ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 3, No 1 (2020)

Στα ίχνη των «τροχιών» του CERN

Γιώργος Γαλανόπουλος, Θεοδώρα Γεωργίου, Ιάκωβος Γεωργάνας, Αριστέα Ιορδανίδου, Παναγιώτα Κοκκίνη, Ειρήνη Κυριακοπούλου, Άγγελος Κυριαφίνης, Γεράσιμος Μιχαλάτος, Θεανώ Μουρούκα, Ιωάννα Παρτσινέβελου, Χριστίνα Σακελλαρίδη, Κωνσταντίνα Σταματοπούλου, Μαργαρίτης Στούμπος, Αναστασία Φράγκου

doi: 10.12681/osj.22481

Copyright © 2020, Γιώργος Γαλανόπουλος, Θεοδώρα Γεωργίου, Ιάκωβος Γεωργάνας, Αριστέα Ιορδανίδου, Παναγιώτα Κοκκίνη, Ειρήνη Κυριακοπούλου, Άγγελος Κυριαφίνης, Γεράσιμος Μιχαλάτος, Θεανώ Μουρούκα, Ιωάννα Παρτσινέβελου, Χριστίνα Σακελλαρίδη, Κωνσταντίνα Σταματοπούλου, Μαργαρίτης Στούμπος, Αναστασία Φράγκου

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

To cite this article:

Γαλανόπουλος Γ., Γεωργίου Θ., Γεωργάνας Ι., Ιορδανίδου Α., Κοκκίνη Π., Κυριακοπούλου Ε., Κυριαφίνης Ά., Μιχαλάτος Γ., Μουρούκα Θ., Παρτσινέβελου Ι., Σακελλαρίδη Χ., Σταματοπούλου Κ., Στούμπος Μ., & Φράγκου Α. (2020). Στα ίχνη των «τροχιών» του CERN. *Open Schools Journal for Open Science*, *3*(1). https://doi.org/10.12681/osj.22481

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 25/01/2026 13:16:26

Open Schools Journal for Open Science

Volume 4

Στα ίχνη των «τροχιών» του CERN

Γιώργος Γαλανόπουλος[1], Θεοδώρα Γεωργίου[1], Ιάκωβος Γεωργάνας[1], Αριστέα Ιορδανίδου[1], Παναγιώτα Κοκκίνη[1], Ειρήνη Κυριακοπούλου[1], Άγγελος Κυριαφίνης[1], Γεράσιμος Μιχαλάτος[1], Θεανώ Μουρούκα[1], Ιωάννα Παρτσινέβελου[1], Χριστίνα Σακελλαρίδη[1], Κωνσταντίνα Σταματοπούλου[1], Μαργαρίτης Στούμπος[1], Αναστασία Φράγκου[2]

[1] Ιδιωτικό Γυμνάσιο Ηρακλείου « Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΑΙΔΕΙΑ», Κρήτη, Ελλάδα
[2] Φυσικός, Ιδιωτικό Γυμνάσιο Ηρακλείου « Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΑΙΔΕΙΑ», Κρήτη, Ελλάδα

Περίληψη

Με τη βιβλιογραφική αυτή εργασία επιδιώκεται να απαντηθούν ερωτήματα που αφορούν στα συστατικά της ύλης, στην προέλευση της καθώς και στο είδος των δυνάμεων που την κρατάνε ενωμένη. Για το σκοπό αυτό θα αναλυθεί το Καθιερωμένο Πρότυπο, η σύγχρονη θεωρία που περιγράφει με επιτυχία τα στοιχειώδη σωματίδια και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις, και θα παρουσιαστούν ανακαλύψεις που αφορούν θεμελιώδη ερωτήματα όπως τον τρόπο που τα σωματίδια αποκτούν μάζα, γιατί στο Σύμπαν παρατηρείται ανισορροπία μεταξύ ύλης και αντιύλης, αλλά και νέες ανακαλύψεις και εξελίξεις στον τομέα της πυρηνικής και σωματιδιακής φυσικής. Οι περισσότερες απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά δόθηκαν, δίνονται και θα εξακολουθήσουν να δίνονται με τη βοήθεια πειραμάτων που διεξάγονται στα εργαστήρια του CERN, το Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών, που ιδρύθηκε το 1954 και αποτελεί το μεγαλύτερο κέντρο για τη Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων στον κόσμο. Για το λόγο αυτό, επιδιώκεται μία ξενάγηση στις κύριες διατάξεις του CERN, τους επιταχυντές οι οποίοι επιταχύνουν δέσμες σωματιδίων σε πολύ μεγάλες ενέργειες για τη σύγκρουση τους με ακίνητους στόχους ή με άλλες αντίθετα κινούμενες δέσμες και τους ανιχνευτές που καταγράφουν τα αποτελέσματα των συγκρούσεων και είτε ταυτοποιούν τα σωματίδια που είχαν θεωρητικά προβλεφθεί είτε ανακαλύπτουν νέα σωματίδια.

Λέξεις κλειδιά

CERN, επιταχυντές, ανιχνευτές, Καθιερωμένο Πρότυπο, στοιχειώδη σωμάτια

ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΚΑΙ ΜΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΑ

Ο Werner Heisenberg διαμόρφωσε και πρότεινε το πρώτο μοντέλο σύνθετου πυρήνα, το οποίο ισχύει μέχρι σήμερα: οι πυρήνες των ατόμων αποτελούνται από τα θετικώς φορτισμένα πρωτόνια και τα, ίσης περίπου μάζας, ηλεκτρικώς ουδέτερα νετρόνια. Όταν το 1931, ο Chadwick ανακάλυψε το νετρόνιο, είχε εδραιωθεί η πεποίθηση ότι τα θεμελιώδη σωμάτια που συγκροτούν την ύλη είναι το πρωτόνιο, το νετρόνιο και το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο, που περιστρέφεται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Το ατομικό αυτό μοντέλο, οδήγησε κάποιους επιστήμονες να υποστηρίξουν ότι για να συγκρατούνται τα θετικά πρωτόνια και τα ουδέτερα νετρόνια στον πυρήνα θα πρέπει να ασκείται μεταξύ τους μία ελκτική δύναμη, η οποία να αναιρεί τη «διαλυτική» απωστική ηλεκτροστατική δύναμη που υπάρχει. Όμως ποια είναι η δύναμη αυτή και που οφείλεται;

Το 1935 ο Hideki Yukawa απέδωσε την ελκτική αυτή δύναμη, μεταξύ των νουκλεονίων (πρωτόνια και νετρόνια), στην ύπαρξη ενός άλλου σωματίου το οποίο ανταλλάσσεται μεταξύ τους. Η μεγαλοφυής αυτή ιδέα επιβεβαιώθηκε το 1947, δώδεκα χρόνια μετά, όταν ερευνητές του πανεπιστημίου του Μπρίστολ της Αγγλίας ανίχνευσαν σε φωτογραφικές πλάκες τις τροχιές τέτοιων σωματίων στην κοσμική ακτινοβολία που μελετούσαν. Τα σωμάτια αυτά ονομάστηκαν μεσόνια, επειδή έχουν μάζα ενδιάμεση μεταξύ της μάζας του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου (και νετρονίου).

