ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 5, No 3 (2022)

Open Schools Journal for Open Science - Special Issue -IDEA Conference Proceedings

Το CERN στο σχολείο μας

Αναστάσης Γκίκας , Δημήτρης Πετούμενος, Γιώργος Σταυριανάκης , Ωραιάνθη Στεφανιώρου , Αλεξάνδρα Σωτηρίου

doi: 10.12681/osj.32466

Copyright © 2022, Anastasis Gikas, Dimitris Petoumenos, Giorgos Stavrianakis, Oreanthi Stefaniorou, Alexandra Sotiriou

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

To cite this article:

Γκίκας Α., Πετούμενος Δ., Σταυριανάκης Γ., Στεφανιώρου Ω., & Σωτηρίου Α. (2022). Το CERN στο σχολείο μας. *Open Schools Journal for Open Science*, *5*(3). https://doi.org/10.12681/osj.32466

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 27/01/2026 20:12:12

Το Cern στο σχολείο μας

Γκίκας Αναστάσης, Πετούμενος Δημήτρης, Σταυριανάκης Γιώργος, Στεφανιώρου Ωραιάνθη, Σωτηρίου Αλεξάνδρα

Περίληψη

Λόγω του πεπερασμένου της ταχύτητας του φωτός, οι αστρονόμοι είναι οι "αρχαιολόγοι" του Σύμπαντος. Πολύ πρόσφατα (30/3/22) επιστήμονες ανακοίνωσαν στο περιοδικό Nature ότι το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble ανακάλυψε το πιο απομακρυσμένο μεμονωμένο άστρο που έχει ποτέ παρατηρηθεί. Το φως του χρειάστηκε 12,9 δισεκατομμύρια έτη για να φτάσει σ' εμάς κι έτσι σήμερα το βλέπουμε όπως ήταν πριν από τόσα χρόνια. Αυτό μας οδήγησε να αναρωτηθούμε αν μπορούμε, κοιτώντας τον ουρανό με ένα καλό τηλεσκόπιο, να δούμε πίσω μέχρι τη Μεγάλη Έκρηξη. Η έρευνα μας οδήγησε σε απρόσμενες απαντήσεις: Ναι, μπορούμε να δούμε τόσο πίσω στον χρόνο. Όχι, όμως, χρησιμοποιώντας μεγάλα τηλεσκόπια, αλλά μεγάλα μικροσκόπια, όπως τον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πυρηνικών Ερευνών στη Γενεύη (CERN)! Στην παρούσα εργασία αναλύουμε τη δομή και τη λειτουργία του LHC και εξετάζουμε πτυχές της σχολικής Φυσικής που βρίσκουν εφαρμογή στη σύγχρονη έρευνα αιχμής της Σωματιδιακής Φυσικής.

Λέξεις κλειδιά : Φως, Μεγάλη Έκρηξη

Εισαγωγή

Το CERN είναι το μεγαλύτερο ερευνητικό πειραματικό κέντρο παγκοσμίως. Στεγάζεται στην Ελβετία, δυτικά της Γενεύης και ιδρύθηκε το έτος 1954 από 12 κράτη, ένα εκ των οποίων να είναι και η Ελλάδα, ωστόσο σήμερα ο αριθμός των μελών έχει αυξηθεί στα 23. Στον χώρο αυτό εργάζονται πάνω από 2500 άτομα και μεταξύ αυτών βρίσκονται περίπου 1200 φοιτητές. Βασικός σκοπός του είναι η ανάλυση των κύριων συστατικών της ύλης, η προέλευση και η δομή του σύμπαντος καθώς και να δώσει απαντήσεις σε κάποια από τα μεγαλύτερα επιστημονικά ερωτήματα του σύγχρονου κόσμου (προέλευση της μάζας και της ενέργειας, ερμηνεία της έννοιας της σκοτεινής ύλης και ενέργειας κ.α.).

