το οποίο μεταξύ άλλων εξηγεί γιατί ορισμένα μποζόνια έχουν μάζα και τα γκραβιτόνια που μεταφέρουν τη βαρυτική ενέργεια.

10. Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Σωματιδιακής Φυσικής, CERN

Το CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) είναι το μεγαλύτερο πειραματικό κέντρο ερευνών σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο. Βρίσκεται δυτικά της Γενεύης, στα σύνορα Ελβετίας και Γαλλίας.

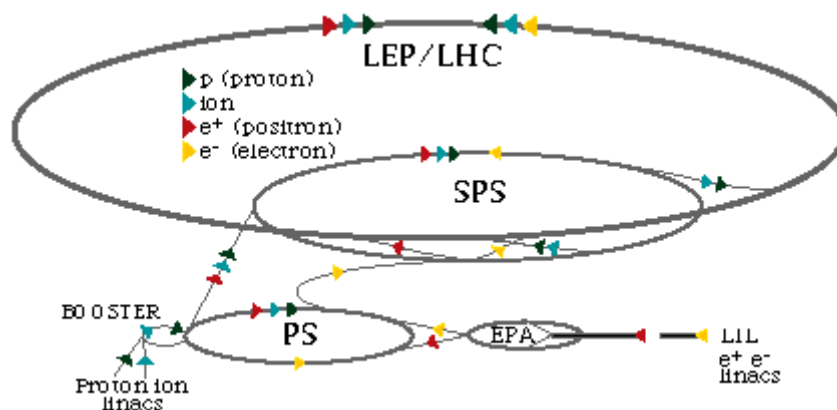
Η ιστορία του SERN ξεκίνησε το 1949. Την περίοδο εκείνη ο μεγάλος θεωρητικός φυσικός Louis de Broglie (1892-1987), βραβευμένος με το βραβείο Νόμπελ το 1929, σε μια επιστολή του προς το European Cultural Conference στην Λωζάνη, πρότεινε την ίδρυση ενός νέου ευρωπαϊκού ερευνητικού κέντρου, προκειμένου να εμποδιστεί η «διαρροή εγκεφάλων» προς την βόρεια Αμερική και για να ανακτήσει ο ευρωπαϊκός χώρος έρευνας την χαμένη του αίγλη.

Έτσι γεννήθηκε το CERN 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 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;**

- η αντι-ύλη παράγεται καθημερινά στο CERN (παράγονται περισσότερα από 10 εκατομμύρια σωματίδια το δευτερόλεπτο.)
- ο μεγαλύτερος μαγνήτης στον κόσμο βρίσκεται στο CERN και ζυγίζει περισσότερο από τον πύργο του Eiffel.
- το κενό των εργαστηριακών επιταχυντών είναι καλύτερο από αυτό μεταξύ της Γης και της Σελήνης.
- ο μεγαλύτερος επιταχυντής του CERN έχει περίμετρο 27 km. Τα σωματίδια που κινούνται με ταχύτητα κοντά στην ταχύτητα του φωτός εκτελούν περισσότερες από 11 000 περιστροφές το δευτερόλεπτο.
- οι ανιχνευτές του CERN έχουν μέγεθος όσο ένα τετραώροφο κτίριο.
- **περισσότεροι από 1800 φυσικοί εργάζονται στο μεγαλύτερο πείραμα που ετοιμάζεται για τον επόμενο επιταχυντή του CERN. Αυτό το πείραμα θα παράγει δεδομένα με έναν ρυθμό σχεδόν ίσο με τον αριθμό των κλήσεων που μπορούν να γίνουν αν καθένας από σας τηλεφωνήσει σε δέκα άλλους ταυτόχρονα!**

* Η κύρια λειτουργία του κέντρου αφορά την παροχή επιταχυντών σωματιδίων και άλλων υλικοτεχνικών υποδομών που χρειάζονται για την πειραματική έρευνα στο πεδίο της φυσικής υψηλών ενεργειών.

Στο CERN λειτουργούν επομένως πολλοί επιταχυντές, ένας εκ των οποίων είναι ο πελώριος Super Proton Synchrotron (**SPS**), ο οποίος διαθέτει υπόγεια σήραγγα 7 χιλιομέτρων που επιτρέπει στα πρωτόνια να επιταχύνονται στα 400 GeV, δηλαδή σε πολύ υψηλές ενέργειες.



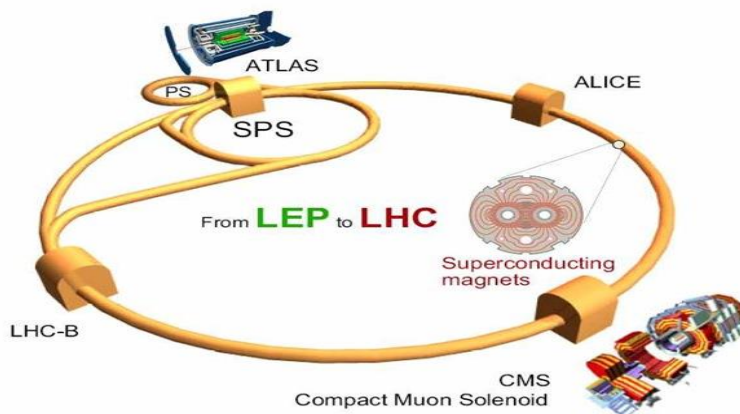
* Το CERN απασχολεί σήμερα περίπου 3.000 μόνιμους εργαζόμενους, ενώ περίπου 6.500 επιστήμονες και μηχανικοί (που αντιπροσωπεύουν 500 πανεπιστήμια και 80 διαφορετικές εθνικότητες), περίπου το μισό της κοινότητας της σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο, δουλεύουν σε πειράματα που οργανώνονται από το CERN.

11. Μερικά από τα επιτεύγματα του CERN

Ο πρώτος επιταχυντής σωματιδίων του CERN ήταν ένα συγχρο-κύκλοτρο πρωτονίων, ισχύος 600 MeV που τέθηκε σε λειτουργία το 1957. **Από τις πρώτες του επιτυχίες ήταν η παρατήρηση της μετατροπής ενός πιονίου* σε ένα ηλεκτρόνιο και ένα νεutrino.** Ακολούθησε το 1959 το σύγχροτρο πρωτονίων (PS) που λειτούργησε το 1959, με ισχύ 28 GeV.

- Το 1965 οι εγκαταστάσεις του CERN επεκτάθηκαν προκειμένου να δημιουργηθεί ο πρώτος παγκοσμίως συγκρουστής πρωτονίων (ISR).
- Το 1967 δόθηκε σε λειτουργία το ISOLDE, ένας διαχωριστής ισοτόπων που επέτρεπε τη μελέτη βραχύβιων πυρήνων.
- Το 1973 ήταν η χρονιά των πρώτων σημαντικών ανακαλύψεων. Πειράματα στο ISR δίνουν την **ώθηση σε μια νέα θεωρία, που επιχειρεί να ενοποιήσει το μοντέλο της ασθενούς πυρηνικής δύναμης με εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής.**

- Ως το 1978 η ισχύς του σύγχροτου PS αναβαθμίζεται, φθάνοντας το χιλιαπλάσιο της αρχικής ισχύος. Με αυτό ως κεντρικό επιταχυντή, το CERN διαθέτει πλέον ένα μοναδικό σύστημα συνδεδεμένων επιταχυντών, που επιτρέπει απαραμίλλη ποικιλία πειραμάτων.
- Το 1981 η μετατροπή του SPS ολοκληρώνεται και τα πρώτα δύο πειράματα μελέτης συγκρούσεων μεταξύ ύλης και αντιύλης λαμβάνουν χώρα τον Ιούλιο του 1981. Κατά τη σημαντική αυτή χρονιά αποφασίζεται η κατασκευή ενός Μεγάλου συγκρουστή ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων (του LEP – Large Electron-Positron collider), με αρχική ενέργεια 50 GeV)



- Το 1983 γίνεται η ιστορική ανακάλυψη των μποζονίων **W** και **Z**, των φορέων δηλαδή της ασθενούς πυρηνικής δύναμης, οπότε επιβεβαιώνεται η «ηλεκτρασθενής» θεωρία που συνδυάζει την ασθενή και την ηλεκτρομαγνητική δύναμη σε ενιαίο πρότυπο.
- Το 1990 είναι η χρονιά της εφεύρεσης του **WWW** από τον ερευνητή του CERN **Tim Berners-Lee** μαζί με τον **Robert Cailliau**. Ο παγκόσμιος ιστός ή **World Wide Web** επιτρέπει σε όλους μας την πλοήγηση στο **Internet**.

14



- Τον Σεπτέμβριο του 1995 μια διεθνής ομάδα ερευνητών υπό τον **Walter Oelert** κατορθώνει να συνθέσει άτομα αντιύλης από τα συστατικά της αντισωματίδια. **Είναι η πρώτη πόρτα που ανοίγεται στην εξερεύνηση του αντικόσμου**. Τη χρονιά αυτή η Ιαπωνία γίνεται μέλος-παρατηρητής του CERN και την ακολουθούν οι ΗΠΑ, το 1997.
- Το 2000 τα πειράματα του CERN δίνουν πειστικές ενδείξεις ότι υπάρχει μια νέα κατάσταση της ύλης, 20 φορές πυκνότερη εκείνης του πυρήνα, στην οποία τα κουάρκ αντί να συσπειρώνονται σε πρωτόνια ή νετρόνια κινούνται ελεύθερα. Αυτή η κατάσταση, το πλάσμα κουάρκ και γλουονίων, θα πρέπει να υπήρχε κάποια μικρο-δευτερόλεπτα μετά την κοσμολογική έκρηξη (το Big Bang), προτού αρχίσουν να σχηματίζονται τα σωματίδια της ύλης.

Το 2001 το CERN ανακοινώνει τα τελικά αποτελέσματα των ερευνών για την άμεση «Charge Parity (CP)-violation», **το ιδιαίτερο εκείνο φαινόμενο παραβίασης που εξηγεί γιατί η φύση προτιμά την ύλη από την αντιύλη**.



12. Σημαντικά τεχνολογικά πεδία στο CERN

Στο CERN παράγεται γνώση υψηλού επιπέδου για περίπλοκα δίκτυα επικοινωνιών και την υψηλότερη δυνατή τεχνολογία υπολογιστικών συστημάτων, η οποία οδήγησε το CERN στην εφεύρεση του World Wide Web, ως μία τεχνολογία, η οποία, αρχικά, ικανοποιούσε τις αυξανόμενες επικοινωνιακές ανάγκες υπολογιστικών συστημάτων της ερευνητικής κοινότητας.

Ακόμη, τα πεδία που ωφελήθηκαν από τις τεχνολογικές προόδους της έρευνας της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων συμπεριλαμβάνουν τις:

1. Μεθόδους ιατρικών απεικονίσεων 2. Ποζιτρονική τομογραφία 3. Κατασκευή ηλεκτρονικών υπολογιστικών κυκλωμάτων 4. Ανίχνευση παράνομης μεταφοράς διαφόρων υλικών.

Από επιστημονικής απόψεως, οι πιο σημαντικές τεχνολογικές και επιστημονικές γνώσεις που προέρχονται από τις δραστηριότητες του CERN εντοπίζονται σε:

1. Ιδιότητες των υλικών σε αέρια, υγρή ή στερεά μορφή, 2. Αλληλεπιδράσεις τους με ακτινοβολίες υψηλής ενέργειας, 3. Υπεραγωγιμότητα υλικών που δημιουργούν υψηλά μαγνητικά πεδία, 4. Υπερ-ρευστά που χρειάζονται για την λειτουργία των επιταχυντών, 5. Πηγές πολύ ισχυρής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τη φυσική της επιφάνειας των μετάλλων, 6. Τεχνολογία κενού, 7. Τεχνολογίες δικτύων και υπολογιστικών συστημάτων και εφαρμογών.

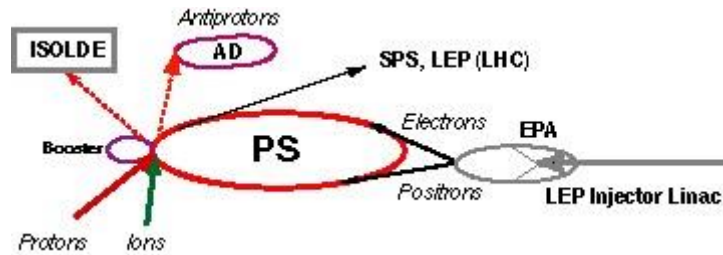
Ειδικότερα από την έρευνα στους επιταχυντές και του ανιχνευτές, έχουμε παράπλευρα προϊόντα στους κλάδους: **1) βιομηχανία των ημιαγωγών, 2) αποστείρωση - τρόφιμα, ιατρική, λύματα, 3) επεξεργασία ακτινοβολίας, 4) θεραπεία καρκίνου, 5) αποτέφρωση των πυρηνικών αποβλήτων, 6) βιολογία, φυσική συμπυκνωμένης ύλης, 7) ιατρική απεικόνιση, 8) ασφάλεια, 9) έλεγχος κλειστών κιβωτίων, 10) Προγράμματα προσομοίωσης, 11) Διάγνωση σφαλμάτων, 12) Συστήματα ελέγχου, 13) Προώθηση της τεχνολογίας των παράλληλων υπολογιστών, 14) Πολυνηματικά σύρματα/καλώδια, 15) Απεικόνιση μαγνητικής τομογραφίας, και πολλά άλλα.**

13. Τα επιστημονικά όργανα στο CERN

Τα επιστημονικά όργανα που χρησιμοποιούνται στο CERN είναι οι επιταχυντές σωματιδίων και οι ανιχνευτές. Οι επιταχυντές δίνουν στα σωματίδια πολύ μεγάλες ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός, και τα ωθούν να συγκρουστούν, είτε με σταθερούς στόχους, είτε μεταξύ τους.

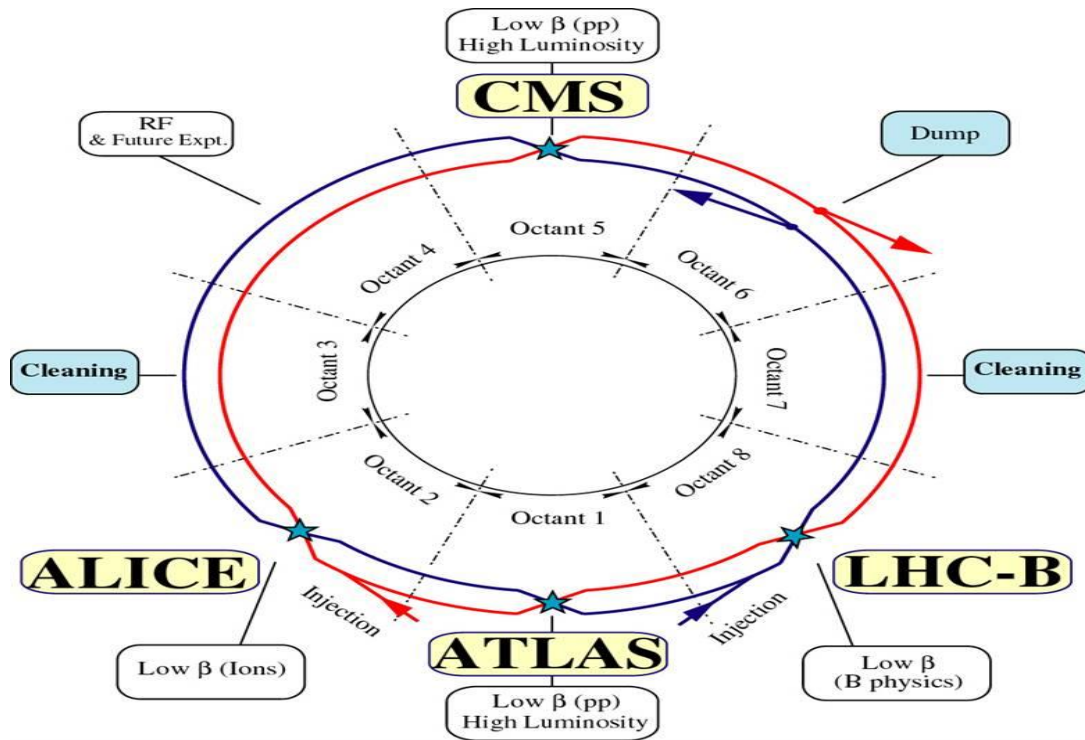
Οι ανιχνευτές παρατηρούν και καταγράφουν τα προϊόντα αυτών των συγκρούσεων. Ο παλαιότερος επιταχυντής, ο οποίος λειτουργεί ακόμη στο CERN, είναι το συγχροτρόνιο πρωτονίων (PS), το οποίο μπήκε σε λειτουργία το 1959.