Η ανακάλυψη αυτή του μεσονίου του Yukawa σηματοδοτεί το ξεκίνημα του κλάδου της σύγχρονης Φυσικής των στοιχειωδών σωματίων. Ο συγκεκριμένος κλάδος σημειώνει μεγάλες επιτυχίες με τη βοήθεια πολλών ερευνητικών κέντρων που έχουν ιδρυθεί τα τελευταία χρόνια, με κορυφαίο το CERN, το οποίο με τον εξοπλισμό του και τους επιστήμονες από όλο τον κόσμο, προσπαθεί να διεισδύσει στην «καρδιά» της ύλης και να δημιουργήσει καταστάσεις ανάλογες με αυτές που επικρατούσαν λίγο μετά τη Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang).

Στο σημείο αυτό κρίνεται αναγκαίο να διαχωριστούν τα σωμάτια σε στοιχειώδη (δηλαδή αυτά που δεν έχουν δομή) και μη. Ιστορικά ένα κριτήριο διαχωρισμού των σωματίων είναι η μάζα τους, και με βάση αυτό το κριτήριο τα σωμάτια διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τα λεπτόνια, τα μεσόνια και τα βαρυόνια.

Τα **λεπτόνια** είναι **στοιχειώδη σωμάτια** και έχουν πολύ μικρή μάζα, όση είναι και η μάζα του ηλεκτρονίου ή πολύ μικρότερη (εκτός από την περίπτωση του μιονίου και του σωματίου ταυ (τ).

Τα **μεσόνια** και τα **βαρυόνια** είναι **μη στοιχειώδη** σωμάτια. Τα μεσόνια έχουν μάζες με τιμές μεταξύ του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου. Τα δε βαρυόνια έχουν μάζα της τάξης της μάζας του πρωτονίου ή μεγαλύτερη. Τα μεσόνια και τα βαρυόνια ονομάζονται αδρόνια, από τη λέξη αδρός, δηλαδή χοντρός.

ΤΑ ΑΝΤΙΣΩΜΑΤΙΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΥΛΗ

Τη δεκαετία του 1930 ο Paul Dirac επιδίωξε την συνένωση της Κβαντομηχανικής με τη Θεωρία της Σχετικότητας. Διατύπωσε μία εξίσωση που οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι για κάθε σωμάτιο που υπάρχει στη φύση, πρέπει να υπάρχει και ένα άλλο με την ίδια μάζα αλλά αντίθετο φορτίο, που ονομάζεται αντισωμάτιο. Πράγματι, το 1932 ο Carl Anderson ανακάλυψε, μελετώντας την κοσμική ακτινοβολία, **το αντισωμάτιο του ηλεκτρονίου**, δηλαδή το **ποζιτρόνιο**. Και το 1956 πραγματοποιήθηκε η παραγωγή του **αντιπρωτονίου,** ενώ το 1965 επετεύχθη η παραγωγή του αντιδευτερίου, δηλαδή του αντισωματίου του δευτερίου του οποίου ο πυρήνας αποτελείται από ένα αντιπρωτόνιο και ένα αντινετρόνιο και γύρω του περιφέρεται ένα ποζιτρόνιο.

Η ύλη και η αντιύλη δεν μπορούν να συνυπάρξουν σε σημαντικές ποσότητες και για σημαντικά χρονικά διαστήματα καθώς η αλληλεπίδραση τους έχει ως αποτέλεσμα την αμοιβαία εξαΰλωση τους και την ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας (έκλυση φωτονίων). Αν όλα εξελίσσονταν όπως προέβλεπαν οι νόμοι της φύσης κατά τη διαδικασία της Μεγάλης Έκρηξης, τότε στο απέραντο Σύμπαν δεν θα υπήρχε τίποτε, παρά μόνο ενέργεια. Το Σύμπαν φαίνεται να μην περιέχει σημαντικές ποσότητες αντιύλης, παρ' όλες τις προσδοκίες πως ύλη και αντιύλη θα πρέπει να δημιουργήθηκαν σε ίσες ποσότητες κατά τη διάρκεια της Μεγάλης Έκρηξης. Που πήγε λοιπόν όλη η αντιύλη; Μία πιθανή ερμηνεία θα ήταν πως μία λεπτή και μη αναμενόμενη διαφορά στις ιδιότητες ύλης και αντιύλης, οδήγησε σε μία μικρή υπεροχή της πρώτης που επέζησε τον αρχικό κατακλυσμό εξαΰλωσης ύλης - αντιύλης.

Πειράματα στο CERN, το Fermilab, το SLAC και το KEK παράγουν αντιύλη σε επιταχυντές σωματιδίων για να εντοπίσουν και να μελετήσουν αυτή την διαφορά. Σε κάθε μεμονωμένο άτομο ύλης αντιστοιχούσε, και ακόμα αντιστοιχεί, ένα άτομο αντιύλης. Η πανάρχαια αυτή μάχη ήταν απόλυτη ισορροπημένη, όμως κάτι δεν λειτούργησε σωστά για τα αρνητικά σωματίδια. Αν όλα είχαν κυλήσει βάσει κανόνων, τότε το σύμπαν θα ήταν ενέργεια. Η ύλη όμως υπερτέρησε οριακά και έτσι, δημιουργήθηκε κάθε τι υλικό.

Πως προέκυψε όμως αυτή η παράδοξη ασυμμετρία; Αυτό είναι μάλλον το μεγαλύτερο και το δυσκολότερο ερώτημα στην φυσική επιστήμη. Πριν από μερικά χρόνια οι ερευνητές εντόπισαν το πρώτο σωματίδιο που θα μπορούσε να αλλάξει τις ισορροπίες. Ο λόγος για το «καόνιο», ένα υποατομικό σωματίδιο με την ικανότητα να «μεταλλάσσεται» σε «αντικαόνιο». Μετά από πολλά πειράματα αποδείχτηκε πως το η μεταμόρφωση του καονίου σε αντικαόνιο συναντάται λίγες περισσότερες φορές από την αντίστροφη.