Ο καλύτερος τρόπος που έχουμε εφεύρει μέχρι σήμερα για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός είναι η δημιουργία επιταχυντών. Οι επιταχυντές χρησιμοποιούνται για να επιταχύνουν τα υποατομικά σωματίδια και κυρίως τα πρωτόνια σε ταχύτητες συγκρίσιμες με αυτές του φωτός. Μέσω της επιτάχυνσης και κατ' επέκταση της κρούσης των πρωτονίων μπορούμε να διερευνήσουμε τα σωματίδια που θα προκύψουν και τις ενεργειακές καταστάσεις που αυτά βρίσκονται. Με άλλα λόγια, αυτό που προσπαθούν να προσομοιώσουν οι επιστήμονες στο cern είναι μία όσο το δυνατόν πλησιέστερη κατάσταση σαν αυτή του Big Bang. Αυτό συμβαίνει, γιατί λόγω του χρόνου που χρειάζεται το φως για να ταξιδέψει δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για το τι υπήρχε τις αρχικές στιγμές ύπαρξης του σύμπαντος. Για αυτό , λοιπόν, με αυτή την προσομοίωση μπορούμε να παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν τώρα άρα και πιθανά αποτελέσματα που θα μπορούσαν να είχαν προκύψει τότε. Για παράδειγμα, πριν από τρεις δεκαετίες, οι αστρονόμοι εντόπισαν ένα από τα φωτεινότερα

αστέρια που εκρήγνυνται για περισσότερο από 400 χρόνια. Η Supernova αυτή ονομάστηκε Supernova 1987A. Βρίσκεται κοντά στο Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου, είναι η πλησιέστερη έκρηξη Supernova που έχει παρατηρηθεί εδώ και εκατοντάδες χρόνια. Είναι μια από τις καλύτερες ευκαιρίες για τους αστρονόμους διότι μπορούν να μελετήσουν την ζωή και τον θάνατο ενός άστρου.

Εικόνα 1 : Supernova 1987A

Large Hadron Collider (LHC)

Ο LHC ή αλλιώς Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων είναι ο μεγαλύτερος και πιο ισχυρός επιταχυντής σωματιδίων στον κόσμο. Ξεκίνησε για πρώτη φορά το 2008 στο Cern. Βρίσκεται σε μία σήραγγα που έχει έκταση 27 χιλιόμετρα, κάτω από τα σύνορα Γαλλίας – Ελβετίας, κοντά στην Γενεύη, σε βάθος 175 μέτρα.

Ο LHC θα βοηθήσει τους επιστήμονες που ασχολούνται με τη φυσική να μελετήσουν διάφορες θεωρίες και να απαντήσουν σε ερωτήματα σχετικά με τη σωματιδιακή φυσική.

Ο επιταχυντής έχει τέσσερα σημεία διέλευσης και γύρω από αυτά βρίσκονται επτά ανιχνευτές. Οι ανιχνευτές είναι σχεδιασμένοι με διαφορετικό τρόπο. Ο καθένας από αυτούς ανιχνεύει διαφορετικά φαινόμενα. Στα σημεία διέλευσης, τα επιταχυνόμενα σωματίδια συγκρούονται.

Οι πρώτες συγκρούσεις πραγματοποιήθηκαν το 2010 με ενέργεια 3,5 (tera electronvolt) TeV ανά δέσμη, γεγονός πρωτοποριακό για εκείνη την χρονική στιγμή. Μετά από διάφορες έρευνες και αναβαθμίσεις η ενέργεια εκτοξεύτηκε στα 6,5TeV και αποτελεί το παγκόσμιο ρεκόρ.

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ο επιταχυντής είναι ο εξής:

Στο εσωτερικό του υπάρχουν δύο δέσμες σωματιδίων υψηλής ενέργειας που ταξιδεύουν σχεδόν με την ταχύτητα του φωτός, προτού αναγκαστούν να συγκρουστούν. Οι δέσμες που ταξιδεύουν σε αντίθετες κατευθύνσεις, ‘’παρασύρονται’’ γύρω από τον δακτύλιο του επιταχυντή από ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο που διατηρείται από υπεραγώγιμους ηλεκτρομαγνήτες.

Επειδή οι ηλεκτρομαγνήτες είναι κατασκευασμένοι από πηνία ειδικού ηλεκτρικού καλωδίου το οποίο λειτουργεί σε υπεραγώγιμη κατάσταση, γεγονός που απαιτεί την ψύξη των μαγνητών στους -271,3°C που είναι θερμοκρασία ψυχρότερη από την θερμοκρασία που υπάρχει στο διάστημα, μεγάλο μέρος του επιταχυντή συνδέεται με ένα σύστημα διανομής υγρού ηλίου, το οποίο έχει τη δυνατότητα να «ψύχει» τους μαγνήτες.