Το υπέρ σύγχροτρο πρωτονίων (SPS), το οποίο τροφοδοτείται με δέσμες σωματιδίων από το PS, λειτούργησε για πρώτη φορά το 1976. Στην αρχή της δεκαετίας του 1980, το SPS έδινε δέσμες σωματιδίων για πειράματα, τα οποία οδήγησαν στην απονομή του βραβείου Νόμπελ Φυσικής στο CERN, για πρώτη φορά το 1984.



Ο μεγάλος επιταχυντής συγκρουόμενων δεσμών ηλεκτρονίων - ποζιτρονίων (LEP) κατασκευάστηκε σε ένα κυκλικό υπόγειο τούνελ, περιφέρειας 27 χιλιομέτρων, και αποτέλεσε το σύμβολο έρευνας του CERN για την περίοδο 1989- 2000. Όταν ολοκληρώθηκε η αποστολή του, ο επιταχυντής LEP αποσυναρμολογήθηκε για να δώσει χώρο σε μία πολύ πιο ισχυρή μηχανή, το μεγάλο επιταχυντή συγκρουόμενων δεσμών αδρονίων (LHC), ο οποίος θα εγκατασταθεί στο ίδιο τούνελ, το καλοκαίρι του 2007.

Όπως το LEP έτσι και το LHC θα τροφοδοτείται με δέσμες σωματιδίων από το PS και το SPS. Τα πειράματα στον επιταχυντή LHC θα γίνουν με γιγαντιαίους ανιχνευτές όπως οι **ATLAS**, **CMS**, **ALICE**, **LHCb**, οι οποίοι κατασκευάζονται από 500 ινστιτούτα 80 χωρών με τη βοήθεια της βιομηχανίας.



ATLAS: Είναι ένας από τους δύο ανιχνευτές γενικής χρήσης στο Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC). Διερευνά ένα ευρύ φάσμα της φυσικής, από την έρευνα για το μποζόνιο Higgs σε πρόσθετες διαστάσεις και σωματίδια που θα μπορούσαν να αποτελούν τη σκοτεινή ύλη .

CMS: Θεωρείται το μεγαλύτερο και πολυπλοκότερο μηχανήμα που κατασκευάστηκε ποτέ στη Γη και έχει βάρος 12.000 τόνους! Ο CMS χρησιμοποιεί μαγνητικά πεδία έντασης 4 tesla, δηλαδή 100.000 φορές ισχυρότερα από το Γήινο! Ο ανιχνευτής περιλαμβάνει 100 εκατομμύρια ανιχνευτικά στοιχεία. Ζυγίζει 12500 τόνους, έχει μήκος 21 μέτρα και 15 μέτρα διάμετρο.

LHC: (Large Hadron Collider, στα ελληνικά Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων) είναι ένας επιταχυντής στοιχειωδών σωματιδίων (αδρονίων). Στον LHC δημιουργούνται δέσμες πρωτονίων, η κάθε μια περιέχει 100.000.000.000 πρωτόνια, και όταν συγκρούονται στο κέντρο του ανιχνευτή CMS (Compact Muon Solenoid), μόνο ένας μικρός αριθμός πρωτονίων

– περίπου 25 – συγκρούεται μεταξύ τους. Τα υπόλοιπα πρωτόνια συνεχίζουν την κίνησή τους μέσα στον LHC ανεμπόδιστα, μέχρι την επόμενη διασταύρωση – σύγκρουση.

Πείραμα ALICE: (A Large Ion Collider Experiment) Ο κύριος σκοπός του ALICE είναι να μελετήσει τις ιδιότητες της ύλης που δημιουργείται κατά τη διάρκεια συγκρούσεων βαρέων πυρήνων, όπως αυτός του μολύβδου, στην εξαιρετικά υψηλή ενέργεια του LHC. Η προσδοκία είναι ότι αυτή η κατάσταση θα είναι παρόμοια με την αρχέγονη κατάσταση της ύλης που ονομάζεται πλάσμα Quark-Gluon και που, σύμφωνα με την Θεωρία του Καθιερωμένου Μοντέλου, υπήρξε αμέσως μετά από το Big-Bang

LEP: είναι ο μεγαλύτερος επιταχυντής συγκρουόμενων δεσμών του κόσμου. Σε έναν δακτύλιο περιμέτρου 27 km, εγκατεστημένο σε βάθος 100m, δέσμες ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων (αντι-ηλεκτρόνια) κινούνται κυκλικά σε αντίθετες διευθύνσεις καθώς επιταχύνονται σχεδόν μέχρι την ταχύτητα του φωτός.

Ανιχνευτής LHCb : θα μελετήσει σωματίδια που ονομάζονται β-Μεσόνια και θα ερευνήσει τις διαφορές ανάμεσα σε ύλη και αντιύλη.

14. Η συνεισφορά του CERN στην Κοινωνία



Η συνεισφορά του CERN στην κοινωνία είναι ουσιαστική και πολύ-επίπεδη:

- Παρέχει άριστη κατάρτιση στο ερευνητικό προσωπικό που εντάσσεται στο δυναμικό του
- Προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες στη διεθνή επιστημονική κοινότητα, ενώ παράλληλα, κινητοποιεί ουσιαστικά τους νέους σπουδαστές
- Αναπτύσσει τις τεχνολογικές δεξιότητες των μηχανικών και τεχνικών στα ευρωπαϊκά ερευνητικά ιδρύματα και την ευρωπαϊκή βιομηχανία
- Δημιουργεί ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον για τις βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας των ευρωπαϊκών και μη κρατών μελών
- Λειτουργεί μέσα από ένα δομημένο σύστημα, το οποίο εξασφαλίζει στα κράτη μέλη τη λεγόμενη «βιομηχανική επιστροφή»: Πρόκειται για τη δυνατότητα αυτών των κρατών να απορροφούν εργασίες που τους αποφέρουν έσοδα της τάξεως του 30-40% της ετήσιας συνδρομής τους (ύψους ενός δισεκατομμυρίου ελβετικών φράγκων). Μέσα από αυτή τη διαδικασία, το CERN δίνει την αυτοπεποίθηση τόσο στα κράτη που είναι μέλη όσο και σ' εκείνα που δεν αποτελούν μέλη του ότι, τα επιστημονικά προγράμματα αξιολογούνται από διεθνείς επιστημονικές επιτροπές, σε υψηλό επίπεδο, μακριά από τη γραφειοκρατία.

17

15. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΟ CERN

Η Ελλάδα είναι ένα από τα 12 ιδρυτικά μέλη του οργανισμού. Στόχος της ίδρυσης του CERN ήταν να φέρει κοντά ερευνητές από όλη την Ευρώπη και να τους προσφέρει τα απαραίτητα μέσα για τη βασική έρευνα, ακολουθώντας το όραμα πρωτοπόρων όπως οι Raoul Dautry, Pierre Auger, Lew Kowarski, Edoardo Amaldi και Niels Bohr. Η ελληνική επιστημονική κοινότητα υπήρξε από τους βασικούς πρωτεργάτες αυτής της προσπάθειας. Τον Φεβρουάριο του 1952, η Ελλάδα συμμετείχε στο πρώτο συμβούλιο του οργανισμού υπό την αιγίδα της UNESCO, το οποίο οδήγησε τελικά στην ίδρυση του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πυρηνικών Ερευνών, τον Σεπτέμβριο του 1954.

Σήμερα, ελληνικές ομάδες συμμετέχουν στα πειράματα ATLAS και CMS, τα δύο πειράματα που ανακοίνωσαν την ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs -η οποία τιμήθηκε με το βραβείο Νομπέλ Φυσικής του 2013-, καθώς και στο πείραμα ALICE, το οποίο μελετά μια πρωταρχική μορφή ύλης η οποία επικράτησε στο σύμπαν αμέσως μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Σημαντική είναι και η συμμετοχή των ελληνικών πανεπιστημίων και ερευνητικών κέντρων στα υπόλοιπα πειράματα του CERN. Αξίζει να αναφερθούμε στο πείραμα CAST (Το Cern Axion Solar Telescope (CAST) είναι ένα τηλεσκόπιο, με στόχο να ανιχνεύσει τα υποθετικά σωματίδια axions, που, κατά την θεωρία, δημιουργούνται / «διασπώνται» και στα μαγνητικά πεδία του Ήλιου.), που προσπαθεί να ανιχνεύσει υποψήφια σωματίδια σκοτεινής ύλης, στο nTOF, που ειδικεύεται στη μελέτη νετρονίων και σε μελέτες αστροσωματιδιακής φυσικής, καθώς και στο ISOLDE, σε πειράματα πυρηνικής φυσικής με σημαντικές εφαρμογές τόσο στην ιατρική όσο και στη διαχείριση ραδιενεργών αποβλήτων.

Για την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών που καθιστούν εφικτή τη βασική έρευνα στα παραπάνω πεδία, εργάζονται στο CERN μηχανικοί διαφόρων ειδικοτήτων, προγραμματιστές, υπεύθυνοι δικτύων, ηλεκτρονικοί και πολλές ακόμη ειδικότητες. Ο συντονισμός τους είναι απαραίτητος, προκειμένου να αναπτυχθούν οι νέες τεχνολογίες στις οποίες στηρίζεται η έρευνα που πραγματοποιείται στο CERN. Θα πρέπει να θυμόμαστε πως το CERN συνεχώς αναπτύσσει νέες τεχνολογίες (υλικών, ψύξης, δικτύων κ.ά.) προκειμένου να ανταποκριθεί στις πρωτόγνωρες προκλήσεις που συναντάμε καθώς επεκτείνουμε τα όρια της ανθρώπινης γνώσης. Σε αυτό το πλαίσιο, θα πρέπει να αναφερθούμε στους Έλληνες τεχνικούς που εργάστηκαν για την παράδοση των συστημάτων των ανιχνευτών και του LHC σε λειτουργία, ενώ συμμετέχουν και στην αναβάθμιση όλων αυτών των συστημάτων στην παρούσα φάση – λίγο πριν ο LHC τεθεί και πάλι σε λειτουργία, φτάνοντας ενέργειες των 14 TeV. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούμε και σε όσους εμπλέκονται στη μελέτη μελλοντικών σχεδίων είτε για έναν γραμμικό επιταχυντή όπως το CLIC -στον οποίο έχουν επενδυθεί περισσότερα από 20 χρόνια έρευνας και ανάπτυξης νέων τεχνολογιών- είτε κυκλικών επιταχυντών όπως αυτοί που περιγράφονται στα πρόσφατα σχέδια για έναν κυκλικό επιταχυντή που θα φτάνει ενέργειες των 100 TeV και θα μπορούσε να αποτελέσει τον διάδοχο του LHC.

Με συνεχή και συστηματική παρουσία, οι ελληνικές ομάδες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της έρευνας και των σημαντικών ανακαλύψεων που έγιναν τα τελευταία χρόνια στο CERN. Τα οφέλη αυτής της συμμετοχής μπορούν να εντοπιστούν σε τρεις άξονες: στην ισότιμη συμμετοχή της χώρας στη διεθνή ερευνητική και επιστημονική κοινότητα, στην εκπαίδευση δεκάδων νέων φοιτητών και ερευνητών και τη μετεκπαίδευση επιστημόνων και, τέλος, στη μεταφορά σημαντικής τεχνογνωσίας προς τα ελληνικά πανεπιστήμια και τη δυνατότητα ανάπτυξης καινοτόμων προϊόντων που μπορούν να έχουν θετικά αποτελέσματα για την ελληνική οικονομία. Φυσικά, θα μπορούσε να αναφερθεί κανείς, ακόμη, στις εφαρμογές της ανάπτυξης νέων τεχνολογιών: από το Διαδίκτυο και τις απεικονιστικές και θεραπευτικές μεθόδους για τον καρκίνο μέχρι την ανάπτυξη νέων υλικών και νέων εκπαιδευτικών εργαλείων, γίνεται σαφές πως οι εφαρμογές αυτές αλλάζουν την καθημερινότητά μας.

Θα πρέπει ωστόσο να θυμόμαστε πως ένα από τα θεμελιώδη στοιχεία της βασικής έρευνας είναι η αβεβαιότητα του αποτελέσματος. Καθώς εξερευνούμε αχαρτογράφητα νερά και διευρύνουμε τις υπάρχουσες περιγραφές του κόσμου μας, δεν μπορούμε να είμαστε βέβαιοι για το αποτέλεσμα. Αυτή η διάθεση όμως εξερεύνησης νέων πεδίων και οι καινούργιοι ορίζοντες που έχουν ανοίξει τα τελευταία χρόνια, χάρη και στη συμμετοχή της Ελλάδας, φαίνεται να αποτελούν τελικά το μεγαλύτερο όφελος. Ίσως είναι αυτή η πίστη στη σπουδαιότητα της βασικής έρευνας και η αξία της επιστήμης ως κοινωνικού αγαθού που δεν πρέπει να παραγνωρίζουμε, καθώς μπορεί να έχουν πολλαπλά οφέλη για τη χώρα μας. Η πρόσφατη διάκριση της ομάδας «Σύντροφοι του Οδυσσέα» από το Βαρβάκειο Πειραματικό Λύκειο Αθηνών στον διαγωνισμό Beam Line for Schools, που διοργάνωσε το CERN στο πλαίσιο του εορτασμού των 60 χρόνων, αποτελεί την καλύτερη επιβεβαίωση πως η Ελλάδα συμμετέχει δυναμικά σε αυτό το ταξίδι της γνώσης.

***Το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, μέσω της ερευνητικής ομάδας του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων, συμμετέχει από το 1995, στο μεγαλύτερο σε όγκο πείραμα ATLAS.

Το πείραμα ATLAS μαζί με το εξίσου πολύπλοκο πείραμα CMS, θα προσπαθήσουν να απαντήσουν σε σημαντικά ερωτήματα όπως: Γιατί τα σωματίδια έχουν μάζα; Υπάρχει το σωματίδιο Higgs που φέρεται να είναι υπεύθυνο για τις μάζες των σωματιδίων; Τι είναι η σκοτεινή ύλη; Υπάρχουν άλλες δυνάμεις στη φύση; Πως εξαφανίστηκε η αντιύλη μετά τη Μεγάλη Έκρηξη του Σύμπαντος;

Συγκεκριμένα, η ομάδα του Α.Π.Θ., έχει κατασκευάσει στο Εργαστήριο Κατασκευής και Ελέγχου Ανιχνευτών Ακτινοβολίας του Α.Π.Θ. ένα σημαντικό μέρος -το 10%- του Μιονικού Φασματομέτρου του ATLAS, το οποίο καλύπτει συνολικά μία επιφάνεια 5600 m² και αποτελεί την 'καρδιά' στην αναζήτηση του σωματιδίου Higgs καθώς και στην αναζήτηση 'Νέας Φυσικής'. Το υπόγειο συγκρότημα του μήκους 27km κυκλικού επιταχυντή και των τεσσάρων πειραμάτων που έχουν εγκατασταθεί σ' αυτόν, έχει πλέον ολοκληρωθεί και σήμερα οι πειραματικές εγκαταστάσεις είναι έτοιμες να αποκωδικοποιήσουν τα πρώτα αποτελέσματα των συγκρούσεων μεταξύ των πρωτονίων σε ενέργειες επτά φορές μεγαλύτερες από ό,τι σε προηγούμενους επιταχυντές. **Η ενέργεια σε κάθε σύγκρουση των δεσμών πρωτονίων στον επιταχυντή, σ' έναν απειροελάχιστο χώρο με επιφάνεια δέκα φορές μικρότερης του πάχους μιας τρίχας, θα υπερβαίνει κατά 100.000 φορές τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του Ήλιου!** Κατ' αυτή την έννοια, η ενέργεια σε κάθε σύγκρουση πλησιάζει αυτή του θερμού Σύμπαντος, αμέσως μετά τις πρώτες στιγμές της δημιουργίας του. Η μεγάλη συχνότητα των συγκρούσεων, **υπολογίζονται πάνω από 600 εκατομμύρια συγκρούσεις το δευτερόλεπτο**, θα δώσουν τη δυνατότητα να αναγνωρίσουμε και να ανακαλύψουμε και τα πλέον σπάνια σωματίδια που μπορούν να δημιουργηθούν από τη μετατροπή της ενέργειας αυτής σε ύλη.

Πολύ σημαντική συμμετοχή για την Ελλάδα αποτελεί η κατασκευή 128 μιονικών ανιχνευτών από τους περίπου 1.200 που περιέχει το πείραμα ATLAS. Για την κατασκευή, τον έλεγχο και την εγκατάσταση των ελληνικών μιονικών ανιχνευτών, συνεργάστηκαν το **Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**, το **Πανεπιστήμιο Αθηνών** και το **Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**. Οι Έλληνες εργαζόμενοι στα πειράματα του επιταχυντή LHC, έχουν

αποσταλεί από τα τρία αυτά ιδρύματα καθώς και από το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και το Κέντρο Ερευνών Δημόκριτος.