Το πρώτο ρήγμα στην σταθερή ισορροπία του σύμπαντος ανακαλύφθηκε. Τα καόνια όμως δεν είναι ικανά να δικαιολογήσουν ένα τόσο μεγάλο ποσό ύλης. Η επίδραση τους στην συνολική σχέση ύλης-αντιύλης είναι σχεδόν αμελητέα, όμως η μοναδική, ως τώρα, ιδιότητα τους δίνει ελπίδες στους θεωρητικούς φυσικούς.

ΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

Σήμερα θεωρούμε ότι όλες οι θεμελιώδεις δυνάμεις ή αλληλεπιδράσεις (όπως συνηθίζεται να χρησιμοποιείται στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων) ασκούνται μέσω ανταλλαγής σωματίων – φορέων. Η σύγχρονη Φυσική θεωρεί ότι οι **θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις** στη φύση είναι **τέσσερις**. Αναλυτικά οι δυνάμεις αυτές είναι οι εξής:

Α) Η βαρυτική δύναμη. Η βαρυτική δύναμη είναι πάντα ελκτική, μακράς εμβέλειας και ασκείται μεταξύ δύο οποιονδήποτε σωματίων μαζών m_1 και m_2. Είναι η πιο ασθενής από τις θεμελιώδεις δυνάμεις της φύσης και γίνεται αισθητή όταν τουλάχιστον μία εκ των μαζών έχει πλανητικές διαστάσεις. Η εμβέλεια της είναι θεωρητικά άπειρη και δεν παίζει κανένα ρόλο στην συγκρότηση της ύλης, ενώ παίζει τον σημαντικό ρόλο στην συγκρότηση του διαστήματος (εφόσον είναι η κυρίαρχη δύναμη σε αυτό). Η βαρυτική δύναμη ασκείται μέσω σωματίων – φορέων αλληλεπίδρασης, που είναι τα **βαρυτόνια ή γκραβιτόνια**, τα κβάντα των βαρυτικών κυμάτων. Η μάζα των σωματίων αυτών είναι μηδέν και το spin είναι 2.

Β) Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη. Η δύναμη αυτή ασκείται μόνο μεταξύ των φορτισμένων σωματίων, είναι θεωρητικά άπειρης εμβέλειας και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης των φορτισμένων σωμάτων. Είναι ελκτική ή απωστική, ανάλογα με το είδος των φορτίων. Οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις δεν παίζουν κανένα ρόλο στη συγκρότηση του Σύμπαντος, αλλά είναι η κυρίαρχη δύναμη στη συγκρότηση των ατόμων και της ύλης και στις διάφορες χημικές αντιδράσεις. Η ποικιλία των μορίων της ύλης που μας περιβάλλουν, των φυτών, των ζώων καθορίζεται από τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις. Το σωμάτιο – φορέας των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων είναι το **φωτόνιο**, του οποίου η μάζα είναι μηδέν και το spin είναι 1.

Γ) Η ισχυρή δύναμη. Είναι η ισχυρότερη αλληλεπίδραση στη φύση, 10^{39} φορές ισχυρότερη από τη βαρυτική και 10^{2} από την ηλεκτρομαγνητική. Η εμβέλεια της όμως είναι πάρα πολύ μικρή, της τάξης των διαστάσεων των πυρήνων, 10^{-15}m. Έτσι, παίζει ρόλο στη συγκρότηση των αδρονίων. Ασκείται μεταξύ των κουαρκ, ανεξαρτήτως ηλεκτρικού φορτίου και για αποστάσεις μεγαλύτερες του 1fm (=10^{-15}m) είναι ελκτική. Οι φορείς της ισχυρής αλληλεπίδρασης είναι τα γλοιόνια (ή γκλουόνια) τα οποία έχουν μάζα μηδέν και spin =1 και ανταλλάσσονται μεταξύ των κουαρκ.

Προσοχή: Μεταξύ των νουκλεονίων που συγκροτούν τους πυρήνες, η δύναμη είναι η πυρηνική η οποία δεν είναι θεμελιώδης αλλά παράγωγη και πολύπλοκη. Οι δε φορείς αλληλεπίδρασης μεταξύ των νουκλεονίων είναι τα μεσόνια (πιόνια).

Δ) Η ασθενής δύναμη. Είναι η ασθενέστερη μετά τη βαρυτική δύναμη, κατά 10^{-9} φορές μικρότερη από την ισχυρή. Η εμβέλεια της, 10^{-18}m, είναι η μικρότερη από όλες τις άλλες. Έχει την τάση να αποσταθεροποιεί τους πυρήνες, και σε αυτή οφείλεται η διάσπαση β. Τα σωμάτια – φορείς της αλληλεπίδρασης αυτής είναι τα ασταθή μποζόνια (Z^0, W^+, W^-).

Στον Πίνακα 1 φαίνονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των θεμελιωδών δυνάμεων.

Αλληλεπί-	Σχετική	Εμβέλεια	Φορέας	Σωμάτια

δραση	ένταση	(σε m)	Όνομα	Μάζα (GeV)/c^2	Σπιν	στα οποία δρα
Ισχυρή	1	10^{-15}	Γλοιόνιο ή Γκλουόνιο	0	1	Κουάρκ
Ηλεκτρο-μαγνητική	10^{-2}	∞	Φωτόνιο	0	1	Όλα τα φορτισμένα σωμάτια
Ασθενής	10^{-9}	10^{-18}	Ασθενή μποζόνια Z^0, W^+, W^-	82 και 91	1	Λεπτόνιο και κουάρκ
Βαρυτική	10^{-39}	∞	Βαρυτόνιο ή Γκραβιτόνιο	0	2	Όλα

Πίνακας 1: Οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις και τα σωμάτια –α φορείς τους με ορισμένα χαρακτηριστικά τους.

ΚΑΘΙΕΡΟΜΕΝΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

Η Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων μελετά τα θεμελιώδη συστατικά της ύλης και τις αλληλεπιδράσεις τους. Η τρέχουσα θεωρία που συνοψίζει κομψά τη γνώση μας γι' αυτό το πεδίο είναι το Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model) της Σωματιδιακής Φυσικής, το οποίο περιγράφει τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα θεμελιώδη σωματίδια και τα αντισωματίδιά τους. Τα στοιχειώδη σωματίδια χαρακτηρίζονται όχι μόνο από τις γνωστές ιδιότητες όπως μάζα και φορτίο, αλλά και κάποιες άλλες "εσωτερικές" παραμέτρους χωρίς μακροσκοπικές αντιστοιχίες όπως το σπιν, η "γεύση" κ.τ.λ., οι οποίες αποκτούν νόημα μόνο στα πλαίσια της κβαντομηχανικής.