Οι δέσμες γύρω από τον επιταχυντή κατευθύνονται από χιλιάδες μαγνήτες διαφορετικών μεγεθών. Υπάρχουν 1232 διπολικοί μαγνήτες μήκους 15 μέτρων που λυγίζουν τις δέσμες και 392 τετραπολικοί μαγνήτες μήκους 5 – 7 μέτρων, που εστιάζουν τις δέσμες. Λίγο πριν από τη σύγκρουση, ένας άλλος τύπος μαγνήτη χρησιμοποιείται για να ‘’συμπιέσει’’ τα μικροσκοπικά σωματίδια, ώστε να έρθουν πιο κοντά το ένα με το άλλο και να αυξηθούν οι πιθανότητες της σύγκρουσης.

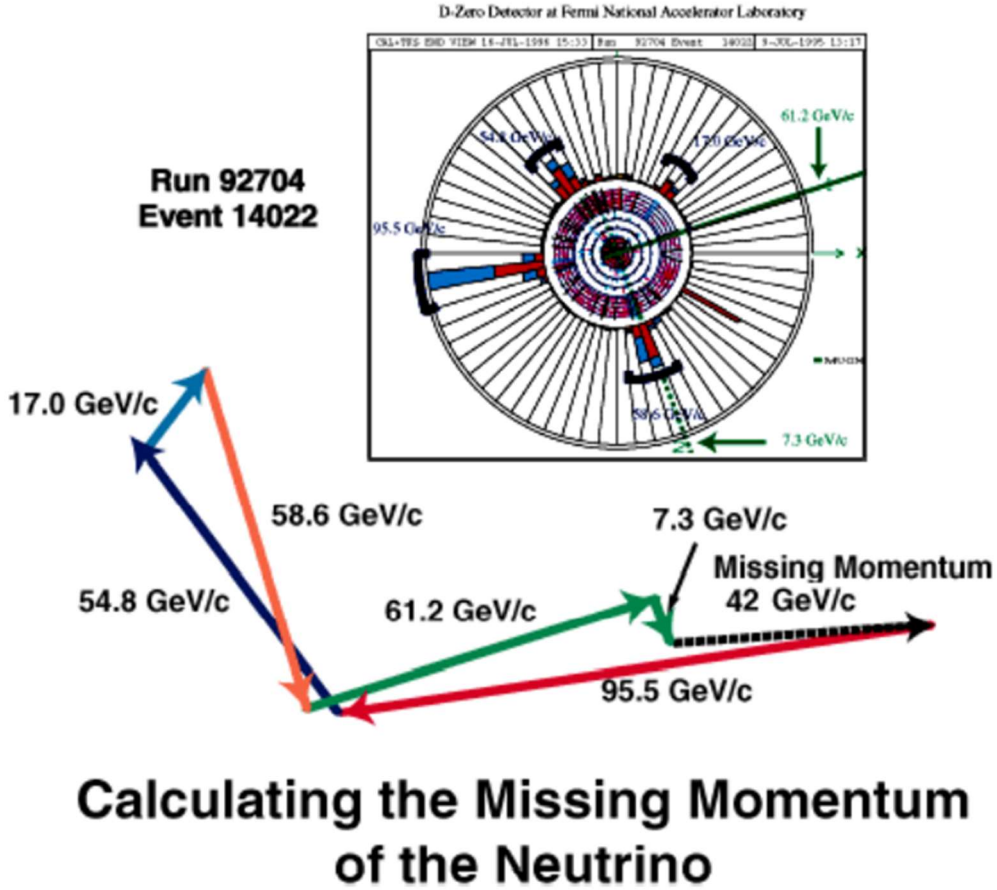
Οι δέσμες στο εσωτερικό του LHC, συγκρούονται σε τέσσερις θέσεις γύρω από τον δακτύλιο επιταχυντή. Τα σημεία αυτά, αντιστοιχούν στις θέσεις των τεσσάρων ανιχνευτών σωματιδίων: ATLAS , CMS , ALICE και LHCb.

Η εκτίμηση των Φυσικών επιστημόνων είναι πως το LHC θα παίξει σημαντικό ρόλο στην εξεύρεση απαντήσεων σε θεμελιώδη ερωτήματα για την επιστήμη της σωματιδιακής φυσικής που παραμένουν ανοιχτά. Συνεπώς, αναμένεται να δοθούν απαντήσεις σε θέματα που αφορούν σε βασικούς νόμους που διέπουν τις αλληλεπιδράσεις και τις δυνάμεις μεταξύ των στοιχειωδών αντικειμένων, τη βαθιά δομή του χώρου και του χρόνου και ειδικότερα σε θέματα που αφορούν στην αλληλεπίδραση μεταξύ κβαντικής μηχανικής και της γενικής θεωρίας της σχετικότητας.