16. Ποιά σωματίδια επιταχύνονται στο CERN;

Στις περισσότερες περιπτώσεις είτε πρωτόνια είτε ηλεκτρόνια. Και τα δυο μαζί σχηματίζουν ένα άτομο υδρογόνου. Μπορούν να διαχωριστούν π.χ. με μια ηλεκτρική εκκένωση. Είναι δυνατόν να επιταχυνθούν βαρύτερα άτομα, όπως του Θείου ή του Μολύβδου. Στην πραγματικότητα επιταχύνονται οι θετικοί πυρήνες αυτών των ατόμων, αφού αποδεδειγμένως από όλα ή τα περισσότερα ηλεκτρόνια τους

Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ "ΣΥΓΧΡΟΤΡΟΝ"

Η ακτινοβολία σύγχροτρον είναι το φως που εκπέμπεται από φορτισμένα σωματίδια καθώς επιταχύνονται -- είτε αυξάνοντας την ταχύτητά τους κινούμενα σε ευθεία γραμμή ή ταξιδεύοντας με σταθερή ταχύτητα σε καμπυλωμένη τροχιά. Κατά την κίνηση σε καμπύλη τροχιά αναπτύσσεται επιτάχυνση. Αισθανόμαστε αυτού του είδους την επιτάχυνση όταν οδηγάμε αυτοκίνητο πάνω σε μια στροφή.

Η ακτινοβολία σύγχροτρον παίρνει το όνομά της από τον επιταχυντή σωματιδίων "σύγχροτρον" όπου πρωτοπαρατηρήθηκε. Τα σύγχροτρα χρησιμοποιούν μαγνήτες ώστε να κάμπτουν τις τροχιές των επιταχυνόμενων ηλεκτρονίων σε τόξα. Επίσης παρατηρείται στην κοσμική σφαίρα: ένα μέρος του φωτός που εκπέμπεται από αστρονομικά αντικείμενα, όπως το Νεφέλωμα του Καρκίνου, προέρχεται από ηλεκτρόνια τα οποία ταξιδεύουν ανάμεσα σε γαλαξιακά μαγνητικά πεδία.

Όταν μικρής μάζας σωματίδια όπως τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται, χάνουν πολύ περισσότερη ενέργεια σε ακτινοβολία σύγχροτρον από ό,τι χάνουν βαριά σωματίδια(*) Γι' αυτό οι επιστήμονες χρησιμοποιούν ηλεκτρόνια (και όχι πρωτόνια) για την συλλογή της ενέργειας από ακτινοβολία σύγχροτρον, σε εγκαταστάσεις οι οποίες καλούνται πηγές φωτός. **Επίσης για τον ίδιο λόγο επιταχύνονται πρωτόνια στον μεγάλο επιταχυντή, αφού αν χρησιμοποιούνταν ηλεκτρόνια αυτά θα έχαναν ενέργεια σε ακτινοβολία σύγχροτρον.**

20

17. Πώς επιταχύνονται τα σωματίδια;

Επιταχύνοντας τα σωματίδια σε πολύ υψηλές ενέργειες και ρίχνοντάς τα σε στόχους ή το ένα πάνω στο άλλο, οι φυσικοί αποκαλύπτουν τα μυστικά των δυνάμεων που δρουν μεταξύ των σωματιδίων.

Η μαγεία των τεράστιων αυτών πειραματικών συμπλεγμάτων βασίζεται στην περίφημη εξίσωση $E = mc^2$ του Αϊνστάιν (ισοδυναμία μάζας-ενέργειας). Όσο πιο μεγάλη είναι η ενέργεια που επιτυγχάνεται, τόσο πιο κοντά φθάνουμε στις θερμοκρασίες που επικρατούσαν τις πρώτες στιγμές γέννησης του σύμπαντος και στα διάφορα φαινόμενα που εξελίχθηκαν την εποχή εκείνη.

Σε βάθος 100 μέτρων περίπου κάτω από την επιφάνεια, στον μεγάλο επιταχυντή αδρονίων **LHC** μπορούμε να δούμε το σύμπαν να ξαναγεννιέται. Στον επιταχυντή αυτόν, δυο αντίθετα κινούμενες ροές πρωτονίων με ταχύτητα που φθάνει σχεδόν την ταχύτητα του φωτός συγκρούονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας.

Ο τεράστιος επιταχυντής **LHC** με μήκος 27 Km, αποτελείται από χιλιάδες χιλιόμετρα καλωδιώσεων, χιλιάδες ηλεκτρομαγνήτες και ερευνητικές συσκευές με δεκάδες δισεκατομμύρια τρανζίστορ. 128 τόνοι υγρού ηλίου κρατούν τη θερμοκρασία των υπεραγώγιμων μαγνητών στους 1,8 βαθμούς πάνω από το απόλυτο μηδέν, δηλαδή **-271 °C** !!! Η **πίεση** που επικρατεί στους σωλήνες ροής είναι **760 φορές μικρότερη** από την ατμοσφαιρική που επικρατεί στην επιφάνεια της θάλασσας. Κατά τις συγκρούσεις παράγονται τεράστια ποσά ενέργειας που φθάνουν τα **14 τρισεκατομμύρια ηλεκτρονιοβόλτ**. Η θερμοκρασία φθάνει στιγμιαία στους **162.000 τρισεκατομμύρια βαθμούς κελσίου!**

ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΩΝ

Υπάρχουνε δύο ειδών επιταχυντές: οι **γραμμικοί** και οι **κυκλικοί**. Οι επιταχυντές χρησιμοποιούν ισχυρά ηλεκτρικά πεδία για να επιταχύνουν τα σωματίδια. Τα μαγνητικά πεδία χρησιμοποιούνται για να εστιάσουν τη δέσμη και τις κυκλικές μηχανές για να οδηγούν τα σωματίδια να κάνουν κυκλική τροχιά.

20

Οι γραμμικοί επιταχυντές επιταχύνουν φορτισμένα σωμάτια - ηλεκτρόνια, πρωτόνια ή βάρια ιόντα - σε ευθεία γραμμή.

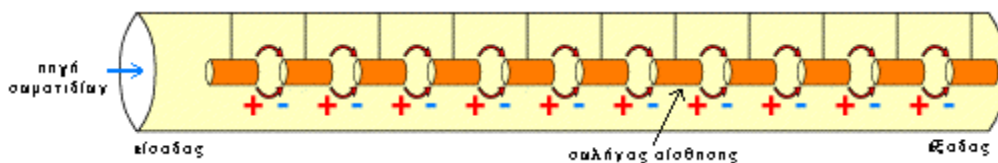
Για παράδειγμα ένα θετικά φορτισμένο σωματίδιο-όπως το πρωτόνιο- έλκεται από ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο. Στο πεδίο μιας μπαταρίας 1,5V θα αποκτήσει ενέργεια ίση με 1,5 ηλεκτρονιοβόλτ (eV). Με αυτή την μονάδα μετράμε πόσο ισχυρός είναι ο επιταχυντής.



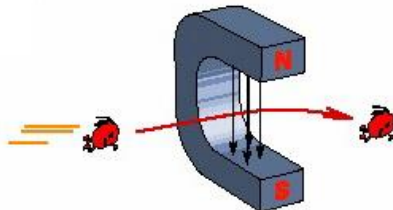
Ένας "γραμμικός επιταχυντής" αποτελείται από πολλά στοιχεία, όπως αυτό στην παραπάνω φωτογραφία, τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο.

Η επιτάχυνση των σωματιδίων στους γραμμικούς επιταχυντές μοιάζει πολύ με την επιτάχυνση του σέρφερ πάνω στα κύματα. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη μεταβολή της φοράς του ηλεκτρικού πεδίου κατά τη διάρκεια του χρόνου διάβασης από το ηλεκτρόδιο. Έτσι, όταν το σωματίδιο εισέρχεται στον κενό χώρο μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων δέχεται πάντα επιτάχυνση και όχι επιβράδυνση από το πολύ ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο.

Χρησιμοποιώντας πολύ ισχυρές γεννήτριες τάσης, είναι δυνατόν να δώσουμε στα σωματίδια ενέργεια ίση, περίπου, με 1 εκατομμύριο ηλεκτρονιοβόλτ (1 MeV) ανά μέτρο μήκους.



Οι κυκλικό επιταχυντές αναγκάζουν τα σωμάτια να γυρίζουν γύρω-γύρω σε μια κυκλική τροχιά, δίνοντάς τους όλο και περισσότερη ενέργεια σε κάθε περιστροφή.



Υπάρχουν πολλά είδη κυκλικών επιταχυντών (σύγχροτρο, κύκλοτρο, συγχροκύκλοτρο) και από την αρχή της δεκαετίας του '30 έπαιξαν βασικό ρόλο στη φυσική υψηλών ενεργειών από τις χαμηλότερες, ως τις υψηλότερες ενέργειες.

Ένα μαγνητικό πεδίο μεταβάλλει τη διεύθυνση ενός φορτισμένου σωματιδίου.

Τοποθετώντας πολλούς μαγνήτες κυκλικά το σωματίδιο επανέρχεται στο αρχικό σημείο από όπου δέχεται άλλη μια ώθηση.

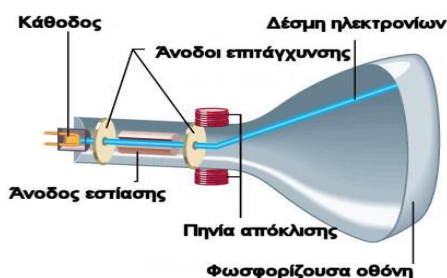
Σε κάθε περιφορά τα σωματίδια κερδίζουν ενέργεια στο παράδειγμά μας 1εκατομμύριο ηλεκτρονιοβόλτ (1MeV) σε κάθε κύκλο. Στο LEP τα σωματίδια μπορούν να επιταχυνθούν μέχρι 100 000 MeV.

ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΝΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ

Όλες οι δέσμες σωματιδίων ξεκινάνε από μια πηγή σωματιδίων. Η απλούστερη πηγή είναι ένα θερμαινόμενο σύρμα, όπως το νήμα μέσα σε μια λάμπα. Αυτό είναι το είδος πηγής που χρησιμοποιούν οι τηλεοράσεις. Αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια βγαίνουν απ' το σύρμα και επιταχύνονται μέσα στο κενό προς ένα θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Ηλεκτρομαγνητικά πεδία μετακινούν τη δέσμη πάνω στην οθόνη. Τα σημεία όπου η δέσμη χτυπάει την οθόνη είναι φωτεινά και έτσι δημιουργείται η εικόνα. Ένα παρόμοιο νήμα χρησιμοποιείται και στους γραμμικούς επιταχυντές. Οι γραμμικοί επιταχυντές επιταχύνουν τα σωματίδια σε πολύ υψηλότερες ενέργειες απ' ότι η τηλεόραση, αλλά η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια. Στο γραμμικό επιταχυντή, τα σωματίδια επιταχύνονται από από το ένα ηλεκτρόδιο στο επόμενο, κερδίζοντας ενέργεια από το κάθε ηλεκτρόδιο που περνούν.

Ο καθένας στο σπίτι του έχει έναν επιταχυντή, την τηλεόραση. Οι τηλεοράσεις χρησιμοποιούν τις ίδιες αρχές λειτουργίας με τους επιταχυντές αλλά σε πολύ μικρότερη κλίμακα .

Ο καθένας στο σπίτι του έχει έναν επιταχυντή, την τηλεόραση. Οι τηλεοράσεις χρησιμοποιούν τις ίδιες αρχές λειτουργίας με τους επιταχυντές αλλά σε πολύ μικρότερη κλίμακα



Οι τηλεοράσεις και οι επιταχυντές έχουν πολλά κοινά μέρη:

- Μια πηγή σωματιδίων
- Ηλεκτρόδια επιτάχυνσης(οι τηλεοράσεις έχουν ένα, οι επιταχυντές περισσότερα)
- Ηλεκτρομαγνητικά πεδία για να εκτρέπουν τα σωματίδια και τέλος
- έναν ανιχνευτή σωματιδίων (η οθόνη, στην περίπτωση της τηλεόρασης)

18. ΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Όταν έχουμε δύο σωματίδια μεγάλης ενέργειας να συγκρούονται τότε μπορούν να δημιουργηθούν οι ειδικές συνθήκες που χρειαζόμαστε είτε για να εξερευνήσουμε την δομή της ύλης είτε για να δημιουργηθεί νέα μορφή ύλης. Για να παρατηρήσουμε και να αναγνωρίσουμε είτε τα γνωστά σωματίδια είτε τις νέες μορφές ύλης, χρειαζόμαστε πολύ εξειδικευμένους ανιχνευτές. Ο ανιχνευτής που βρίσκεται κοντά στο σημείο σύγκρουσης μπορεί να "δει" τις τροχιές των σωματιδίων που παράγονται από την σύγκρουση.

Οι σημερινοί ανιχνευτές είναι σύνθετοι και περιλαμβάνουν πολλά επιμέρους τμήματα ανιχνευτών. Οι σκοποί του συνθέτου ανιχνευτικού συστήματος είναι οι εξής:

- να αναγνωρίσουν τα σωματίδια
- να μετρήσουν την ενέργειά τους
- να μετρήσουν την διεύθυνσή τους.

Ξέροντας το είδος των παραγομένων σωματιδίων, την ενέργεια και την διεύθυνσή τους μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για τα μυστικά του μηχανισμού σύγκρουσης και για την δομή της ύλης.

Τα επιμέρους τμήματα του ανιχνευτή είναι τοποθετημένα σε τέτοια στρωματική διάταξη ώστε τα παραγόμενα σωματίδια να διασχίζουν τα διαφορετικά στρώματα. Το κάθε επιμέρους τμήμα του ανιχνευτή συνήθως επιτελεί και ένα εξειδικευμένο έργο. Συνδυάζοντας την πληροφορία από όλα τα επιμέρους τμήματα μπορούμε να ανακατασκευάσουμε την λεπτομερή εικόνα για το τι συνέβη στην σύγκρουση των σωματιδίων.

ΕΙΔΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

Υπάρχουν τρία κύρια είδη ανιχνευτών:

Ανιχνευτές τροχιών για να υπολογίσουν/ανακατασκευάσουν τις τροχιές των φορτισμένων σωματιδίων που τους διασχίζουν.

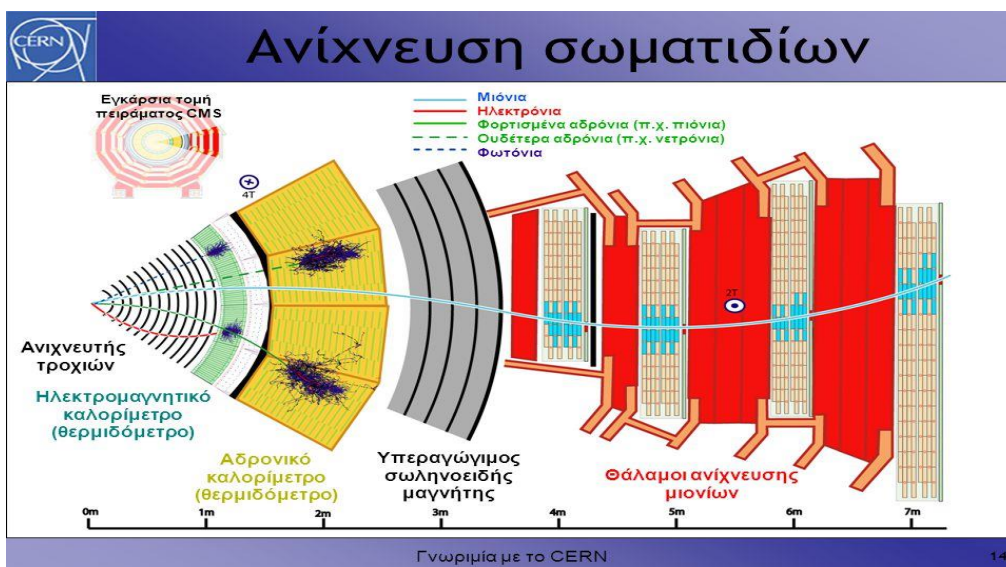
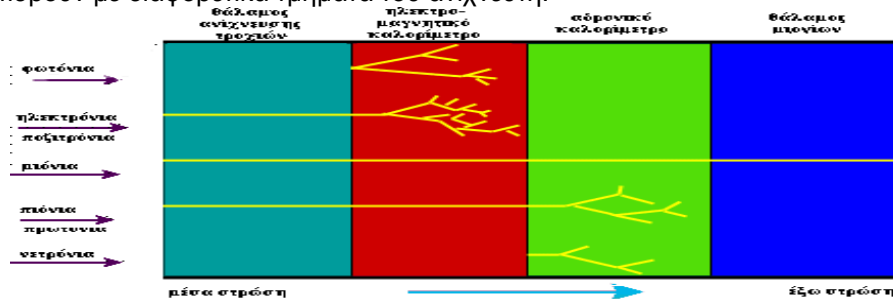


Θερμιδόμετρα (καλορίμετρα) για να υπολογίσουν την ενέργεια των ουδέτερων και φορτισμένων σωματιδίων. Συχνά τα θερμιδόμετρα σταματούν τα σωματίδια (απορροφούν την ενέργειά τους). Διαφορετικά είδη θερμιδομέτρων χρησιμοποιούνται για ηλεκτρόνια και φωτόνια και διαφορετικά για πρωτόνια, νετρόνια και πιόνια ή άλλα σωματίδια φτιαγμένα από quark (αδρόνια).