Σύμφωνα με το Καθιερωμένο Πρότυπο (ΚΠ), τα στοιχειώδη σωματίδια κατηγοριοποιούνται συστηματικά ως:

Α) Κουάρκς και λεπτόνια. Από τα αστέρια μέχρι τα ανθρώπινα σώματα, η ύλη απαρτίζεται από στοιχειώδη σωμάτια που είναι ή κουάρκς ή λεπτόνια. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει πειραματικό δεδομένο που να συνηγορεί στο ότι τα σωματίδια αυτά έχουν περαιτέρω εσωτερική δομή και συνεπώς είναι κυριολεκτικά στοιχειώδη. Τα λεπτόνια είναι (σε σειρά αυξανόμενης μάζας και μειούμενου χρόνου ζωής) το ηλεκτρόνιο (e), το μιόνιο (μ), το ταυ (τ) και τα αντίστοιχα νετρίνο (ν_e,ν_μ, ν_τ). Τα ηλεκτρόνια, τα μιόνια και τα ταυ φέρουν αρνητικό φορτίο και μόνο το ηλεκτρόνιο είναι

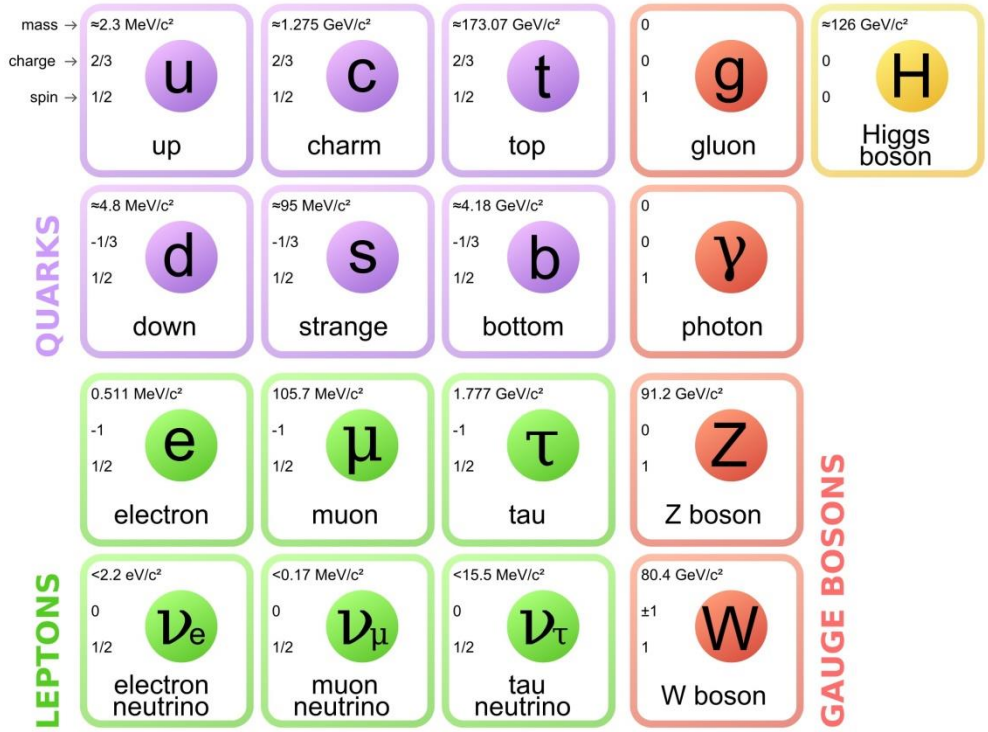
σταθερό. Όλα τα νετρίνο είναι ουδέτερα και σταθερά και τουλάχιστον στα πλαίσια του ΚΠ, έχουν μηδενική μάζα. Τα κουάρκς είναι έξι σωματίδια με μη μηδενική μάζα, κλασματικό φορτίο και δεν μπορούν να υπάρξουν σε ελεύθερη κατάσταση. Μία βασική τους ιδιότητα είναι ο εγκλωβισμός (confinement), η εμμονή τους δηλαδή να υπάρχουν σε συνδυασμούς των δύο ή των τριών. Αυτές οι σύνθετες καταστάσεις ονομάζονται μεσόνια και βαρυόνια αντιστοίχως και έχουν όλες ακέραιο φορτίο. Συλλογικά ονομάζονται αδρόνια, τα δύο πιο γνωστά εκ των οποίων είναι το πρωτόνιο και το νετρόνιο.

Β) Φερμιόνια και Μποζόνια. Το σπιν, το πλησιέστερο μακροσκοπικό ανάλογο του οποίου είναι η εσωτερική στροφορμή, αποτελεί μία από τις βασικότερες κβαντομηχανικές παραμέτρους. Τα σωματίδια με ακέραιο σπιν ονομάζονται συλλογικά μποζόνια, ενώ αυτά με ημιακέραιο σπιν φερμιόνια. Τα κουάρκς και τα λεπτόνια είναι όλα φερμιόνια και κατά συνέπεια τα μεσόνια είναι μποζόνια ενώ τα βαρυόνια είναι φερμιόνια. Η κατηγοριοποίηση αυτή των σωματιδίων στη βάση του ακέραιου ή όχι σπιν είναι καθοριστική, δεδομένου ότι η δυναμική των στοιχειωδών σωματιδίων εξαρτάται ουσιωδώς από το φερμιονικό ή μποζονικό τους χαρακτήρα.

Γ) Μποζόνιο βαθμίδας και μποζόνιο του Higgs (Χιγκς ή σωματίδιο του Θεού). Μποζόνια βαθμίδας ονομάζονται στο ΚΠ τα σωμάτια που είναι φορείς δυνάμεων, αυτά δηλαδή που ανταλλάσσουν τα λεπτόνια και τα αδρόνια όταν αλληλεπιδρούν. Το ΚΠ βασίζεται σε τρεις τύπους αλληλεπιδράσεων, την ηλεκτρομαγνητική, την ασθενή και την ισχυρή, κάθε μία εκ των οποίων πραγματοποιείται με την ανταλλαγή των ανάλογων μποζονίων βαθμίδας. Ο φορέας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης είναι το γνωστό σε όλους φωτόνιο. Η ασθενής αλληλεπίδραση πραγματοποιείται με μεσάζοντες τα μποζόνια Z^0 και W^+, W^-, το πρώτο εκ των οποίων είναι ηλεκτρικά ουδέτερο ενώ τα W έχουν φορτίο ανάλογο με το πρόσημο του εκθέτη τους. Η ισχυρή αλληλεπίδραση δρα μεταξύ των κουάρκς μόνο και έχει ως μεσάζοντες οκτώ μποζόνια βαθμίδας που ονομάζονται γλουόνια. Η συλλογική ονομασία "μποζόνια βαθμίδας"

προέρχεται από το γεγονός ότι όλα τα σωματίδια αυτής της ομάδας μοιράζονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά: είναι όλα μεσάζοντες δυνάμεων, ακεραίου σπιν και η