Εικόνα 2 : LHC

***Τρόπος* λειτουργίας ανιχνευτών**

Οι ανιχνευτές χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των συγκρούσεων που έχουν πραγματοποιηθεί και πιο συγκεκριμένα για τη διερεύνηση της φύσης των νέων σωματιδίων που θα προκύψουν. Για να μπορέσουν να ταυτοποιηθούν όμως αυτά τα σωματίδια, χρειαζόμαστε τη μάζα και το φορτίο τους. Η μάζα μπορεί να υπολογισθεί από την αρχή διατήρησης της ενέργειας και από την ισοδυναμία μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών, μέσω της εξίσωσης $E=mc^2$ (Ειδική θεωρία της σχετικότητας). Ωστόσο, δεν αρκεί μόνο η εύρεση της μάζας καθώς για την πλήρη αναγνώριση των σωματιδίων πρέπει να γνωρίζουμε και το ηλεκτρικό τους φορτίο. Ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί αυτό είναι η τοποθέτηση αυτών των σωματιδίων σε πολύ ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Αυτό γίνεται, διότι ανάλογα με το πόσο μεγάλη και προς ποια κατεύθυνση είναι η κλίση τους, μπορούμε να καταλάβουμε τη φύση και το πόσο ισχυρό είναι το εκάστοτε φορτίο. Επίσης, μία ακόμη χρησιμότητα των ανιχνευτών είναι πως κατά τις κρούσεις, προκύπτουν σωματίδια, τα οποία ζουν για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα και δεν μπορούν να «φωτογραφηθούν» αυτούσια, παρόλα αυτά καταλαβαίνουμε την ύπαρξη τους, διότι κατά την κρούση ισχύει η Αρχή Διατήρησης της Ορμής, συνεπώς η αρχική ορμή θα πρέπει να είναι ίση με την τελική, άρα κατά αυτόν τον τρόπο ερμηνεύονται και βρίσκονται οι ορμές αυτών των «αόρατων» σωματιδίων, μέσω των προηγμένων συστημάτων ανίχνευσης. Μερικά παραδείγματα ανιχνευτών: ATLAS, CMS, ALICE κ.α.