Ανιχνευτές μιονίων για να ανιχνεύσουν τα μίονια. Συνήθως τα μίονια - επειδή είναι τα σωματίδια που μπορούν να διασχίσουν τα διαφορετικά στρώματα ανιχνευτών και να φτάσουν στους ανιχνευτές που είναι απομακρυσμένοι από το σημείο σύγκρουσης - εκδηλώνουν την παρουσία με ένα σήμα σε ένα εξωτερικό ανιχνευτή. Τα νετρίνα, είναι τα μόνα σωματίδια που διαφεύγουν από όλους τους ανιχνευτές.

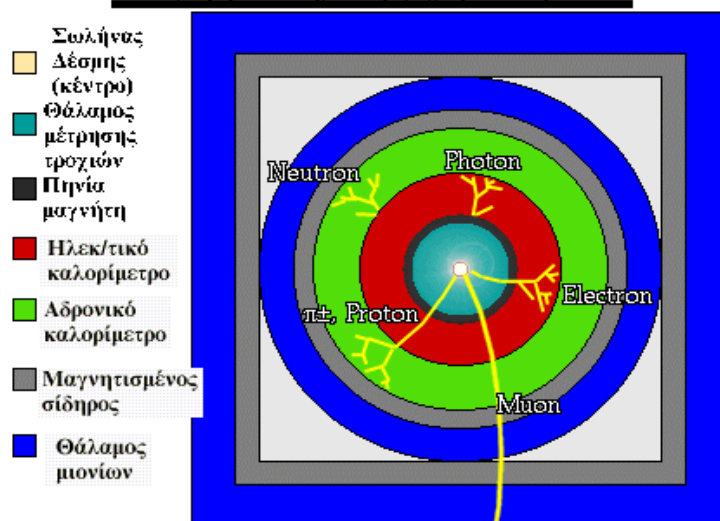
Συνήθως στην περιοχή των ανιχνευτών υπάρχει και ένα μαγνητικό πεδίο που καμπυλώνει τις τροχιές των σωματιδίων και επιτρέπει έτσι την μέτρηση της ορμής τους.

Πιο κάτω βλέπετε μια σχηματική εικόνα του πώς διαφορετικά σωματίδια αλληλεπιδρούν με διαφορετικά τμήματα του ανιχνευτή:



23

Κάθετη τομή, που δείχνει τις τροχιές των σωματιδίων



Η όλη πληροφορία των ανιχνευτών καταγράφεται ηλεκτρονικά και ανακατασκευάζεται με υπολογιστές.

Στον **ανιχνευτή ATLAS** διακρίνουμε τρία κύρια μέρη: τον εσωτερικό ανιχνευτή που μετράει την ορμή των σωματιδίων, το θερμιδόμετρο που απορροφά την ενέργεια των σωματιδίων όταν συγκρούονται και έτσι μετράει την ενέργεια τους και το φασματόμετρο

μιονίων που μετράει την ορμή τους. Στο επιστημονικό αυτό μεγαθήριο παράγονται κάθε χρόνο πληροφορίες που γεμίζουν 3.000.000 DVD! Με αυτόν τον τρόπο έχουμε κατορθώσει να αποτυπώσουμε στις ειδικές συσκευές και την μνήμη των υπολογιστών τα χνάρια των συνθηκών που επικρατούσαν τις πρώτες απειροελάχιστες στιγμές της δημιουργίας του σύμπαντος πριν από 13,82 δις χρόνια.

19. Οι δυνάμεις συνενώνουν τα σωματίδια

Η "συγκολλητική ουσία" είναι οι δυνάμεις. Αυτές διαδίδονται μέσω σωματιδίων διαφορετικών από εκείνα της ύλης. Είναι φορείς των δυνάμεων και έχουν εφήμερη ύπαρξη καθώς μεταφέρουν πληροφορίες από το ένα σωματίδιο στο άλλο.

Οι τέσσερις δυνάμεις που συναντάμε στη Φύση είναι οι εξής :

- **βαρυτική**
- **ισχυρή**
- **ηλεκτρασθενής (ηλεκτρομαγνητική και ασθενής)**

20. Οι φορείς των αλληλεπιδράσεων

Φορείς έχουν και οι άλλες αλληλεπιδράσεις. Η συνεπής περιγραφή της ασθενούς αλληλεπίδρασης απαιτεί την ύπαρξη τριών φορέων: Z^0 , W^- και W^+ (ο πρώτος ηλεκτρικά ουδέτερος ενώ οι άλλοι δυο αρνητικά και θετικά φορτισμένοι αντίστοιχα). Η ανάγκη ενός μόνο φορέα για την περιγραφή της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης και **τριών** για την ασθενή αντανακλά το μαθηματικό υπόβαθρο της θεωρίας που στηρίζεται στη **Θεωρία των Ομάδων**.

Όνομα	Σύμβολο	Σπιν	Φορτίο	Μάζα (GeV)	Αλληλεπίδραση	Θεωρία
Φωτόνιο	γ	1	0	0	Ηλεκτρο-- μαγνητική	Ηλεκτρο-δυναμική
Μποζόνιο W	W^\pm	1	± 1	80.22	Ασθενής	Γευσοδυναμική
Μποζόνιο Z	Z^0	1	0	91.19	Ασθενής	Γευσοδυναμική
Γλουόνιο	g	1	0	0	Ισχυρή	Χρωμοδυναμική
Βαρυτόνιο	(g)	2	0	0	Βαρυτική	Γεωμετροδυναμική

Η ισχυρή αλληλεπίδραση, στο επίπεδο των κουάρκ, απαιτεί **οκτώ** φορείς που ονομάζουμε γκλουόνια (gluons) τα οποία ανταλλάσσονται μεταξύ των κουάρκ. Τέλος η βαρυτική αλληλεπίδραση, παρόλο που δεν έχουμε μια συνεπή θεωρία περιγραφής της ανάλογη με τις άλλες αλληλεπιδράσεις, πιστεύουμε ότι έχει τον δικό της φορέα: το **βαρυτόνιο**

21. Η ενοποίηση των δυνάμεων

Η έννοια της Ενοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ως μια έμμονη ιδέα, όχι μόνο των Φυσικών, αλλά και πολλών άλλων ερευνητικών τομέων, ενώ ταυτόχρονα οι ρίζες της είναι πολύ παλιές. Με απλά λόγια θα λέγαμε ότι η ενοποίηση προσπαθεί να περιγράψει "όσο το δυνατόν πιο πολλά χρησιμοποιώντας όσο το δυνατόν πιο λίγα". Η **τετράδα του Αριστοτέλη φωτιά, νερό, αέρας και γη** αποτελούσε μια πρώτη ενοποίηση περιγραφής της ύλης. Η

πρώτη σοβαρή ενοποίηση έγινε δυστυχώς πολύ αργότερα: μόλις τον 17ο αιώνα ο Νεύτωνας (ενοποίησε την ουράνια με την επίγεια μηχανική. Την επόμενη ενοποίηση την πραγματοποίησε ο Μάξουελ (Maxwell) τον 19ο αιώνα που περιέγραψε με τις τέσσερις περίφημες εξισώσεις του όλα τα γνωστά έως τότε (και όσα εμφανίστηκαν στο μέλλον!) φαινόμενα του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού και καθιέρωσε αυτό που σήμερα αποκαλούμε ηλεκτρομαγνητισμό.

Στις αρχές του 20ου αιώνα ο Αϊνστάιν (ενοποίησε το χώρο και το χρόνο με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας), ενώ η τελευταία ενοποίηση παρουσιάστηκε στα 1967 και περιλαμβάνει την ηλεκτρομαγνητική και την ασθενή αλληλεπίδραση ως διαφορετικές όψεις μιας ενιαίας δύναμης: της **ηλεκτρασθενούς**.

Μετά από πολλές θετικές πειραματικές ενδείξεις, το 1982 ανακαλύφθηκε στο Ευρωπαϊκό Εργαστήριο Φυσικής Σωματιδίων, CERN (στη Γενεύη), το σωματίδιο Z^0 , ο φορέας της ασθενούς αλληλεπίδρασης, με όλες τις ιδιότητες που προέβλεπε η νέα θεωρία. Οι δημιουργοί της Θεωρίας: Γκλάσσοου (S. Glashow), Σαλάμ (A. Salam) και Ουάϊνμπεργκ (S. Weinberg) είχαν ήδη τιμηθεί με το βραβείο Νομπέλ, ενώ τους ακολούθησαν για την ανακάλυψη του Z^0 οι Ρούμπια (C. Rubbia) και Βαν ντερ Μερ (S. Vander Meer)

22. Μποζόνιο Higgs

Το σωματίδιο πήρε το όνομά του από τον Βρετανό επιστήμονα **Πίτερ Χιγκς** που ήταν ο πρώτος που μίλησε για αυτό πριν από 45 χρόνια. Αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της σωματιδιακής Φυσικής αφού καλύπτει το κενό στις θεωρίες για την ύπαρξη της μάζας στην ύλη.

Το **μποζόνιο Χιγκς** είναι το μόνο από τα σωματίδια του Καθιερωμένου Μοντέλου που εξακολουθούσε να διαφεύγει από τα όργανα παρατήρησης των ερευνητών. Αυτό γιατί, σύμφωνα με τη θεωρία, εμφανίζεται μόνο σε εξαιρετικά υψηλές ενέργειες σαν αυτές που παρήχθησαν αμέσως μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

Στα πειράματα που γίνονται με τον γιγάντιο επιταχυντή LHC στο CERN καθώς και με τον επιταχυντή Tevatron στο Fermilab γίνονται συνεχώς προσπάθειες αναδημιουργίας των συνθηκών που επικράτησαν όταν συνέβη η Μεγάλη Έκρηξη.

Η ιστορία του σωματιδίου Higgs



Η ιστορία ξεκινάει πολύ παλιά, όταν ήδη από τα τέλη του 19ου αιώνα, με την εξαιρετικά επιτυχημένη ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell στην οποία με 4 εξισώσεις ενοποίησε τον ηλεκτρισμό με το μαγνητισμό, οι φυσικοί συνειδητοποίησαν ότι ο καλύτερος τρόπος να περιγράψει κανείς τη φύση είναι με τη διαμεσολάβηση πεδίων. Όλες μας οι θεμελιώδεις θεωρίες πλέον για τη φύση περιέχουν πεδία, είτε βαρυτικά είτε ηλεκτρομαγνητικά, είτε άλλα πιο εξωτικά με έντονη κβαντική συμπεριφορά. Τα πεδία

διαδίδονται μέσω κάποιων σωματιδίων - φορέων, τα λεγόμενα μποζόνια τα οποία είναι και αυτά που αλληλεπιδρούν - εάν αλληλεπιδρούν, με την ύλη.

Έπειτα από σημαντική πρόοδο στην εξερεύνηση των πεδίων που κυβερνάνε το μικρόκοσμο, φθάνουμε στο 1964 όπου με μία σειρά από δημοσιεύσεις, πρωτοδιατυπώθηκε ο λεγόμενος σήμερα μηχανισμός Higgs, ο τρόπος με τον οποίο πιστεύουμε ότι τα σωματίδια (ακόμη και το ίδιο το Higgs) αποκτούν μάζα.

Πρώτοι χρονικά σχετικά με το μηχανισμό αυτό δημοσίευσαν οι Robert Brout και François Englert από το πανεπιστήμιο των Βρυξελλών, τον Αύγουστο του 1964. Ο πρώτος όμως ο οποίος αναφέρθηκε συγκεκριμένα σε αυτό το σωματίδιο και τις ιδιότητές του ήταν ο Peter Higgs στη δημοσίευσή του Οκτωβρίου του ίδιου έτους με τίτλο «Σπασμένες συμμετρίες και οι μάζες των μποζονίων».

Να σημειώσουμε ότι ασφαλώς δεν ήταν ο Peter Higgs που έδωσε το όνομα του στο σωματίδιο που πρώτος αυτός συνέλαβε, όμως ο όρος καθιερώθηκε προς τιμήν του το 1972. Ο ίδιος, πάντα μετριοπαθής, αποφεύγει να αναφέρεται σε αυτό ως σωματίδιο Higgs, και κάνει μονίμως μνεία στους υπόλοιπους επιστήμονες που συμμετείχαν στη σειρά των ανακαλύψεων εκείνης της εποχής. Αν πάντως το όνομα μποζόνιο Higgs του ακούγεται περίεργο, ο όρος «σωματίδιο του Θεού» είναι κάτι που τον δυσανασχετεί ακόμη περισσότερο. Είναι ένα «παρατσούκλι» του σωματιδίου, που προέκυψε από το ευρέως γνωστό ομώνυμο εκλαϊκευμένο βιβλίο του φυσικού Leon Lederman στο οποίο περιγράφεται η πορεία της έρευνας για το σωματίδιο αυτό.

23. ΕΣΤΕΙΛΕ Ο ΘΕΟΣ ΣΗΜΑΔΙ !

Μία αδιόρατη ελπίδα ότι η ύπαρξη του μποζονίου του Χίγκς και μαζί η ικανότητά μας να κατανοήσουμε δυνάμεις που καθορίζουν την εξέλιξη του Σύμπαντος από τη στιγμή της δημιουργίας του γέννησαν ανακοινώσεις στο CERN (2011-2012). Η διεθνής επιστημονική κοινότητα των φυσικών υποδέχτηκε με αισθήματα συγκρατημένης αισιοδοξίας τα αποτελέσματα των ερευνητικών εργασιών για την ανεύρεση του μποζονίου του Χίγκς, που πραγματοποίησαν δύο πολυπληθείς ομάδες ειδικών, αξιοποιώντας τα δεδομένα από τους ανιχνευτές ATLAS και CMS του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων στο CERN.

Και οι δύο ομάδες επιστημόνων, που εργάστηκαν ανεξάρτητα η μία από την άλλη, εντόπισαν ίχνη του μποζονίου Χίγκς σε μία περιοχή με μάζα 124 με 126 GeV που σημαίνει ότι τα μποζόνια του Χίγκς που έμμεσα ανιχνεύτηκαν από τις συγκρούσεις πρωτονίων μέσα στον Επιταχυντή είχαν μάζα κατά μέσο όρο από 124 έως 126 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του πρωτονίου.

Η ανεύρεση του μποζονίου του Χίγκς - το οποίο προτάθηκε από τον Βρετανό φυσικό Πίτερ Χίγκς τη δεκαετία του 1960 ως το σωματίδιο εκείνο που προσδίδει μάζα σε άλλα σωματίδια - αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την επιβεβαίωση της λεγόμενης θεωρίας της υπερσυμμετρίας.

Η θεωρία αυτή, αποτελεί ένα πολύτιμο ερμηνευτικό εργαλείο για την κατανόηση βαθύτερων καταστάσεων και δυνάμεων που ρυθμίζουν τη λειτουργία του Σύμπαντος. Αυτές οι δυνάμεις είναι αόρατες από τον άνθρωπο και αντιπροσωπεύουν το 90% του Σύμπαντος.

Το μποζόνιο Χίγκς αλλά και το πεδίο Χίγκς μέσα στο οποίο νοείται η ύπαρξή του αποτελούν το τελευταίο κομμάτι του πάζλ μιας πολύ σημαντικής θεωρίας, και σχετικά παλιάς, που λέγεται Καθιερωμένο Μοντέλο. Η θεωρία αυτή μας εξηγεί πολλά πράγματα που συμβαίνουν στη Γη και στα αστέρια. Δεν μας εξηγεί όμως άλλες καταστάσεις και δυνάμεις που επανακαθορίζουν τα τεκταινόμενα στο αχανές Σύμπαν.

24. Πώς το μποζόνιο Χίγκς μπορεί να μας οδηγήσει στην κατανόηση του Σύμπαντος;

Βήμα, βήμα λένε οι ειδικοί. Το μποζόνιο Higgs ανιχνεύτηκε και κατ' επέκταση είναι σωστό το Καθιερωμένο Μοντέλο. Τώρα μπορούμε να ελέγξουμε την αξιοπιστία μιας πιο

φιλόδοξης θεωρίας, εκείνη της υπερσυμμετρίας, που μας μιλά για καινούργιες μορφές ύλης, που είναι τα υπερσυμμετρικά σωματίδια. Δηλαδή, όπως για κάθε σωματίδιο υπάρχει ένα αντισωματίδιο, έτσι μπορεί να υπάρχει και το υπερσυμμετρικό του σωματίδιο. Απέναντι σε ένα νορμάλ ηλεκτρόνιο ίσως να βρίσκεται ένα υπερσυμμετρικό ηλεκτρόνιο που να μην διαθέτει το ίδιο φορτίο και αλληλεπιδρά με τον ίδιο τρόπο, διαθέτει ωστόσο άλλη μάζα και άλλο τρόπο περιφοράς.