δυναμική τους περιγράφεται από μία κλάση μαθηματικών θεωριών που έχουν τις λεγόμενες συμμετρίες βαθμίδας. Το ΚΠ πρότυπο στην παρούσα του μορφή δεν μπορεί να χωρέσει και την τέταρτη γνωστή αλληλεπίδραση, τη βαρύτητα. Μιας και η βαρύτητα όμως μπορεί επίσης να εκφραστεί ως θεωρία βαθμίδας, εικάζεται ότι σε αυτήν την περίπτωση οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις πραγματοποιούνται μέσω της ανταλλαγής ενός (υποθετικού) σπιν-2 μποζονίου βαθμίδας που έχει ονομαστεί γκραβιτόνιο. Το μοναδικό βαθμωτό (δηλαδή, σπιν-0) μποζόνιο είναι το διάσημο μποζόνιο του Χιγκς, η ύπαρξη του οποίου επιβεβαιώθηκε πρόσφατα από το CERN (Ιούλιο του 2012). Το μποζόνιο του Χιγκς είναι το βαρύτερο μποζόνιο που έχει βρεθεί, το οποίο σε συνδυασμό και με το σχεδόν στιγμιαίο χρόνο ζωής του, εξηγεί γιατί χρειάστηκαν τόσα χρόνια ώστε να αναπτυχθεί η απαραίτητη τεχνολογία για τον πειραματικό εντοπισμό του. Η ανακάλυψη του σωματιδίου Χιγκς απάντησε στο μεγάλο ερώτημα της σωματιδιακής φυσικής περί της ύπαρξης μποζονίων βαθμίδας με μη μηδενική μάζα (Z^0, W^+, W^-).



Εικόνα 1: Το Καθιερωμένο Πρότυπο της Σωματιδιακής Φυσικής

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (CERN)

Το CERN είναι το Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικής Φυσικής, το μεγαλύτερο για τη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων στον κόσμο. Ιδρύθηκε το 1954 και αποτελεί ένα εντυπωσιακό παράδειγμα διεθνούς συνεργασίας. Τα 12 ιδρυτικά κράτη - μέλη (μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και η Ελλάδα) έχουν αυξηθεί σε 20. Το εργαστήριο βρίσκεται πάνω στα Γαλλο - ελβετικά σύνορα, δυτικά της Γενεύης, και επιστήμονες από όλο τον κόσμο συνεργάζονται με μοναδικό τρόπο με σκοπό τόσο την έρευνα στον τομέα της σωματιδιακής φυσικής όσο και στην ανάπτυξη τεχνολογιών αιχμής. Πέραν του ανθρώπινου επιστημονικού δυναμικού, ο κύριος εξοπλισμός του CERN, οι επιταχυντές και οι ανιχνευτές αποτελούν τα μεγαλύτερα και πολυπλοκότερα επιστημονικά όργανα στον κόσμο. Οι επιταχυντές είναι διατάξεις μεγάλων διαστάσεων με τις οποίες επιταχύνονται, με ηλεκτρομαγνητικά πεδία, φορτισμένα σωμάτια (ηλεκτρόνια, πρωτόνια, ποζιτρόνια). Τα σωμάτια αυτά αποκτούν πολύ μεγάλες ταχύτητες και ενέργειες και στη συνέχεια προσπίπτουν σε διάφορους στόχους και τους διασπούν. Με τον τρόπο αυτό παράγεται μεγάλος αριθμός νέων σωματίων, με μεγάλη ποικιλία μαζών και άλλων χαρακτηριστικών. Οι ερευνητές εξετάζουν εκατομμύρια από ασυνήθιστα γεγονότα προσπαθώντας να εμβαθύνουν στα μυστήρια της ύλης αλλά και στη γένεση του Σύμπαντος. Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούμε αναλυτικά στον επιταχυντή LHC καθώς και στους ανιχνευτές που είναι διατεταγμένοι κατά μήκος του επιταχυντή.

Ο ΜΕΓΑΛΟΣ ΑΔΡΟΝΙΚΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗΣ (LHC)

Ο LHC είναι ο ισχυρότερος και μεγαλύτερος επιταχυντής σωματιδίων που έχει κατασκευαστεί. Χρησιμοποιεί συγκρουόμενες δέσμες σωματιδίων (αρχικά πρωτονίων και στη συνέχεια πυρήνων μολύβδου και άλλων βαρέων ιόντων). Η ενέργεια της σύγκρουσης των δεσμών είναι η μεγαλύτερη που έχει ποτέ επιτευχθεί στο εργαστήριο και μας βοηθά να πλησιάσουμε τις συνθήκες που επικρατούσαν λίγες στιγμές μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Ο LHC ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 10 Σεπτεμβρίου 2008.

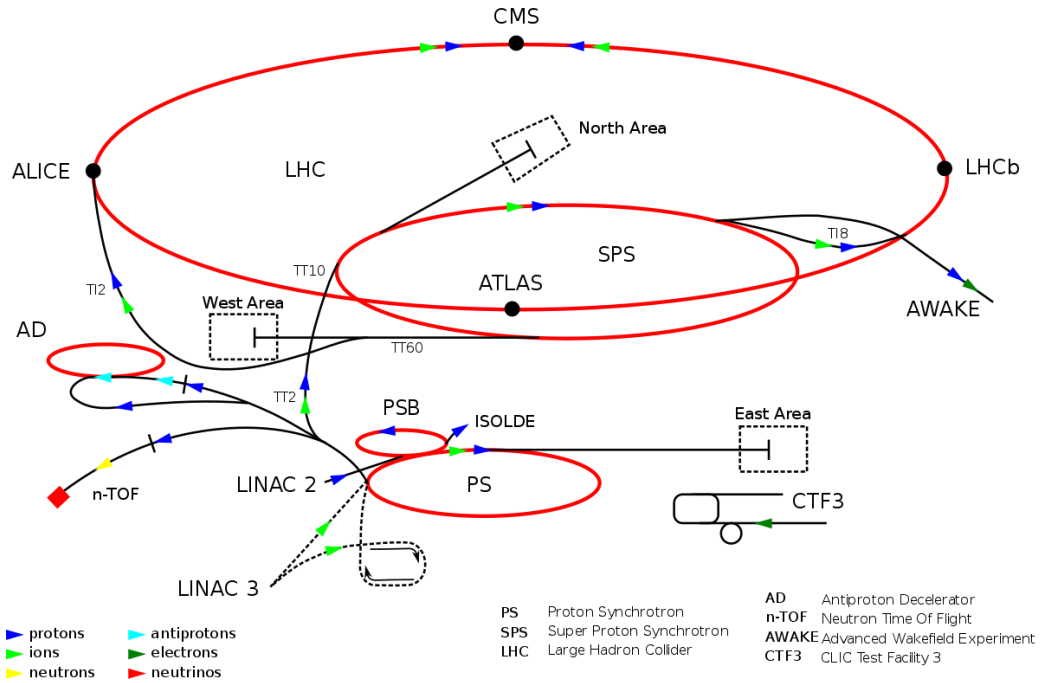
Ο επιταχυντής βρίσκεται εγκατεστημένος σε ένα τούνελ περιφέρειας 27χλμ. Σε βάθος περίπου 100m κάτω από τα Γαλλο- ελβετικά σύνορα. Στεγάζεται στο, πλάτους 4m, τούνελ που σκάφτηκε μεταξύ 1983 και 1988 για τον παλιότερο επιταχυντή LEP.