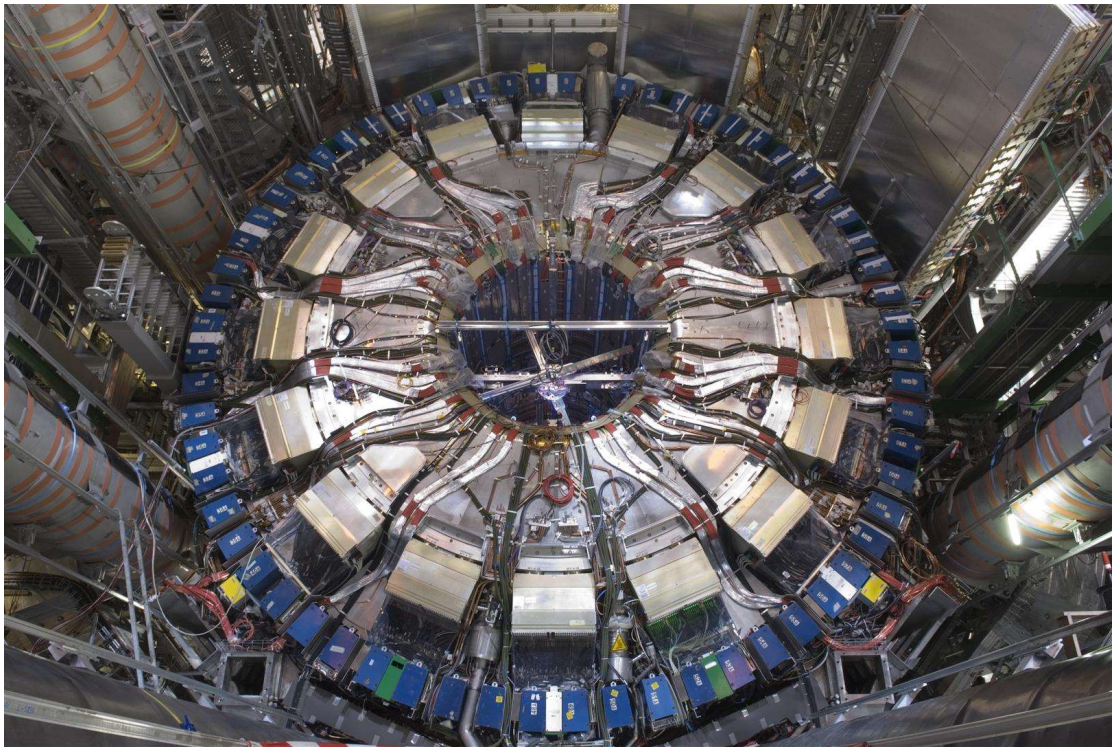
Εικόνα 3 : Απεικόνιση ορμών σωματιδίων

Ο ανιχνευτής ATLAS

Ο ATLAS έχει σχήμα κυλίνδρου με μήκος 46 μέτρα, διάμετρο 25 μέτρα και είναι εγκατεστημένος σε βάθος 100 μέτρων από την επιφάνεια της Γης. Η μάζα του είναι 7000 τόνοι.

Ο ανιχνευτής ATLAS είναι ένα όργανο με πολλαπλά επίπεδα, σχεδιασμένο για να ανιχνεύει κάποια από τα μικρότερα αλλά και πιο ενεργά σωματίδια που έχουν δημιουργηθεί στην Γη. Αποτελείται από έξι διαφορετικά υποσυστήματα ανίχνευσης τα οποία είναι διπλωμένα ομοκεντρικά σε επίπεδα γύρω από το σημείο πρόσκρουσης, έτσι ώστε να καταγράφουν την τροχιά, την ορμή και την ενέργεια των σωματιδίων, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τις μετρήσεις για κάθε ένα σωματίδιο. Ένας τεράστιος μαγνήτης εκτρέπει τις τροχιές των φορτισμένων σωματιδίων, με αποτέλεσμα να μπορούν να μετράνε την ορμή τους.

Πάνω από ένα δισεκατομμύριο αλληλεπιδράσεις ανά δευτερόλεπτο παρατηρούνται στον ανιχνευτή. Μία αλληλεπίδραση ανά ένα εκατομμύριο θεωρείται ως ενδιαφέρουσα και καταγράφεται για μελλοντική μελέτη. Ο ανιχνευτής καταγράφει και αναγνωρίζει σωματίδια με σκοπό την διερεύνηση μιας ευρείας κλίμακας φυσικών φαινομένων από την μελέτη του Higgs boson και τα quarks μέχρι και την έρευνα για νέες διαστάσεις και σωματίδια.



Εικόνα 4 : Atlas

Ανιχνευτής CMS

Ο CMS αποτελεί, ένα από τα πολυπλοκότερα και ακριβότερα ανθρώπινα κατασκευάσματα που έχουν δημιουργηθεί για επιστημονικό σκοπό με μάζα πάνω από 12000 τόνους. Τα μεγάλα τμήματά του, έχουν μάζα μεταξύ 200 και 2000 τόνους το καθένα και βρίσκονται 100 μέτρα κάτω από τη γη εκεί όπου και συναρμολογήθηκαν. Πρόκειται για έναν προηγμένο ανιχνευτή μεγάλου μεγέθους ο οποίος περιβάλλεται από πολλά στρώματα, κάθε ένα από τα οποία εξυπηρετεί έναν διαφορετικό σκοπό. Όλα αυτά δίνουν τη δυνατότητα στους επιστήμονες να προσεγγίσουν και να μετρήσουν την ορμή των σωματιδίων που παράγονται από τις κρούσεις πρωτονίων και βαριών ιόντων στον επιταχυντή LHC του CERN και αυτό 40 εκατομμύρια φορές κάθε δευτερόλεπτο. Συνολικά, ο ανιχνευτής αυτός εμπεριέχει περίπου 100 εκατομμύρια ανιχνευτικά στοιχεία για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, ωστόσο λίγες είναι εκείνες οι κρούσεις, που με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους οδηγούν σε μια ριζοσπαστική ανακάλυψη που καταρρίπτει τα όρια της γνώσης. Ειδικότερα, στο εσωτερικό του περιέχει έναν ανιχνευτή τροχιών, ο οποίος αποτελείται από λεπτά διαχωρισμένους αισθητήρες πυριτίου που επιτρέπουν την ανίχνευση της τροχιάς και τη μέτρηση της ορμής των φορτισμένων σωματιδίων. Επίσης αποκαλύπτουν τα σημεία στα οποία διασπώνται τα ασταθή σωματίδια με μεγάλη διάρκεια ζωή. Τέλος, διαθέτει και έναν ανιχνευτή μιονίων που είναι υπεύθυνος για την ταυτοποίηση των μιονίων και τη μέτρηση της ορμής τους.