25. ΜΙΑ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΕΩΝ ΤΗΣ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ

Η συμμετρία αποτελεί θεμελιώδη ιδέα της Φυσικής. Γενικά, οι νόμοι της Φυσικής, εμπεριέχουν εντυπωσιακές συμμετρίες.

Για παράδειγμα, οι βασικές εξισώσεις της κινηματικής είναι συμμετρικές ως προς τον χρόνο. Έτσι βλέπουμε οι εξισώσεις της κινηματικής να είναι το ίδιο αποτελεσματικές είτε έχουμε θετικούς χρόνους είτε αρνητικούς χρόνους (χρονική συμμετρία). Σύμφωνα με το θεώρημα του Noether, κάθε συμμετρία συνεπάγεται την ύπαρξη κάποιου μετρήσιμου μεγέθους που παραμένει σταθερό (νόμος διατήρησης του αντίστοιχου μεγέθους).

Στον μικρόκοσμο, παρατηρούνται αρκετές συμμετρίες: Έτσι, οι αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων είναι συμμετρικές ως προς τη μετατόπιση τους ως προς τον χρόνο και χώρο. Σαν συνέπεια αυτών των δύο συμμετριών έχουμε **τη διατήρηση της ενέργειας και της ορμής**, αντίστοιχα.

Η τρίτη συμμετρία έχει να κάνει με τον προσανατολισμό στο χώρο. Οι αλληλεπιδράσεις δεν εξαρτώνται από την διεύθυνση των σωματιδίων. Από αυτή τη συμμετρία προέρχεται η διατήρηση της στροφορμής του συστήματος ως προς τον χρόνο. Και τέλος υπάρχει μία συμμετρία από την οποία προέρχεται η διατήρηση του ηλεκτρικού φορτίου.

Στο επίπεδο του νόμου της βαρύτητας του Νεύτωνα, αλλά και στο επίπεδο των ατόμων είναι γνωστή η συμμετρία ως προς τις στροφές. Η συμμετρία αυτή υποδηλώνει ότι η εξέλιξη με το χρόνο ενός απομονωμένου συστήματος δεν εξαρτάται από τον αρχικό του προσανατολισμό στο χώρο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν απόλυτες κατευθύνσεις αλλά σχετικές.

Άλλες συμμετρίες γίνονται αντιληπτές με γεωμετρικούς όρους. Ένα σωματίδιο που περιστρέφεται μπροστά σ' ένα καθρέπτη αριστερόστροφα, το είδωλο του περιστρέφεται δεξιόστροφα (χωρική συμμετρία).

Και το σωματίδιο και το είδωλο του, συμπεριφέρονται με τρόπους επιτρεπτούς με τους νόμους της Φυσικής, που είναι συμμετρικοί μ' αυτή την έννοια. Δηλαδή το είδωλο στον καθρέπτη περιστρέφεται όπως το σωματίδιο αν είχε αντιστραφεί ο χρόνος. Αν όμως αντιστραφεί ο χρόνος και πάρουμε το είδωλο στον καθρέπτη τότε το είδωλο περιστρέφεται όπως το αρχικό. Επανερχόμαστε λοιπόν εκεί που ξεκινήσαμε, με τις δύο αντιστροφές.

Άλλο παράδειγμα έχουμε στον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, αν κάνουμε κατοπτρική ανάκλαση, η δύναμη και η επιτάχυνση αλλάζουν κατεύθυνση κατά τον ίδιο τρόπο. Έτσι ο νόμος του Νεύτωνα παραμένει αναλλοίωτος σ' αυτή την αλλαγή.

Οι συμμετρίες της ομοτιμίας (P), συζυγίας φορτίου (C) και αντιστροφής του χρόνου (T)

Στο χώρο των σωματιδίων, υπάρχουν τρεις κύριες συμμετρίες. Ο κατοπτρισμός ως προς τον χρόνο T (Time Reversal), ο κατοπτρισμός ως προς το χώρο (Space Inversion), που λέγεται ομοτιμία P (Parity) και τέλος ο κατοπτρισμός ως προς το φορτίο C (Charge Conjugation). Και οι τρεις λέγονται με μία λέξη CPT.

Το αναλλοίωτο των φυσικών νόμων ως προς την συζυγία του ηλεκτρικού φορτίου, είναι κάτι το αποδεδειγμένο στην Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων. **Καμιά αλλαγή δεν παρατηρείται στην κίνηση ενός φορτίου αν αλλάξει το πρόσημο του και ταυτόχρονα η διεύθυνση του ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο κινείται. Οι φυσικοί νόμοι παρουσιάζονται να είναι αναλλοίωτοι στην αλλαγή των προσήμων όλων των φορτίων. Κι αυτό αναφέρεται σαν συζυγία φορτίου.** Η συζυγία αυτή έχει ισχύ για όλες τις αλληλεπιδράσεις εκτός των ασθενών αλληλεπιδράσεων όπως έγινε και στην περίπτωση της

ομοτιμίας. Γιατί η μη ισχύς της συμμετρίας της ομοτιμίας συνεπάγεται ταυτόχρονα στις ίδιες ασθενείς αλληλεπιδράσεις και τη μη ισχύ της συμμετρίας του φορτίου.

Η συμμετρία του χρόνου προέκυψε από την ιδέα του μη επηρεασμού της κατεύθυνσης του χρόνου, για τα σωματίδια.

Ο Φυσικός E.Wigner κέρδισε το βραβείο Nobel για την Φυσική το 1963. Κέρδισε το βραβείο για πολλές εργασίες του μεταξύ των οποίων και για την διατήρηση της ομοτιμίας.

Ένα σπουδαίο θεώρημα της Φυσικής, το CPT, λέει ότι οι νόμοι της Φυσικής πρέπει να παραμένουν ανεπηρέαστοι (αναλλοίωτοι) από την αλλαγή και των τριών συμμετριών με των αντιστοίχων σωματιδίων.

Το 1956 όμως δύο Αμερικανοί Φυσικοί, ο Lee και ο Yang, υπέθεσαν ότι η ασθενής πυρηνική αλληλεπίδραση δεν υπακούει στη συμμετρία P, γιατί το σωματίδιο φορέας της ασθενούς αλληλεπίδρασης μποζόνιο W, έχει μάζα και φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι η ασθενής αλληλεπίδραση ανάγκασε το Σύμπαν να εξελιχθεί διαφορετικά απ' ό,τι θα εξελίσσονταν το κατοπτρικό του Σύμπαν.

Ανακαλύφθηκε επίσης ότι η ασθενής αλληλεπίδραση δεν υπακούει και στην συμμετρία C. Αυτό σημαίνει ότι ένα Σύμπαν με αντισωματίδια εξελίσσεται διαφορετικά από το δικό μας.

Οι Φυσικοί όμως πίστευαν ότι θα μπορούσε η ασθενής αλληλεπίδραση, να υπακούει στη συνδυασμένη συμμετρία CP, παρόλο που και οι δύο συμμετρίες δεν ισχύουν. Τα πειράματα όμως έδειξαν ότι δεν ισχύει αυτή η συνδυασμένη συμμετρία.

Συμμετρία ως προς τον χρόνο

Μέχρι το 1964, οι Φυσικοί πίστευαν ότι σε όλα τα μικροσκοπικά φαινόμενα οι δύο κατευθύνσεις του χρόνου είναι απολύτως ισοδύναμες. Έτσι, έπεσε κεραυνός εν αιθρία όταν δύο άλλοι Αμερικανοί Φυσικοί, ο J.Cronin και ο Val Fitch ανακάλυψαν ότι, κατά τη διάσπαση κάποιων σωματιδίων που ονομάζονται K-μεσόνια, ακόμη και αυτή η συνδυασμένη συμμετρία CP έπαυε να ισχύει. Και μάλιστα αυτό συνεπάγεται συγχρόνως την παραβίαση, σε όρισμένες σπάνιες περιπτώσεις, και της αντιστροφής του χρόνου.

Σύμφωνα με κάποιο μαθηματικό θεώρημα κάθε θεωρία που υπακούει στους νόμους της κβαντικής μηχανικής και της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας πρέπει επίσης να υπακούει στην συνδυασμένη συμμετρία CPT. Δηλαδή, το Σύμπαν πρέπει να εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο αν αντικαταστήσουμε τα σωματίδια με τα αντισωματίδια τους, πάρουμε το κατοπτρικό του Σύμπαν και αντιστρέψουμε τον χρόνο.

Ο Cronin και Fitch έδειξαν ότι αν κάνουμε τις δύο πρώτες αντιστροφές C και P κι όχι την αντιστροφή του χρόνου, το Σύμπαν δεν εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο. Η αντιστροφή του χρόνου πρέπει να αλλάζει κάποιους νόμους της Φύσης!. Το Σύμπαν που υπακούει στη συνδυασμένη συμμετρία CPT, αφού δεν υπακούει στη συνδυασμένη συμμετρία CP, δεν πρέπει να υπακούει και στη συμμετρία T.

Και οι δύο προαναφερθέντες ομάδες Φυσικών πήραν το βραβείο Nobel για αυτές τις ανακαλύψεις τους. Το 1957 για την παραβίαση της P συμμετρίας οι Lee και Yang και το 1980 οι Cronin και Fitch για την παραβίαση της συμμετρίας CP στα K-μεσόνια.

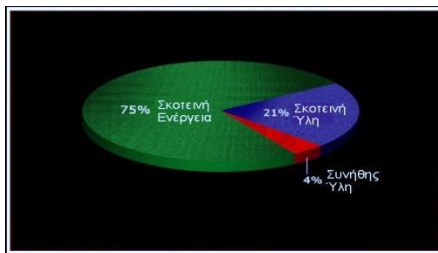
Το συμπέρασμα για το διαστελλόμενο Σύμπαν είναι ότι αν αντιστρέψουμε την κατεύθυνση του χρόνου, τότε το Σύμπαν δεν διαστέλλεται πιά αλλά συστέλλεται. Και αφού η αντιστροφή του χρόνου αλλάζει κάποιους νόμους της Φύσης, συμπεραίνουμε ότι αυτοί οι νόμοι μπορεί να είναι η αιτία που μετατρέπονται τα περισσότερα αντι-ηλεκτρόνια σε quarks απ' όσα ηλεκτρόνια σε αντι-quarks.

26. ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΎΛΗ-ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Υπερσυμμετρία

Είναι μια έννοια που επιτρέπει την ερμηνεία μιας από τις πιο περίεργες ανακαλύψεις των τελευταίων ετών: το συμπέρασμα ότι η ορατή ύλη δεν αντιπροσωπεύει παρά το 4% του

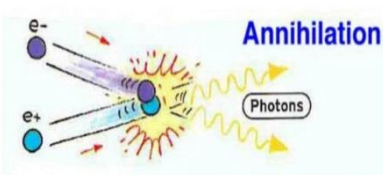
σύμπαντος. Η σκοτεινή ύλη (23%) και η σκοτεινή ενέργεια (73%) μοιράζονται το υπόλοιπο 96% τα σύμπαντος.



Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι η σκοτεινή ύλη αποτελείται από υπερσυμμετρικά σωματίδια που ονομάζονται **neutralinos** (νετραλίνο: το υποθετικό σωματίδιο της σκοτεινής ύλης, το οποίο προβλέπεται από τη θεωρία της υπερσυμμετρίας). Ο εντοπισμός του νετραλίνου είναι πιο εύκολος από του μποζονίου Χιγκς και, αν επιτευχθεί, θα λύσει δύο προβλήματα ταυτοχρόνως: θα επιβεβαιώσει τη θεωρία της υπερσυμμετρίας και θα ξεδιαλύνει το μυστήριο της σκοτεινής ύλης. Το μποζόνιο Χιγκς έτσι ίσως περάσει σε δεύτερη μοίρα.

Παραβίαση της CP συμμετρίας. Γιατί μετά τη Μεγάλη Έκρηξη επικράτησε ή ύλη και όχι η αντιύλη;

Πρόκειται ουσιαστικά για τη μελέτη του μυστηρίου στην αναλογία ύλης και αντι-ύλης στο σύμπαν. Όταν η ενέργεια μετατρέπεται σε ύλη, παράγει ένα ζεύγος σωματιδίων: το «υλικό» σωματίδιο και το είδωλό του, ένα αντι-σωματίδιο με αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο. Όταν ένα σωματίδιο και το αντι-σωματίδιό του συγκρούονται, αλληλοκαταστρέφονται παράγοντας μια μικρή λάμψη ενέργειας.



29

Τη στιγμή του Big Bang, θεωρείται ότι ύλη και αντι-ύλη παρήχθησαν σε ίσες ποσότητες. Αλλά το σύμπαν αποτελείται μόνο από ύλη. Κατά συνέπεια, προκύπτει το μεγάλο ερώτημα πού βρίσκεται η αντι-ύλη; Ένας από τους ανιχνευτές του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων θα ανιχνεύσει ένα σωματίδιο που ονομάζεται meson b και αποτελείται από ένα quark b και το δίδυμό του αντι-ύλης προσπαθώντας μέσω των ιδιοτήτων του σωματιδίου αυτού να δώσει απάντηση στο ζήτημα της παραβίασης της συμμετρίας ύλης – αντιύλης.

Σκοτεινή ύλη

Πρόκειται για υποθετικά σωματίδια ύλης, άγνωστης σύνθεσης, τα οποία δεν εκλύουν ούτε αντανακλούν αρκετή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ώστε να μπορούν να γίνουν άμεσα ανιχνεύσιμα. Η ύπαρξή τους μπορεί να διαπιστωθεί από τα βαρυτικά αποτελέσματα σε ορατή ύλη, όπως τα αστέρια και οι γαλαξίες.

Η υπόθεση της σκοτεινής ύλης έχει σαν στόχο να εξηγήσει διάφορες αστρονομικές παρατηρήσεις που δεν συμφωνούν με τη θεωρία μας για τη βαρύτητα, όπως ανωμαλίες στην ταχύτητα περιστροφής των αστεριών στις παρυφές των γαλαξιών. Η ταχύτητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το αναμενόμενο, πράγμα που εξηγείται είτε με την παραδοχή ότι η θεωρία μας για τη βαρύτητα είναι λάθος (γεγονός όμως για το οποίο υπάρχουν πολλά αντίθετα επιχειρήματα) είτε με τη θεώρηση της ύπαρξης μιας μεγάλης ποσότητας μάζας που, προς το παρόν τουλάχιστον, δεν μπορούμε να δούμε.

Η ύπαρξη της σκοτεινής ύλης θα έλυνε ένα πλήθος προβλημάτων συνέπειας στη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης. Αν η σκοτεινή ύλη υπάρχει, υπερβαίνει σημαντικά σε μάζα το ορατό μέρος του σύμπαντος. **Μόνο το 4% της συνολικής μάζας του σύμπαντος μπορεί να**

γίνει άμεσα ορατό. Περίπου το 22-26% υπολογίζεται ότι αποτελείται από σκοτεινή ύλη. Το υπόλοιπο 70-74% αποτελείται από σκοτεινή ενέργεια, ένα ακόμα πιο περίεργο στοιχείο, διάσπαρτο στο διάστημα, το οποίο πιθανότατα δεν μπορεί να λογιστεί σαν συνήθη σωματίδια. Ο καθορισμός της φύσης αυτής της χαμένης μάζας είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα της σύγχρονης κοσμολογίας και της φυσικής των σωματιδίων.

Η ιστορία ξεκίνησε το 1933, όταν ο αστρονόμος Fritz Zwicky μελετούσε την κίνηση μακρινών σμηνών γαλαξιών μεγάλης μάζας, συγκεκριμένα το Σμήνος της Κόμης κι αυτό της Παρθένου. Ο Zwicky υπολόγισε τη μάζα του κάθε γαλαξία του σμήνους βασιζόμενος στη λαμπρότητα του, κι άθροισε όλες τις γαλαξιακές μάζες για να υπολογίσει τη συνολική μάζα του σμήνους. Στη συνέχεια βρήκε ένα δεύτερο υπολογισμό ανεξάρτητο της συνολικής μάζας, που βασίστηκε στη μέτρηση των ατομικών ταχυτήτων των γαλαξιών του σμήνους. Προς μεγάλη του έκπληξη, αυτός ο δεύτερος υπολογισμός δυναμικής μάζας ήταν 400 φορές πιο μεγάλος από τον υπολογισμό που βασιζόταν στο φως των γαλαξιών. Αν τα σωματίδια της σκοτεινής ύλης έχουν μάζες, όπως πιστεύεται, της τάξης των μερικών TeV τότε πιθανότατα θα εμφανιστούν κατά τη λειτουργία του LHC, οπότε θα γίνει προσπάθεια να μελετηθούν οι κβαντικές τους ιδιότητες.

ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η σκοτεινή ενέργεια είναι ένα υποθετικό είδος ενέργειας που διατρέχει όλο το σύμπαν και θεωρείται ότι μπορεί να εξηγήσει το γεγονός ότι το σύμπαν διαστέλλεται με επιταχυνόμενο ρυθμό. Πιστεύεται ότι αποτελεί το 74% της ολικής μάζας και ενέργειας του σύμπαντος. Η φύση της σκοτεινής ενέργειας αποτελεί μυστήριο καθώς φαίνεται να είναι ομογενής αλλά όχι πολύ πυκνή, ενώ δεν αλληλεπιδρά με καμία από τις θεμελιώδεις δυνάμεις πλην της βαρυτικής.

Η ιστορία με τη σκοτεινή ενέργεια αρχίζει το 1998, όταν δύο ανεξάρτητες ομάδες αστρονόμων ερευνούσαν για μακρινούς σούπερ νόβα, προσδοκώντας να μετρήσουν τον ρυθμό ελάττωσης της διαστολής του σύμπαντος. Ένοιωσαν λοιπόν σοκ όταν διαπίστωσαν ότι η διαστολή επιταχυνόταν. Πράγματι, το σύμπαν άρχισε να επιταχύνει τη διαστολή του, πριν από πολύ καιρό, κάπου μέσα στα 10 δισεκατομμύρια τελευταία χρόνια. Οι παρατηρήσεις των σούπερ νόβα απαιτούν την ύπαρξη μιας ουσίας που να προκαλεί την βαρυτική επιταχυνόμενη άπωση. Οι αστρονόμοι ξέρουν από παλιά το πρόβλημα της ενέργειας που εμφανίζεται να λείπει από το σύμπαν: **η συνολική μάζα των γαλαξιών και των σμηνών τους είναι σημαντικά λιγότερη από τη μάζα που απαιτείται για να εξηγηθούν οι ταχύτητες των γαλαξιών.**

Τελικά το σύμπαν επιβραδύνεται ή επιταχύνεται;

Οι περισσότεροι επιστήμονες, μέχρι τα τέλη σχεδόν του περασμένου αιώνα, θεωρούσαν ότι η διαστολή του Σύμπαντος επιβραδύνεται, κάτι που θεωρούνταν απολύτως φυσιολογικό, αφού σ' αυτές τις κολοσσιαίες κοσμικές κλίμακες η βαρύτητα είναι εκείνη η φυσική αλληλεπίδραση που υπερισχύει. Και καθώς η βαρύτητα είναι πάντα ελκτική, από τη στιγμή της δημιουργίας του και μετά, από τη στιγμή δηλαδή που η Μεγάλη Έκρηξη γέννησε τον ίδιο το χώρο και το χρόνο, η διαστολή του επιβραδύνεται. Γι' αυτό, όταν ξεκίνησε στα 1987 το διεθνές ερευνητικό πρόγραμμα Supernova Cosmology Project, ο βασικός του στόχος ήταν να υπολογίσει, μέσα από την ανίχνευση συγκεκριμένων σουπερνόβα εκρήξεων, αυτόν ακριβώς το ρυθμό επιβράδυνσης της διαστολής του.

Λίγα χρόνια αργότερα, και συγκεκριμένα το 1995, μία δεύτερη ερευνητική ομάδα, η High Z Supernova Team, μπήκε στο παιχνίδι. Τα αποτελέσματα των δύο ερευνητικών ομάδων που ανακοινώθηκαν επίσημα τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο του 1998 άφησαν τη διεθνή επιστημονική κοινότητα «με το στόμα ανοιχτό»! Γιατί η ανάλυση των δεδομένων, αντί απλά να οδηγήσει στον υπολογισμό του ρυθμού επιβράδυνσης της διαστολής του Σύμπαντος με περισσότερη ακρίβεια, όπως όλοι περίμεναν, οδήγησε τους ερευνητές στο ακριβώς αντίθετο, στο συμπέρασμα δηλαδή ότι η διαστολή του Σύμπαντος επιταχύνεται! Και αυτό συνέβη 5δς χρόνια μετά την μεγάλη έκρηξη. **Η δύναμη που προκάλεσε αυτήν την επιτάχυνση είναι ανάλογη της απόστασης r.**

Οι επιστήμονες κατέληξαν ότι, προκειμένου να εξηγηθεί αυτή η επιταχυνόμενη κοσμική διαστολή, το συνολικό απόθεμα μάζας και ενέργειας του Σύμπαντος θα πρέπει να κυριαρχείται από ένα άγνωστο, παράξενο και βαρυτικά απωστικό «κάτι». Αυτό το κάτι το ονόμασαν «σκοτεινή ενέργεια». Και είναι πράγματι σκοτεινή γιατί, ακόμα και σήμερα, 15 χρόνια μετά την επιβεβαίωση της ύπαρξής της, η φύση της σκοτεινής αυτής ενέργειας εξακολουθεί να διαφεύγει από τους επιστήμονες.

Τελικά ποια είναι τα όρια του σύμπαντος;

Όρια υπάρχουν μόνο για το ορατό σύμπαν. Τα όρια του υπόλοιπου σύμπαντος μας είναι άγνωστα!

26. Μια ενδιαφέρουσα συνέντευξη του Δ. Νανόπουλου για τον εντοπισμό του σωματιδίου Higgs



«Άξιζε να το ζήσουν ο Θαλής, ο Πυθαγόρας, ο Δημόκριτος...»

* Πιστεύετε τελικά ότι η επιστήμη θα χωρίζεται πλέον χρονολογικά σε π.Χ. (προ σωματιδίου Χιγκς) και μ.Χ. (μετά σωματίδιο Χιγκς);

«Ναι. Μιλάμε για το σωματίδιο το οποίο δημιουργεί τη μάζα σε όλα τα υπόλοιπα σωματίδια που υπάρχουν. Είναι “η μάνα όλων των μαζών”».

* Και για να το καταλάβουμε ίσως καλύτερα, με ποια προηγούμενη επιστημονική ανακάλυψη θα συγκρίνατε αυτήν εδώ;

«Θα τη συνέκρινα ίσως με την ανακάλυψη της αντι-ύλης από τον Άντερσον το 1932. Είχα πει πολλές φορές ότι αν δεν βρεθεί το σωματίδιο Χιγκς, τότε η δική μας γενιά έχει πάρει επιστημονικά τη ζωή της εντελώς λάθος και θα πάω για ψάρεμα σε κάποιο μικρό νησάκι».

* Έγινε κάποιος υπολογισμός της μάζας του μποζονίου Higgs;

«Εκτός από το ότι το σωματίδιο Χιγκς φώναξε “εδώ είμαι”, είναι εξαιρετικά σημαντικό και το πόση μάζα έχει τελικά. Βρίσκεται στα 125 GeV, συν πλην ένα. Θα μπορούσε να έχει από εκατό φορές τη μάζα του πρωτονίου και να φτάνει ως χίλιες φορές. Μιλάμε για μια πολύ μεγάλη περιοχή. Είναι όμως πάρα πολύ σημαντικό ότι το βλέπουν στην περιοχή αυτή ακριβώς η οποία είχε προβλεφθεί ότι πρέπει να είναι των 125 GeV».

* Αφού τα σωματίδια Χιγκς δίνουν μάζα σε όλα τα υπόλοιπα σώματα, έχουμε και εμείς στο σώμα μας σωματίδια Χιγκς;

«Εννοείται. Με την έννοια αυτή έχουμε και στον οργανισμό μας τέτοια σωματίδια».

* Υπάρχει πιθανότητα κακής χρήσης αυτού του σωματιδίου όπως έγινε, ας πούμε, με την πυρηνική ενέργεια;

«Όταν ρώταγαν τον Ράδερφορντ και τον Αϊνστάιν τις δεκαετίες του '10 και του '20 αν αυτά που ανακάλυπταν τότε είχαν καμία σχέση με τη ζωή μας, αυτοί έλεγαν “όχι, απλά έτσι θα καταλάβουμε καλύτερα τον κόσμο”, και όμως είδατε μετά πώς χρησιμοποιήθηκαν οι ανακαλύψεις τους. Ποτέ δεν πρέπει να λες ποτέ, αλλά με την έννοια του άμεσου μέλλοντος δεν βλέπω να έχει κανενός είδους εφαρμογή».

* Ποια ήταν η συνεισφορά των Ελλήνων επιστημόνων στην ανακάλυψη του μποζονίου Higgs;

Ενώ η ύπαρξη του σωματιδίου προτάθηκε από τον Βρετανό Χιγκς, ο τρόπος που ανακαλύφθηκε τελικά είναι αρκετά «ελληνικής προέλευσης». «Είμαι πολύ ευτυχημένος γιατί ο τρόπος που παράγουν το σωματίδιο Χιγκς βασίζεται σε δύο εργασίες μου, η μία του 1976 στο

CERN με τον Τζον Ελις και η άλλη του 1978 στο Χάρβαρντ με τον Σέλντον Γκλάσσοου. Όπως μου είχε πει πριν από χρόνια ο μεγάλος φυσικός, ο Γκελμάν, αυτός που έχει ανακαλύψει τα quarks, “εσείς οι Έλληνες το ξεκινήσατε πριν από δυόμισι χιλιάδες χρόνια και μου φαίνεται ότι εσείς οι Νεοέλληνες θα το τελειώσετε”». Χαίρομαι πάρα πολύ που εμείς οι Έλληνες είμαστε στο κέντρο των πραγμάτων και στις προβλέψεις για τη μάζα του μποζονίου του Χιγκς αλλά και πειραματικά. Και νομίζω ότι αυτό πρέπει να μας κάνει υπερήφανους και να μας ανεβάσει κάπως ψυχολογικά. Όλος ο κόσμος ζει σε μια πραγματικά δύσκολη εποχή και τουλάχιστον συμβαίνουν τέτοια γεγονότα για να αποδεικνύουν τη μεγαλοσύνη του ανθρώπου».

*** Αυτή η ανακάλυψη νομίζετε ότι περισσότερο θα ενοποιήσει τους ανθρώπους ή μπορεί να τους διχάσει σε σχέση με τον Θεό και το Σύμπαν;**

«Η ανακάλυψη αυτή θα ενοποιήσει τον κόσμο. Η επιστήμη είναι ανεξάρτητη και τέτοιες ανακαλύψεις που αποδεικνύουν τη μεγαλοσύνη του ανθρωπίνου πνεύματος μας αγκαλιάζουν όλους. Η επιστήμη παίζει – και πρέπει να παίζει – τεράστιο ρόλο σε αυτή την ενοποίηση των ανθρώπων».

*** Ποιος πιστεύετε ότι θα άξιζε να ζει σήμερα για να ακούσει αυτή την ανακάλυψη;**

«Σίγουρα η παρέα Θαλής, Ηράκλειτος, Αναξίμανδρος, Πυθαγόρας και Δημόκριτος θα ήταν εκστασιασμένοι σήμερα. Αυτοί που κοίταζαν τον κόσμο και είπαν “εγώ τον κόσμο αυτόν θα τον καταλάβω με λογική”. Όλο το όνειρό τους, γενιά με τη γενιά, είναι πραγματοποιήσιμο τώρα. Και από τους νεότερους ο Αϊνστάιν».

*** Δεν είναι εκπληκτικά αντιφατικό ότι ο άνθρωπος, ο οποίος είναι σχεδόν το απόλυτο τίποτα στο Σύμπαν, είναι παράλληλα και τόσο σημαντικός ώστε να μπορεί να φτάνει τόσο βαθιά στην εξήγηση του Σύμπαντος;**

«Νομίζω ότι θα πεθάνω και αυτό θα είναι το μεγαλύτερο μυστήριο για εμένα. Ενώ είμαστε αυτά τα ανθρωπάκια, μπορούμε και συλλαμβάνουμε όλα αυτά και μπορούμε να εξηγούμε τι γίνεται στην άλλη μεριά του Σύμπαντος. Είμαστε πεπερασμένοι σε χρόνο και σε χώρο. Σε χρόνο γιατί έχουμε συγκεκριμένα χρόνια στα οποία ζούμε και σε χώρο γιατί είμαστε καρφωμένοι στη Γη ενώ το Σύμπαν είναι “άπειρο”. Αλλά και στη Γη ακόμη είμαστε μικρές μονάδες με 1,3 χιλιόγραμμα μυαλού. Αυτό λοιπόν το μυαλό είναι το μεγαλύτερο μυστήριο στη φύση. Και όπως έλεγε ο Αϊνστάιν, “το πιο ακατανόητο πράγμα είναι ότι το Σύμπαν είναι κατανοητό”».

*** Ποιο είναι το επόμενο βήμα;**

«Ο στόχος είναι οι υπερχορδές»

*** Υπάρχει πιθανότητα οι επιστήμονες να ψάχνετε το σωματίδιο που «γέννησε» το σωματίδιο του Χιγκς;**

«Ο τελικός στόχος είναι τα superstrings, οι υπερχορδές. Θα είμαστε ικανοποιημένοι για ένα διάστημα με αυτό που βρήκαμε τώρα, μετά θα έρθει η κατάθλιψη της κατάκτησης και μετά πάλι από την αρχή αλλά το ζητούμενο είναι οι υπερχορδές, αφού όλα αυτά είναι κατάλοιπά τους».

*** Το σωματίδιο του Χιγκς είναι κάτι σαν ορεκτικό δηλαδή;**

«Ναι. Το κυρίως πιάτο είναι οι υπερχορδές. Στην αρχή του Σύμπαντος οι ενέργειες ήταν τόσο μεγάλες που εκεί δούλευαν αυτές. Εγώ μιλάω για το σωματίδιο Χιγκς και το μυαλό μου είναι στο πολυσύμπαν».

*** Δηλαδή ακόμη και να υπάρχουν πιο προηγμένοι πολιτισμοί στο Σύμπαν, απλά θα έχουν βρει το σωματίδιο Χιγκς πριν από εμάς και θα το ονομάζουν αλλιώς;**

«Ακριβώς. Τα ίδια πράγματα θα βλέπουν, αλλά θα τα έχουν κατανοήσει με δικά τους σύμβολα και δεν θα το ονομάζουν μποζόνιο Χιγκς, αλλά κάπως αλλιώς στη δική τους γλώσσα συνεννόησης».

27. Το πεδίο και το σωματίδιο Higgs

α. Ο μηχανισμός Higgs με ένα απλό παράδειγμα...

Για να κατανοήσουμε τον μηχανισμό Higgs, ας φανταστούμε μια συγκέντρωση φυσικών οι οποίοι βρίσκονται ομοιόμορφα κατανεμημένοι μέσα σε μια αίθουσα, και συζητούν με τους διπλανούς τους.



Μια σημαντική φυσικός μπαίνει και διασχίζει την αίθουσα. Όλοι οι φυσικοί απ' όπου περνάει, έλκονται προς αυτήν και συνωθούνται γύρω της. Καθώς διασχίζει την αίθουσα, έλκει τα πρόσωπα που βρίσκονται κοντά της, ενώ αυτά που προσπέρασε, επιστρέφουν στις κανονικές αποστάσεις μεταξύ τους.



Επειδή πάντα υπάρχει ένας σωρός ανθρώπων γύρω της, αυτή αποκτά μεγαλύτερη μάζα απ' ότι θα είχε αν ήταν μόνη της. Αυτό υπονοεί ότι έχει τώρα περισσότερη ορμή για την ίδια ταχύτητα κίνησης. Δηλαδή, όταν κινείται είναι δυσκολότερο να σταματήσει, ενώ όταν σταματήσει, είναι δυσκολότερο να ξεκινήσει ξανά, διότι ο σωρός γύρω της πρέπει να κινηθεί και αυτός.

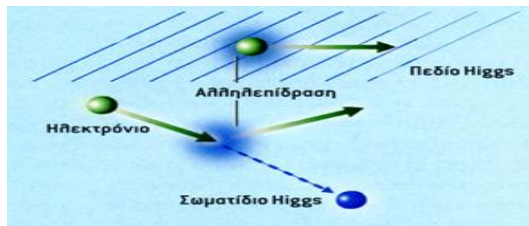
Ας θεωρήσουμε τώρα μια φήμη που διασπείρεται μέσα στην αίθουσα με τους φυσικούς. Όσοι βρίσκονται κοντά στην πόρτα, ακούνε πρώτοι τη φήμη και μαζεύονται για να συζητήσουν τις λεπτομέρειες. Μετά στρέφονται και πλησιάζουν τους επόμενους γείτονές τους που θέλουν να μάθουν και αυτοί τι έγινε.