Μέσα στο τούνελ βρίσκονται δύο παράλληλοι σωλήνες όπου κυκλοφορούν δέσμες σωματιδίων που κινούνται με αντίθετη φορά. Οι σωλήνες συναντώνται σε 4 σημεία γύρω από τα οποία είναι τοποθετημένα τα πειράματα του LHC. Για την καθοδήγηση της δέσμης στην κυκλική της τροχιά φροντίζουν 1232 υπεραγώγιμοι μαγνήτες, ενώ 392 τετραπολικοί μαγνήτες είναι υπεύθυνοι για την εστίαση της δέσμης, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα σύγκρουσης των δύο δεσμών. Για την ψύξη των περισσοτέρων από 9000 υπεραγώγιμων μαγνητών χρησιμοποιούνται 96 τόνοι υγρού Ήλιου, που τους διατηρεί στη θερμοκρασία των 1,9^{o} K. Το μαγνητικό πεδίο που χρησιμοποιεί έχει ένταση 8,3Tesla κατά την πλήρη λειτουργία του επιταχυντή σε ενέργεια δέσμης 7TeV (να σημειωθεί ότι 1eV=1,6·10^{-19}J). Τα πρωτόνια που χρησιμοποιούνται δε βρίσκονται σε διάταξη δέσμης αλλά σε 2808 πακέτα αποτελούμενα από 3×10^{14} πρωτόνια έτσι ώστε οι συγκρούσεις ανάμεσα στις δύο δέσμες να μην είναι συνεχείς αλλά διακριτές, με απόσταση τουλάχιστον 25ns.

Πριν εισαχθούν στον LHC τα πρωτόνια επιταχύνονται από μία σειρά άλλων διατάξεων έτσι ώστε να αποκτήσουν τη μεγαλύτερη δυνατή ενέργεια. Αρχικά εισάγονται στον **LINAC 2** (LINear pArticle aCcelerator) που τα επιταχύνει σε ενέργεια 50MeV και στη συνέχεια εισάγονται στον **PSB** (Proton Synchrotron Booster) που τα επιταχύνει έως τα 1,4GeV. Σειρά έχουν το **PS** (Proton Synchrotron) που τα επιταχύνει έως τα 26GeV και τέλος το SPS (Super Proton Synchrotron) που τελικά τα εισάγει στον **LHC** με ενέργεια 450GeV. Η επιτάχυνση τους μέχρι τα **7 TeV** ανά πρωτόνιο διαρκεί περίπου 20 λεπτά. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα πρωτόνια έχουν 99,9999991 % της ταχύτητας του φωτός.

Για τα Βαρέα Ιόντα η διαδικασία που θα ακολουθηθεί είναι κάπως διαφορετική. Αρχικά θα επιταχυνθούν από το **LINAC 3**, και στη συνέχεια θα περάσουν από τα **PS** και **SPS** έως ότου φτάσουν στον **LHC**, όπου θα αποκτήσουν την τελική τους ενέργεια των **574TeV** ανά πυρήνα.

Η ενέργεια κέντρου μάζας που αναμένεται να φτάσει ο LHC είναι **14TeV** για δέσμες πρωτονίων και **1148 TeV** χρησιμοποιώντας πυρήνες μολύβδου. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας ερευνητικών στόχων του LHC, 6 ανιχνευτές διαφορετικών τύπων έχουν τοποθετηθεί σε 4 υπόγειες κοιλότητες γύρω από τα τέσσερα σημεία τομής των δεσμών. Οι δύο από αυτούς (ATLAS και CMS) είναι μεγάλοι ανιχνευτές γενικού σκοπού, άλλοι δύο (ALICE και LHCb) έχουν συγκεκριμένους ρόλους, ενώ οι TOTEM και LHCf είναι πολύ μικρότεροι και έχουν και πολύ συγκεκριμένο σκοπό.

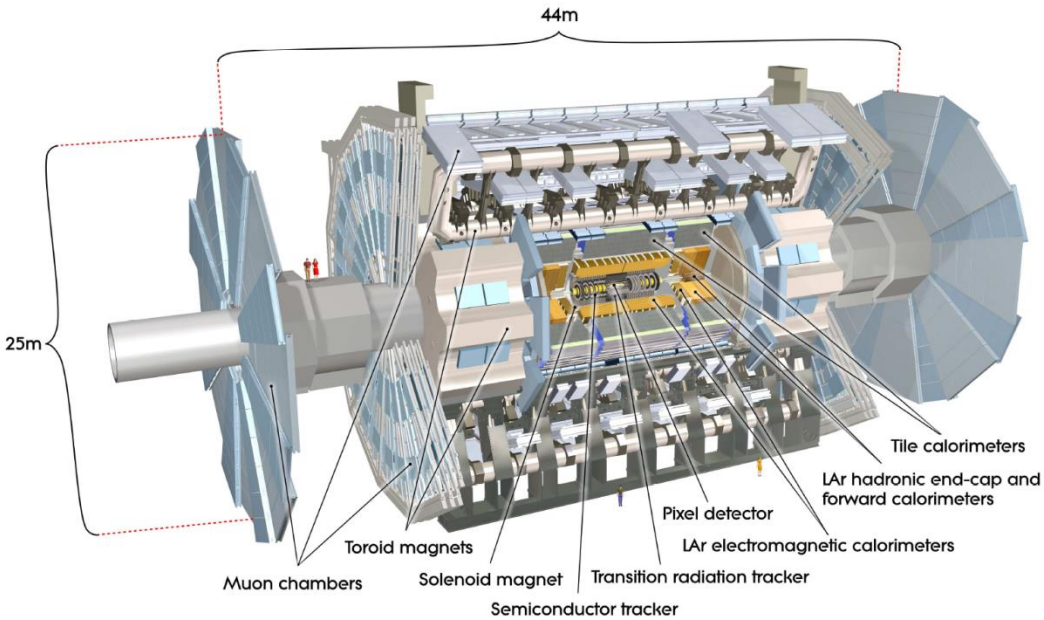


Εικόνα 2: Πορεία των σωματιδίων μέχρι τον LHC

ΑΤΛΑΣ

Ο ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) χρησιμοποιείται για μία ευρεία γκάμα επιστημονικών πειραμάτων συμπεριλαμβανομένης και της αναζήτησης του σωματιδίου Higgs, επιπλέον διαστάσεων και σωματιδίων που μπορεί να αποτελούν τη σκοτεινή ύλη. Αν και ο σκοπός του ATLAS είναι ίδιος με αυτόν του CMS, και τα δεδομένα που θα καταγράψουν είναι παρόμοια (τροχιές, ενέργειες, κατηγορίες σωματιδίων) ο σχεδιασμός και η κατασκευή των μαγνητών που χρησιμοποιούν είναι τελείως διαφορετικός.

Ο ανιχνευτής ATLAS είναι ο μεγαλύτερος σε όγκο ανιχνευτής που έχει κατασκευαστεί, έχει μήκος 44μέτρα, ύψος 25μέτρα και πλάτος 25μέτρα (διαστάσεις που προσεγγίζουν ένα πενταόροφο κτίριο) και ζυγίζει 7.000τόνους (περίπου όσο ο πύργος του Άϊφελ).



Εικόνα 1: Ο ανιχνευτής ATLAS

Το κύριο χαρακτηριστικό του ATLAS είναι το τεράστιο σύστημα τοροειδών μαγνητών χωρίς πυρήνα (αέρα). Αποτελείται από 8 υπεραγώγιμα πηνία μήκους 25m, τοποθετημένα έτσι ώστε να δημιουργούν έναν κύλινδρο γύρω από τη δέσμη των σωματιδίων σε όλο το μήκος του ανιχνευτή. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων το μαγνητικό πεδίο περιορίζεται μέσα στον κύλινδρο που δημιουργούν τα πηνία και η σύγκρουση των δεσμών πραγματοποιείται στο κέντρο αυτού του κυλίνδρου. Τα σωματίδια, που προκύπτουν από τη σύγκρουση, περνούν μέσα από τους ανιχνευτές διαδοχικά και είτε σταματούν σε κάποιον από αυτούς είτε συνεχίζουν την πορεία τους έξω από τον ανιχνευτή. Ο ανιχνευτής ATLAS έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει σωματίδια με ακρίβεια 0,01χιλιοστού.

Περισσότεροι από 3030 επιστήμονες από 174 ινστιτούτα και 38 χώρες δουλεύουν πάνω στο πείραμα ATLAS.

ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΝΕΑ ΑΠΟ ΤΟ CERN

Α) Ανακάλυψη πέντε νέων υποατομικών σωματιδίων του βαρυονίου Ωμέγα – c.

Η ανακάλυψη το 2017 - αν και όχι ανάλογης σημασίας με την εύρεση του σωματιδίου του Χιγκς το 2012 - ρίχνει περισσότερο φως σε μία από τις θεμελιώδεις δυνάμεις του Σύμπαντος, την ισχυρή πυρηνική δύναμη στο εσωτερικό των ατόμων. Και τα πέντα σωματίδια είναι βαρυόνια, που δημιουργούνται από τους συνδυασμούς τριών κουάρκ. Τα νέα βαρυόνια αποτελούνται από δύο «γοητευτικά» (charm) και ένα «παράξενο» (strange) κουάρκ. Τα κουάρκ συγκρατούνται μεταξύ τους από την ισχυρή πυρηνική δύναμη και ο τρόπος που δουλεύει αυτή, περιγράφεται από τη θεωρία της κβαντικής χρωμοδυναμικής. Συγκεκριμένα, πρόκειται για πέντε νέες μορφές του βαρυόνιου Ωμέγα-c, η ύπαρξη του οποίου είχε επιβεβαιωθεί πειραματικά το 1994. Από τότε που

ανακαλύφθηκε το πρώτο βαρυόνιο Ωμέγα-c, οι φυσικοί υποπτεύονταν ότι υπήρχαν βαρύτερα «αδελφάκια» του, κάτι που επιβεβαιώνεται τώρα με τη νέα ανακάλυψη.
Β) Νέο «βαρύ» σωματίδιο ανακαλύφθηκε στο CERN.

Η τελευταία ανακάλυψη στον LHC του CERN είναι ένα νέο σωματίδιο με την εξωτική ονομασία Xicc++. Η ανακάλυψη, λένε οι ερευνητές, θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση μιας από τις τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις της φύσης, την ισχυρή πυρηνική δύναμη, η οποία συγκρατεί τους πυρήνες των ατόμων. Όπως ανακοινώθηκε στην ευρωπαϊκή Συνδιάσκεψη Φυσικής Υψηλών Ενεργειών στη Βενετία, το Xicc++ είναι ένα βαρυόνιο, ανήκει δηλαδή στην οικογένεια των σωματιδίων που απαρτίζουν το μεγαλύτερο μέρος της κοινής ύλης. Τα βαρυόνια αποτελούνται από τρία κουάρκ, αλλά επειδή υπάρχουν έξι διαφορετικά είδη (ή «γεύσεις») κουάρκ, υπάρχουν και πολλοί πιθανοί συνδυασμοί για να δημιουργηθεί ένα βαρυόνιο. Μέχρι σήμερα όλα τα γνωστά βαρυόνια περιείχαν το πολύ ένα βαρύ κουαρκ. Το νέο σωματίδιο είναι το πρώτο που βρέθηκε να αποτελείται από δύο βαριά «χαριτωμένα» κουάρκ (charm) και ένα «άνω» κουάρκ (up). Η ύπαρξή του είχε προβλεφθεί θεωρητικά, αλλά μόλις τώρα κατέστη εφικτό να επιβεβαιωθεί πειραματικά μέσω των συγκρούσεων στον επιταχυντή του CERN. Η μάζα του Xicc++ είναι περίπου 3621 MeV (μεγαηλεκτρονιοβόλτ), σχεδόν τετραπλάσια σε σχέση με το πιο κοινό βαρυόνιο, το πρωτόνιο.

Γ) Ο νέος γραμμικός επιταχυντής LINAC 4.