Ένα κύμα από συνάθροιση προσώπων διαδίδεται μέσα στην αίθουσα. Μπορεί να απλωθεί σε όλες τις γωνιές, ή μπορεί να σχηματιστεί μια δέσμη από συμπύκνωση προσώπων που θα διαδοθεί προς μία μόνο διεύθυνση μέσα στην αίθουσα, και θα μεταφέρει τη φήμη. Παράγονται δηλαδή πάλι συμπυκνώσεις, αλλά αυτή τη φορά μεταξύ των ιδίων των επιστημόνων, χωρίς να χρειάζεται και άλλο πρόσωπο. Αφού η πληροφορία μεταφέρεται από συσσωματώματα ανθρώπων, και αφού τα συσσωματώματα ήταν εκείνα που έδωσαν περισσότερη μάζα στο πρόσωπο που μπήκε στην αίθουσα, τα συσσωματώματα αυτά από μόνα τους έχουν μάζα και χωρίς την ύπαρξη του σημαντικού προσώπου. Το μποζόνιο Higgs προβλέπεται ότι είναι ακριβώς ένα τέτοιο συσσωμάτωμα μέσα στο πεδίο Higgs.



β. Το πεδίο Higgs



Το πεδίο Χιγκς είναι ένας υποθετικός μέχρι στιγμής χώρος που αναπτύσσεται σε διαστάσεις που συνδέονται με τον χωροχρόνο στον οποίο ορίζεται η πραγματικότητα που ζούμε, φέρει ιδιαίτερες ιδιότητες και είναι μη ανιχνεύσιμος, άμεσα, από την δική μας πραγματικότητα. Μια από τις ιδιότητες του πεδίου Χιγκς είναι πως η αλληλεπίδραση των στοιχειωδών σωματιδίων με αυτό τους προσδίδει μάζα. Το πεδίο Higgs υπάρχει ανεξάρτητα από το σωματίδιο Higgs.

Χωρίς το πεδίο Higgs τίποτα στο σύμπαν δεν θα είχε μάζα, αφού η ύπαρξη του πεδίου αυτού δίνει σε όλα τα άλλα σωματίδια την μάζα τους. Υπάρχουν φυσικά και μερικά σωματίδια που δεν αντιδρούν καθόλου με το πεδίο, όπως είναι τα φωτόνια και τα γλουόνια., οπότε τα σωματίδια αυτά δεν έχουν μάζα.

γ. Γιατί προτάθηκε ο μηχανισμός Higgs

Ένα από τα ελάχιστα κομμάτια του Καθιερωμένου Μοντέλου που έμενε να επιβεβαιωθεί πειραματικά, ήταν ο μηχανισμός με τον οποίο θεωρούσαμε ότι τα σωματίδια αποκτούν μάζα (δηλαδή αδράνεια). Οι περισσότεροι θεωρούσαν ότι η μάζα είναι μια επίκτητος ιδιότητα, που το κάθε σωματίδιο δηλαδή φέρει από τη στιγμή της δημιουργίας του. Δυστυχώς δεν είναι έτσι τα πράγματα.

Όπως το φωτόνιο – ο διαδότης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου – δεν έχει μάζα, έτσι και το σωματίδιο W ένας από τους διαδότες της ασθενούς αλληλεπίδρασης δεν έπρεπε να είχε μάζα. Κι αυτό γιατί υπάρχει συμμετρία μεταξύ των δύο κβάντων των δύο πεδίων. Έτσι, η ασθενής αλληλεπίδραση θα κινδύνευε να μείνει έξω απ' το παιχνίδι της συμμετρίας και η θεωρητική εξήγηση της ενοποίησης της ασθενούς δύναμης με τον ηλεκτρομαγνητισμό (ηλεκτρασθενής δύναμη) θα οδηγείτο σε αδιέξοδο. Εδώ λοιπόν μπαίνει στο παιχνίδι ένα μυστηριώδες πεδίο, το πεδίο Higgs.

Το πεδίο αυτό μας επιτρέπει να θεωρούμε τα κβάντα όλων των αλληλεπιδράσεων σαν σωματίδια που αυτά καθαυτά δεν έχουν μάζα, φαίνεται όμως σ' εμάς ότι έχουν εξαιτίας της αλληλεπίδρασής τους με το πεδίο Higgs, ή καλύτερα με το κβάντο του πεδίου αυτού, το περίφημο μποζόνιο Higgs.

Δηλαδή σύμφωνα με την θεωρία των ερευνητών που εργάστηκαν ανεξάρτητα πάνω στο ίδιο πρόβλημα, η μάζα όλων των στοιχειωδών σωματιδίων είναι μια επίκτητη (φαινομενική) ιδιότητα που προκύπτει λόγω της αλληλεπίδρασής τους με το πανταχού παρόν πεδίο Higgs. Θα μπορούσαμε έτσι να πούμε πως αν το πεδίο αυτό «έσβηνε» ξαφνικά (όπως υποθέτουμε ότι ίσχυε για κάποια χρονική περίοδο μετά το Big Bang, λόγω των ακραίων θερμοκρασιών), όλα τα σωματίδια θα εμφανίζονταν χωρίς μάζα ή καλύτερα δεν θα είχαν αδράνεια, την ιδιότητα της ύλης να προβάλλει αντίσταση στη μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης.

Αυτό, εν συνεχεία, σύμφωνα με την Θεωρία της Σχετικότητας, θα σήμαινε ότι κάθε σωματίδιο θα ταξίδευε με την ταχύτητα του φωτός. Γνωρίζουμε, βέβαια, ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει σ' αλήθεια εκτός από το φωτόνιο.

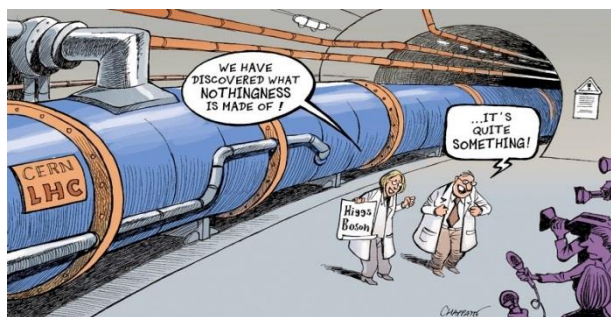
Στην αρχική τους μορφή, οι εξισώσεις του Καθιερωμένου Μοντέλου λειτουργούσαν μόνο αν η μάζα απουσίαζε από όλα στοιχειώδη σωματίδια. Ο μηχανισμός του Higgs προτάθηκε προκειμένου να συμβιβάσει το Μοντέλο με την μάζα που βλέπουμε στα σωματίδια. Επιπλέον, όμως, συνετέλεσε στο να ενοποιηθούν, δηλαδή να περιγραφούν με κοινό τρόπο, δύο από τις τέσσερις φυσικές δυνάμεις: η ηλεκτρομαγνητική δύναμη (που προέκυψε με τη σειρά της από την ενοποίηση του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού) και η

ασθενής πυρηνική δύναμη, η οποία περιγράφει ορισμένες αντιδράσεις, όπως η διάσπαση βήτα, που συμβαίνουν στον ήλιο. Αυτό που προέκυψε είναι η λεγόμενη «ηλεκτρασθενής δύναμη», η οποία επέτρεψε στους θεωρητικούς φυσικούς να προχωρήσουν ένα βήμα προς τον απώτερο, απόλυτο στόχο τους: να περιγράψουν μια θεωρία των πάντων, η οποία εξηγεί όλες τις φυσικές δυνάμεις ως παράγωγα μιας κοινής δύναμης που υπήρχε μόνη της τη στιγμή που γεννήθηκε το Σύμπαν.

Τα πρώτα συμπεράσματα....

Ό,τι υπάρχει στο Σύμπαν πιστεύεται ότι χωρίζεται σε δύο κατηγορίες στοιχειωδών σωματιδίων. Η πρώτη είναι τα φερμιόνια, τα οποία είναι συστατικά της ύλης. Η δεύτερη είναι τα μποζόνια, τα οποία λειτουργούν ως φορείς των φυσικών δυνάμεων και των αντίστοιχων πεδίων τους. Το φωτόνιο, για παράδειγμα, μεταδίδει την ηλεκτρομαγνητική δύναμη στη μορφή φωτός και είναι φορέας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Το μποζόνιο του Χιγκς είναι το σωματίδιο που αντιστοιχεί στο πεδίο του Χιγκς, το οποίο προσδίδει μάζα στην ύλη. Είναι στοιχειώδες σωματίδιο, δηλαδή δεν έχει εσωτερική δομή και δεν αποτελείται από άλλα, συστατικά σωματίδια. Παρόλα αυτά, είναι εξαιρετικά ασταθές και όταν σχηματιστεί καταρρέει σχεδόν ακαριαία και δίνει άλλα υποατομικά σωματίδια.



Αν και λέγεται και γράφεται ευρέως ότι το μποζόνιο του Χιγκς δίνει στα στοιχειώδη σωματίδια τη μάζα τους, αυτό δεν είναι απόλυτα σωστό. Τη μάζα τη δίνει το πεδίο του Χιγκς, το οποίο δεν την δημιουργεί εκ του μηδενός αλλά την εμπεριέχει από πριν ως ενέργεια.

Σύμφωνα με τον μηχανισμό Higgs, υπάρχει ένα βαθμωτό πεδίο Higgs που διαπερνά κάθε γωνιά του σύμπαντος. Τα αβαρή σωματίδια όπως το φωτόνιο δεν αλληλεπιδρούν καθόλου με το πεδίο Higgs, διατηρώντας στο ακέραιο την κινητική τους ενέργεια και διατρέχοντας το πεδίο Higgs με την ταχύτητα του φωτός. Ένα σωματίδιο με μάζα όπως το κουάρκ αλληλεπιδρά με το πεδίο Higgs, το επιβραδύνει μετατρέποντας κάποια από την κινητική του ενέργεια με αυτό που μας είναι γνωστό ως μάζα.

Ο μηχανισμός βάσει του οποίου αποκτούν μάζα τα σωματίδια της ύλης προαπαιτεί την ύπαρξη ενός πεδίου - του πεδίου Higgs - το οποίο γίνεται αισθητό παντού ακόμα και στο κενό. Το πεδίο αυτό είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία της μάζας των σωματιδίων μέσω της αλληλεπίδρασης του με αυτά. Η αλληλεπίδραση ενός σωματιδίου και του πεδίου Higgs προσφέρει ένα πλεόνασμα δυναμικής ενέργειας Higgs E στο σωματίδιο και αυτό αντιστοιχεί στη μάζα του σωματιδίου (με τη βοήθεια της εξίσωσης $E = mc^2$).

Οι δε διαφορετικές μάζες των σωματιδίων εξηγούνται αν δεχθούμε ότι αυτά αλληλεπιδρούν με το πεδίο Higgs με διαφορετική ισχύ, το γιατί όμως οι αλληλεπιδράσεις διαφορετικών σωματιδίων με το πεδίο Higgs είναι διαφορετικές παραμένει άλυτο πρόβλημα μέχρι σήμερα.

Η ύπαρξη του πεδίου Higgs προϋποθέτει και την ύπαρξη του σωματιδίου Higgs - του φορέα του πεδίου αυτού. Είναι δε προφανές ότι ένα σωματίδιο με μεγάλη μάζα αλληλεπιδρά με το πεδίο Higgs - και κατ' επέκταση με το σωματίδιο Higgs - εντονότερα από ότι ένα σωματίδιο με μικρότερη μάζα. Το σωματίδιο Higgs αποκτά τη μάζα του μέσω της διαδικασίας της αυτο-αλληλεπίδρασης του πεδίου Higgs.

Τη στιγμή που εμφανίστηκε το Σύμπαν, τα στοιχειώδη σωματίδια δεν είχαν μάζα. Αυτό άλλαξε ένα τρισεκατομμυριοστό του δευτερολέπτου αργότερα, όταν εμφανίστηκε το πεδίο του Χιγκς, λέει η θεωρία, την οποία πρότειναν τη δεκαετία του 1960 οι Χιγκς και Ενγκλέρ και άλλοι θεωρητικοί φυσικοί.

δ. Τι είναι το μποζόνιο Higgs

Το μποζόνιο του Χιγκς είναι το σωματίδιο που αντιστοιχεί στο πεδίο του Χιγκς, το οποίο προσδίδει μάζα στην ύλη. **Είναι στοιχειώδες σωματίδιο, δηλαδή δεν έχει εσωτερική δομή και δεν αποτελείται από άλλα, συστατικά σωματίδια.** Οι ειδικοί το χαρακτηρίζουν εξαιρετικά ασταθές και όταν σχηματιστεί καταρρέει σχεδόν ακαριαία και δίνει άλλα υποατομικά σωματίδια.

Καθώς τα πρωτόνια και τα αντιπρωτόνια στον LHC συγκρούονται μεταξύ τους με ταχύτητα πάνω από το 99,99% της ταχύτητας του φωτός, μέρος της ενέργειάς που δημιουργείται από την σύγκρουση μετατρέπεται σε ύλη σύμφωνα με την εξίσωση $E=mc^2$ του Αϊνστάιν. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να δημιουργηθούν σωματίδια με μεγαλύτερη μάζα από εκείνα που συμμετέχουν στη σύγκρουση. Η μάζα του σωματιδίου Higgs αναμενόταν να είναι 120 έως 210 φορές την μάζα που έχει το πρωτόνιο.

Στις 4 Ιουλίου 2012, οι επιστήμονες του CERN επιβεβαίωσαν την ανακάλυψη ενός νέου σωματιδίου με μάζα 125 GeV και σφάλμα 0,6, που σημαίνει βεβαιότητα κατά 99,99995%. Τελικά ανακοινώθηκε πως η ανάλυση των ιχνών ενός στοιχειώδους σωματιδίου που ανακαλύφθηκε στον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) του CERN το καλοκαίρι του 2012 έδειξε ισχυρές ενδείξεις ότι είναι το μποζόνιο του Χιγκς.

Τα μποζόνια Χιγκς δεν υπάρχουν πουθενά σε σταθερή κατάσταση. Το σωματίδιο υπάρχει μόνο στιγμιαία σε συνθήκες ακραίας θερμοκρασίας, ή ενέργειας όπως προτιμούν να λένε οι φυσικοί. Το σωματίδιο μπορεί επίσης να εμφανίζεται στιγμιαία σε τυχαία συμβάντα υψηλής ενέργειας, χωρίς ωστόσο να είναι συστατικό της καθημερινής πραγματικότητας.

Ιδού λοιπόν το πρόβλημα: οι ιδιότητες της ασθενούς δύναμης φαίνονται να είναι ασύμβατες με την ύπαρξη μη μηδενικής μάζας για κάποια από τα στοιχειώδη σωματίδια. Ο ρόλος του μποζονίου Higgs είναι ακριβώς εκείνος χάρη στον οποίο αυτές οι δύο φαινομενικά αντιφατικές πλευρές συμφιλιώνονται, αίροντας έτσι τη διάκριση μεταξύ ενός δεξιόστροφου και ενός αριστερόστροφου κόσμου όπως προβλέπεται από την ειδική συμμετρία βαθμίδας. Το πεδίο Higgs, για να πραγματοποιήσει αυτό το συμβιβασμό, αντισταθμίζει την έλλειψη συμμετρίας, καθιστώντας έτσι δυνατή την απόδοση μη μηδενικής μάζας και στα σωματίδια που αισθάνονται τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις.

Αυτή ακριβώς η ιδέα επιβεβαιώθηκε πλήρως από την ανακάλυψη του μποζονίου Higgs. Όμως οι θεωρητικοί Φυσικοί είναι πεπεισμένοι ότι το Higgs δεν είναι το τέλος της ιστορίας. Στο πλαίσιο της θεωρίας των στοιχειωδών σωματιδίων, θεωρία που διακρίνεται για την αυστηρότητα και την κομψότητά της, το μποζόνιο Higgs είναι ένα πρόσθετο απαραίτητο στοιχείο, μα προσωρινό και μη ικανοποιητικό. Φαίνεται λογικό να σκεφτεί κανείς ότι η ανακάλυψη του νέου σωματιδίου αποτελεί μονάχα μία πρώτη εκδήλωση ενός κόσμου που είναι ακόμα μη-παρατηρήσιμος. Για να μάθουμε τι κρύβεται πίσω από το σωματίδιο Higgs είναι απαραίτητο να μετρηθούν οι ιδιότητές του με μεγάλη ακρίβεια. Τώρα, ο σκοπός των πειραμάτων είναι να γίνει αντιληπτό αν οι προβλέψεις του απλούστερου προτύπου βάσει του οποίου είναι δυνατή η περιγραφή του σωματιδίου Higgs επιβεβαιώνονται πλήρως ή αντίθετα, αν παρουσιάζονται ενδείξεις για την ύπαρξη νέων φαινομένων.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι το σωματίδιο Higgs είναι βασικό συστατικό των θεωρητικών μας εκτιμήσεων ότι ο Ηλεκτρομαγνητισμός και η Ασθενής δύναμη είναι διαφορετικές εκφάνσεις μιας ενοποιημένης «ηλεκτρασθενούς» δύναμης. Μας υποδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο τα χωρίς μάζα φωτόνια, τα σωματίδια ηλεκτρομαγνητισμού, συγγενεύουν με τα W και Z, τα μποζόνια της ασθενούς δύναμης.