Μετά από μία μακρά περίοδο δοκιμών ο LINAC 4 θα συνδεθεί με τον μεγάλο επιταχυντή LHC, όταν ο τελευταίος τεθεί εκτός λειτουργίας για την καθιερωμένη τεχνική συντήρηση και αναβάθμιση το χειμώνα του 2019 – 2020. Ο LINAC 4 θα αντικαταστήσει τον LINAC 2, ο οποίος λειτουργεί από το 1978, και θα γίνει αυτός πλέον το πρώτο στάδιο στην αλυσίδα επιταχυντών του CERN, παράγοντας ακτίνες πρωτονίων για μία ευρεία γκάμα πειραμάτων. Ο Linac 4 θα στέλνει αρνητικά ιόντα υδρογόνου, αποτελούμενα από ένα άτομο υδρογόνου με δύο ηλεκτρόνια, στο σύγχροτρο πρωτονίων (Proton Synchrotron Booster-PSB) του CERN, το οποίο θα επιταχύνει κι άλλο τα αρνητικά ιόντα, ενώ θα απομακρύνει τα ηλεκτρόνια τους. Η παραγόμενη ακτίνα του Linac 4 θα έχει ενέργεια έως 160 MeV, υπετριπλάσια σε σχέση με του Linac 2. Αφενός η αύξηση της ενέργειας και αφετέρου η χρήση ιόντων υδρογόνου θα διπλασιάσει την ενέργεια της ακτίνας που θα φθάνει στον μεγάλο επιταχυντή LHC, συμβάλλοντας καθοριστικά στην μελλοντική αύξηση της φωτεινότητας του τελευταίου. Η φωτεινότητα (luminosity) είναι μια καθοριστική παράμετρος που δείχνει πόσο μεγάλος είναι ο αριθμός των σωματιδίων, τα οποία συγκρούονται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η μέγιστη φωτεινότητα του LHC σχεδιάζεται να πενταπλασιαθεί έως το 2025, με στόχο τη δημιουργία του «Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων Υψηλής Φωτεινότητας» (High – Luminosity LHC).

Οι τεχνικές εργασίες για την αναβάθμιση του LHC ήδη άρχισαν την Παρασκευή 14 Ιουνίου 2018 σε δύο σημεία στη Γαλλία και στην Ελβετία, όπου θα κατασκευαστούν κατασκευασθούν νέα κτίρια, νέες υπόγειες αίθουσες και ένα ακόμη τούνελ 300 μέτρων για να τοποθετηθεί ο νέος εξοπλισμός. Στη διάρκεια των εργασιών έως το 2026, οπότε αναμένεται να ολοκληρωθούν, ο νυν μεγάλος επιταχυντής LHC θα συνεχίσει να λειτουργεί, με δύο μακριές ενδιάμεσες διακοπές για συντήρηση.

Στο πλαίσιο της αναβάθμισης, που έχει αρχικό προϋπολογισμό 950 εκατ. ελβετικών φράγκων, πάνω από 1,2 χιλιόμετρα του σημερινού επιταχυντή θα αντικατασταθούν με νέο εξοπλισμό υψηλότερης τεχνολογίας. Μεταξύ άλλων, θα εγκατασταθούν περίπου 130 νέοι ισχυρότεροι μαγνήτες, που θα επιτρέψουν τη μεγαλύτερη συμπίεση της σωματιδιακής δέσμης, κάτι το οποίο θα αυξήσει τις συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων. Έτσι, τα πειράματα του LHC θα μπορούν να συλλέξουν περίπου δέκα φορές περισσότερα δεδομένα κατά την περίοδο 2025-2035. Αυτό θα επιτρέψει στους φυσικούς να κάνουν πιο ακριβείς μετρήσεις για τα θεμελιώδη σωματίδια από ό,τι σήμερα και ίσως να ανοίξουν ένα «παράθυρο» σε άγνωστες έως τώρα διαδικασίες της φύσης πέρα από το «Καθιερωμένο Πρότυπο» (Standard Model), όπως η σκοτεινή ύλη και ενέργεια ή οι επιπλέον χωροχρονικές διαστάσεις.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το CERN, το μεγαλύτερο ερευνητικό κέντρο του είδους του στον κόσμο. Είναι πρωτοπόρο στην προώθηση της γνώσης για τον κόσμο γύρω μας, την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για επιταχυντές και ανιχνευτές και τη μετέπειτα μεταφορά της γνώσης, της τεχνογνωσίας και της τεχνολογίας στην κοινωνία, την εκπαίδευση και την κατάρτιση επιστημόνων και μηχανικών του αύριο μέσα από ένα πλαίσιο διεθνούς συνεργασίας.

Στο CERN, πέραν της έρευνας που στοχεύει στην εξερεύνηση βασικών ερωτημάτων της φύσης σχετικά με την ύλη, την προέλευση της και τον τρόπο που το Σύμπαν έφτασε στη σημερινή του μορφή μετά από 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια, έχουν αναπτυχθεί γνώσεις και τεχνολογία που έχουν ήδη βελτιώσει τη ζωή μας. Επιγραμματικά αναφέρεται ότι στην Ιατρική βελτιώθηκαν οι ακτινογραφικές συσκευές έτσι ώστε η απορρόφηση από τους ιστούς να είναι δέκα φορές λιγότερη, ανακαλύφθηκαν οι τομογράφοι με εκπομπή ποζιτρονίων για την έγκαιρη διάγνωση μεταβολών στους ιστούς και κατασκευάστηκαν μηχανήματα για τον βομβαρδισμό όγκων με τεράστια ακρίβεια. Επιπλέον στις τηλεπικοινωνίες ανακαλύφθηκαν επαναστατικές ιδέες στη μεταφορά δεδομένων και στο CERN «γεννήθηκε» το Διαδίκτυο.

Όπως σε όλες τις έρευνες, έτσι και στις έρευνες που διεξάγονται στο CERN δεν είναι δυνατόν να είναι εκ των προτέρων γνωστά τα οφέλη τους. Ωστόσο, όλες οι μεγάλες ανακαλύψεις που άλλαξαν την ιστορία του ανθρώπου προήλθαν από τη βασική έρευνα. Επιδίωξη όλης της επιστημονικής κοινότητας είναι να πραγματοποιούνται συστηματικές ανακαλύψεις σε όλους τους τομείς με τους οποίους ασχολείται το CERN.

Βιβλιογραφία

[1] Γραμματικάκης, Ι. (2006). *Εισαγωγή στη Σύγχρονη Φυσική*, Αθήνα:Εκδόσεις Δημόπουλου

[2] Κουρκουμέλη, Χρ. & Βουράκης, Στ. (2017). *Hybrid Pupil's Analysis Tool for Interactions in ATLAS*, Αθήνα: Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, ATLAS, CERN.

[3] https://www.newsbomb.gr/tags/tag/31385/cern

[4] https://www.naftemporiki.gr/stream/848/to-peirama-tou-aiona-sto-cern

[5] http://www.tovima.gr/science/articlelist

[6] http://www.physics.ntua.gr

[7] http://atlas.physicsmasterclasses.org

[8] http://www.inp.demokritos.gr