ε. Γιατί το Higgs δεν λύνει όλα τα προβλήματα της μάζας

Ξέρουμε βεβαίως πως το πεδίο Higgs αλληλεπιδρά με τα στοιχειώδη σωματίδια, κανείς όμως δεν γνωρίζει γιατί ορισμένα σωματίδια αλληλεπιδρούν περισσότερο και έχουν μεγάλη μάζα, ενώ άλλα δεν αλληλεπιδρούν καθόλου και είναι αβαρή (όπως το φωτόνιο). Με άλλα λόγια, δεν υπάρχει τρόπος να προβλεφθεί θεωρητικά η μάζα ενός οποιοδήποτε σωματιδίου, και αυτό θεωρείται σημαντικό κενό από τους φυσικούς.

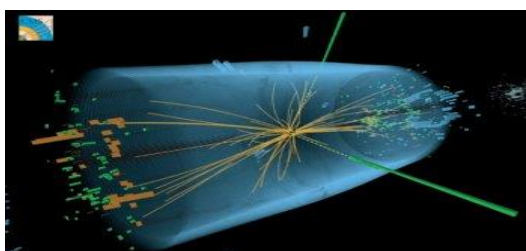
στ. Πού μπορούμε να βρούμε το μποζόνιο Higgs;

Το μποζόνιο Higgs δεν βρίσκεται πουθενά σε σταθερή κατάσταση. Το σωματίδιο υπάρχει μόνο στιγμιαία σε συνθήκες ακραίας θερμοκρασίας, ή ενέργειας. Τέτοιες θερμοκρασίες ή ενέργειες υπήρξαν μερικές στιγμές μετά τη Μεγάλη Έκρηξη και παράγονται σήμερα στον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) στο CERN. Το σωματίδιο μπορεί επίσης να εμφανίζεται στιγμιαία σε τυχαία συμβάντα υψηλής ενέργειας, για παράδειγμα κατά την πρόσκρουση κοσμικών ακτίνων στη γήινη ατμόσφαιρα, ωστόσο δεν είναι συστατικό της καθημερινής πραγματικότητας.

Κατά τις συγκρούσεις μεταξύ πρωτονίων που προκαλούνται στον LHC, παράγεται μια πληθώρα σωματιδίων, μεταξύ των οποίων θα έπρεπε να συγκαταλέγεται και το σωματίδιο Χιγκς. Επειδή η διάρκεια ζωής αυτού του σωματιδίου είναι πολύ σύντομη, διασπάται σχεδόν αμέσως με πολλούς δυνατούς τρόπους σε άλλα σωματίδια. Αυτοί οι τρόποι στην «αργκό» των φυσικών ονομάζονται κανάλια, και η προσπάθεια των πειραματικών φυσικών είναι να ανιχνεύσουν τα προϊόντα της διάσπασης που προβλέπονται για καθένα από τα πιθανά κανάλια. Η πιθανότητα εμφάνισης κάθε καναλιού διάσπασης εξαρτάται, μεταξύ άλλων, και από τη μάζα του σωματιδίου Χιγκς, η οποία συνήθως μετρείται με την ισοδύναμη ενέργεια σε GeV (δισεκατομμύρια ηλεκτρονιοβόλτ) που προκύπτει από τη γνωστή σχέση του Αϊνστάιν, $E = mc^2$.

Υπάρχουν όμως και τα «εικονικά» σωματίδια Higgs, τα οποία όπως όλα τα εικονικά σωματίδια εμφανίζονται κυριολεκτικά από το πουθενά και εξαφανίζονται μια στιγμή αργότερα. Τα στοιχειώδη σωματίδια που έχουν μάζα πιστεύεται ότι αποκτούν αυτή την ιδιότητα όταν αλληλεπιδρούν με το πεδίο μέσω εικονικών σωματιδίων.

Αν δε στον LHC βρούμε και κάποιον υπερσυμμετρικό εταίρο του Higgs (το s Higgs), γιατί υπάρχουν θεωρητικά μοντέλα που προβλέπουν πέντε ή και επτά παραλλαγές του Χιγκς, τότε θα έχουμε βρει αποδείξεις για την υπερσυμμετρία.



Το ίχνος που αφήνει η διάσπαση του μποζονίου Higgs, έτσι όπως αναπαράχθηκε σε ένα γεγονός του πειράματος CMS του LHC.

28. Νομπέλ Φυσικής για το μποζόνιο του Χιγκς

Την ανακάλυψη του μηχανισμού μέσω του οποίου η ύλη αποκτά τη μάζα της τιμά το εφετινό Νόμπελ Φυσικής, ανακοίνωσε την 08/10/2013 η επιτροπή των βραβείων στη Βασιλική Ακαδημία Επιστημών της Σουηδίας.

Την ανώτατη τιμητική διάκριση στην Επιστήμη θα μοιραστούν ο βρετανός Πίτερ Χιγκς και ο βέλγος Φρανσουά Ενγκλέρ «για τη θεωρητική ανακάλυψη ενός μηχανισμού που συμβάλλει στην κατανόηση της προέλευσης της μάζας των υποατομικών σωματιδίων, και η

οποία επιβεβαιώθηκε πρόσφατα από την ανακάλυψη του προβλεπόμενου στοιχειώδους σωματιδίου στα πειράματα ATLAS και CMS του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων του CERN».



29. Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΧΟΡΔΩΝ

Αρχικά οι επιστήμονες πίστευαν πως η ύλη αποτελείται από μικρούς δομικούς λίθους που ονόμασαν μόρια, ενώ στη συνέχεια κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα ίδια τα μόρια δομούνται από μικρότερα σωματίδια που ονόμασαν άτομα. Αργότερα διαπίστωσαν πως τα άτομα αποτελούνται και αυτά από μικρότερους δομικούς λίθους: τα πρωτόνια, τα νετρόνια και τα ηλεκτρόνια. Και τελικά διαπίστωσαν ότι και αυτά προκύπτουν από συνδυασμούς μικρότερων σωματιδίων που τα ονόμασαν «κουάρκ».

Επίσης, σιγά - σιγά άρχισε να γίνεται αντιληπτό από τους φυσικούς πως η ύλη είναι απλά μορφική έκφραση δονούμενης ενέργειας, όπως ακριβώς η άμμος που παίρνει σχήματα πάνω σε έναν δονούμενο μεταλλικό δίσκο. Έτσι τα στοιχειώδη σωματίδια άρχισαν να αναγνωρίζονται στη συνείδηση των επιστημόνων ως συγκεκριμένες ενεργειακές εκφράσεις συγκεκριμένων ενεργειακών δονήσεων. Τα πράγματα πήγαν ένα βήμα πιο πέρα όταν ορισμένοι θεωρητικοί φυσικοί πρότειναν ότι οι δομικοί λίθοι της ύλης δεν είναι μεμονωμένα σωματίδια αλλά δονούμενες χορδές. Χορδές παλλόμενες που καθώς κραδαινούνται δίνουν ως αποτέλεσμα τα γνωστά στοιχειώδη σωματίδια. Με άλλα λόγια τα στοιχειώδη σωματίδια της ύλης ήταν αντιληπτά ως η μορφική έκφραση μικροσκοπικών χορδών που πάλλονται με συγκεκριμένη συχνότητα. Κάτι ανάλογο δηλαδή με μια χορδή κιθάρας που ανάλογα με την τάση της και με τη συχνότητα με την οποία δονείται παράγει συγκεκριμένες μουσικές νότες. Με αυτό τον τρόπο η Θεωρία των Υπερχορδών μας φέρνει στο κατώφλι της μουσικής του Κόσμου. Και το εντυπωσιακό είναι ότι οι επιστήμονες ανά τον κόσμο ανυπομονούν να μάθουν τις νότες αυτής της παγκόσμιας μουσικής.

38

30. ΥΠΕΡΣΥΜΜΕΤΡΙΑ

Η υπερσυμμετρία, είναι μια προτεινόμενη ιδιότητα του σύμπαντος. Η υπερσυμμετρία απαιτεί κάθε τύπος σωματιδίου να έχει ένα αντίστοιχο υπερσυμμετρικό σωματίδιο που ονομάζεται υπερ-σύντροφος. Ο υπερ-σύντροφος είναι ένα βαρύ αντίγραφο του σωματιδίου με μια επιπλέον διαφορά. Όλα τα σωματίδια κατατάσσονται είτε ως φερμιόνια είτε ως μποζόνια. Ένα σωματίδιο που ανήκει στη μια κατηγορία έχει έναν υπερ-σύντροφο στην άλλη, πετυχαίνοντας μ' αυτό τον τρόπο να "κλείσουν οι ανοιχτοί λογαριασμοί", να γίνει η φύση πιο συμμετρική. Παραδείγματος χάριν, ο υπερσύντροφος ενός ηλεκτρονίου (φερμιόνιο) ονομάζεται υπερηλεκτρόνιο (μποζόνιο).

Η υπερσυμμετρία περιγράφει έναν μεγαλοπρεπή χορό σωματιδίων του σύμπαντος, μα μπορούμε αυτή τη στιγμή να δούμε μόνο τον ένα παρτενέρ από το ζευγάρι. Το αφανές σωματίδιο μπορεί να είναι η πηγή της μυστηριώδους "σκοτεινής ύλης" στους γαλαξίες. Παρότι οι υπερ-σύντροφοι δεν έχουν ακόμα παρατηρηθεί στη φύση, ίσως να παραχθούν σε επιταχυντές σωματιδίων πάνω στη Γη.

Βασική συνέπεια της υπερσυμμετρίας είναι η εμφάνιση "αδελφών" σωματιδίων για κάθε υπάρχον σωματίδιο, με διαφορετικές αλλά παρεμφερείς ιδιότητες. Έτσι για κάθε κουάρκ θα υπάρχει ένα άλλο σωματίδιο, το υπερσυμμετρικό κουάρκ (s-quark), ίσου φορτίου αλλά διαφορετικής μάζας, και για κάθε λεπτόνιο το αντίστοιχο υπερσυμμετρικό λεπτόνιο (s-lepton). Οι φορείς των δυνάμεων, όπως τα φωτόνια και τα W και Z, θα έχουν επίσης "αδελφά" σωματίδια, το δε μποζόνιο higgs θα συμπληρωθεί από τουλάχιστον άλλα τέσσερα σωματίδια.

Τα παραπάνω είναι απλά προβλέψεις της θεωρίας και δεν έχουν ακόμα επιβεβαιωθεί, πιθανόν γιατί οι μάζες τους είναι τόσο μεγάλες που οι σημερινοί επιταχυντές δεν μπορούν να τα παράγουν. Όμως, το σημαντικό σημείο της θεωρίας είναι ότι οι ενέργειες αυτές θα μπορούν να προσεγγιστούν στον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC). Ο ανιχνευτής ATLAS είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να είναι ικανός να ανακαλύψει τα νέα σωματίδια και τα φαινόμενα που αναμένονται από τις επεκτάσεις του Καθιερωμένου Προτύπου, όπως είναι το Υπερσυμμετρικό Καθιερωμένο Πρότυπο.

31. ΤΑ 7 ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΗΜΕΡΑ

1. Το σωματίδιο **HIGGS** είναι διαφορετικό σε σχέση με τα άλλα σωματίδια που γνωρίζουμε. Γιατί είναι διαφορετικό; Υπάρχουν περισσότερα σωματίδια σαν το **HIGGS**;
2. Τα νετρίνα είναι πολύ ελαφρά σωματίδια και ανιχνεύονται δύσκολα. Επιπλέον καθώς κινούνται αλλάζουν τη ταυτότητά τους (ταλαντώσεις νετρίνων). Ποιος είναι ο ρόλος τους στην κατανόηση της φύσης;
3. Τα γνωστά σωματίδια αποτελούν περίπου το $1/6$ της συνολικής ύλης στο Σύμπαν. Το υπόλοιπο το ονομάζουμε σκοτεινή ύλη. Αλλά τι είναι η σκοτεινή ύλη; Μπορούμε να την ανιχνεύσουμε στα εργαστήριά μας; Υπάρχουν κι άλλα άγνωστα σωματίδια στη φύση;
4. Υπάρχουν 4 θεμελιώδεις δυνάμεις στη φύση. Αποτελούν τις εκδηλώσεις μιας ενιαίας δύναμης; Εκτός από τις 4 γνωστές (βαρυτική, ηλεκτρομαγνητική, ασθενής πυρηνική και ισχυρή πυρηνική – οι τρεις τελευταίες έχουν ήδη ενοποιηθεί σε μια), μήπως υπάρχουν κι άλλες άγνωστες προς το παρόν δυνάμεις;
5. Υπάρχουν νέες κρυμμένες χωροχρονικές διαστάσεις;
6. Η ύλη και η αντιύλη δημιουργήθηκαν μαζί κατά την Μεγάλη Έκρηξη, αλλά σήμερα ο κόσμος μας είναι φτιαγμένος μόνο από ύλη. Γιατί;
7. Γιατί η διαστολή του Σύμπαντος είναι επιταχυνόμενη ή τι ακριβώς είναι η σκοτεινή ενέργεια στην οποία αποδίδεται αυτή η επιτάχυνση;

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛΙΔΑ 1	ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΠΡΙΝ ΤΟΥΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ
ΣΕΛΙΔΑ 2	Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΩΝ, Η «ΕΚΡΗΞΗ» ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.
ΣΕΛΙΔΑ 3	Η ΕΙΣΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΟΥΑΡΚ, ΤΟ ΚΑΘΙΕΡΩΜΕΝΟ ΠΡΟΤΥΠΟ
ΣΕΛΙΔΑ 7	ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΚΟΥΑΡΚ, ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ
ΣΕΛΙΔΑ 10	ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΑΝΑΠΑΝΤΗΤΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ, Η ΔΟΜΙΚΗ ΥΛΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ
ΣΕΛΙΔΑ 11	ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΩΜ. ΦΥΣΙΚΗΣ - CERN
ΣΕΛΙΔΑ 12	ΜΕΡΙΚΑ ΑΠΟ ΤΑ ΕΠΙΤΕΥΓΜΑΤΑ ΤΟΥ CERN
ΣΕΛΙΔΑ 13	ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΣΤΟ CERN,
ΣΕΛΙΔΑ 14	ΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΣΤΟ CERN
ΣΕΛΙΔΑ 16	Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΟΥ CERN ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΟ CERN
ΣΕΛΙΔΑ 19	ΠΟΙΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΝΤΑΙ ΣΤΟ CERN , ΠΩΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΝΤΑΙ ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ
ΣΕΛΙΔΑ 21	ΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ
ΣΕΛΙΔΑ 23	ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΣΥΝΕΝΩΝΟΥΝ ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ, ΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΤΩΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ, Η ΕΝΟΠΙΟΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ
ΣΕΛΙΔΑ 24	ΜΠΟΖΟΝΙΟ HIGGS , ΕΣΤΕΙΛΕ Ο ΘΕΟΣ ΣΗΜΑΔΙ
ΣΕΛΙΔΑ 25	ΠΩΣ ΤΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ HIGGS ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΜΑΣ ΟΔΗΓΗΣΕΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ, ΣΥΜΜΕΤΡΙΕΣ
ΣΕΛΙΔΑ 27	ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΥΛΗ
ΣΕΛΙΔΑ 30	ΜΙΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΥΣΑ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗ ΤΟΥ Δ. ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΥ
ΣΕΛΙΔΑ 31	ΤΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ ΚΑΙ Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ HIGGS
ΣΕΛΙΔΑ 36	ΒΡΑΒΕΙΟ ΝΟΜΠΕΛ ΦΥΣΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ HIGGS
ΣΕΛΙΔΑ 37	Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΧΟΡΔΩΝ - ΥΠΕΡΣΥΜΜΕΤΡΙΑ
ΣΕΛΙΔΑ 38	ΤΑ 7 ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΗΜΕΡΑ

ΠΗΓΕΣ:

<http://www.physics4u.gr>
<http://www.tovima.gr/science>
naftemporiki.gr/story
<http://el.wikipedia.org/wiki>
<http://www.physics.ntua.gr>
<http://www.ygeiaonline.gr>
<http://www.physics4u.gr/articles>
<http://users.sch.gr/kassetas/education.htm>
www.scienceillustrated.gr
www.gnomonpublications.gr
www.scientificamerican.com
<http://physicsgg.me>