Εικόνα 5 : CMS

Σκοπός της έρευνας που διεξάγεται στο Cern

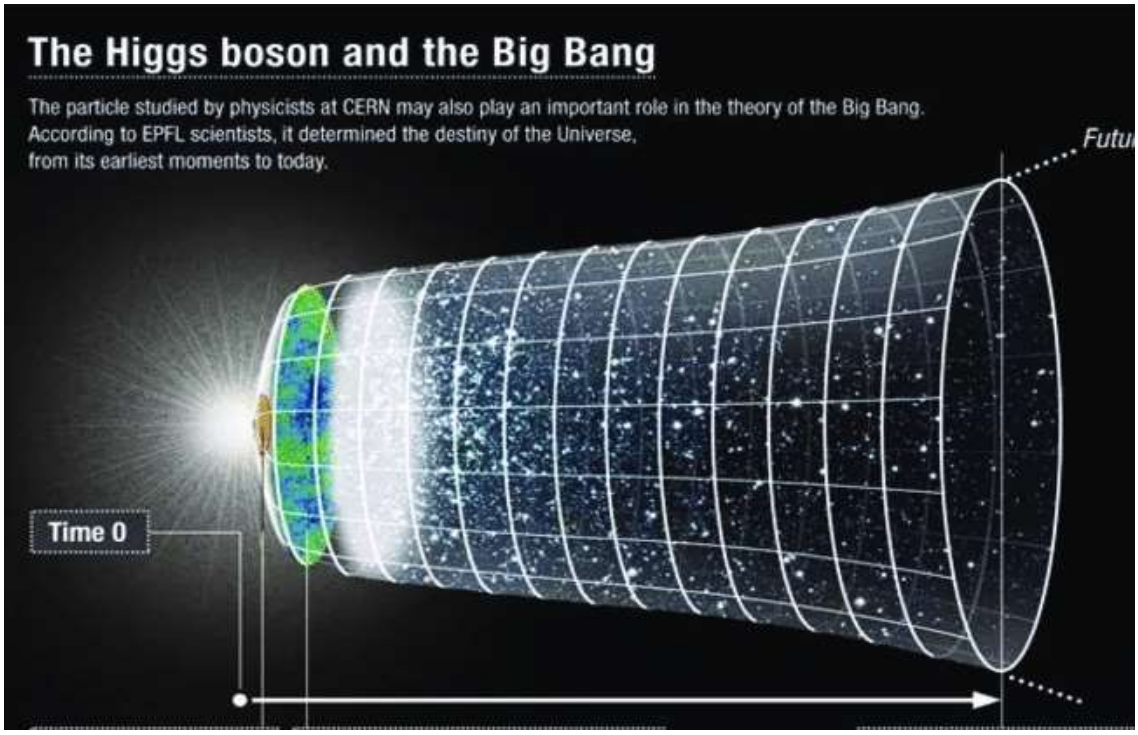
Περίπου εκατό μέτρα κάτω από την επιφάνια της γης και στις διάφορες πειραματικές διατάξεις του μεγάλου επιταχυντή αδρονίων (LHC) του CERN (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών) μπορούμε «να δούμε το σύμπαν να ξαναγεννιέται», όχι μία αλλά 600 εκατομμύρια φορές κάθε δευτερόλεπτο[1] και επί χρόνια! Αυτός είναι και ο βασικός στόχος της έρευνας που πραγματοποιείται στο CERN, να αποκαλύψει δηλαδή τα μυστικά της δομής της ύλης και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των βασικών δομικών της συστατικών. Η ερευνά στο CERN αποσκοπεί στη μελέτη των πρώτων στιγμών μετά τη Μεγάλη Έκρηξη και τη μετέπειτα εξέλιξη του σύμπαντος (Εικόνα 5). Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει τα δομικά συστατικά της ύλης (και συγκεκριμένα τα πρωτόνια) να επιταχυνθούν σε ταχύτητες που φτάνουν πολύ κοντά στην ταχύτητα του φωτός και να συγκρουστούν όπως ακριβώς συνέβαινε στο νεογέννητο συμπάν. Στον LHC, τα πρωτόνια εκτελούν δηλαδή περίπου 11.000 στροφές κάθε δευτερόλεπτο, ενώ η πίεση που επικρατεί είναι 760 φορές μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση (1 atm). Οι συγκρούσεις των πρωτονίων παράγουν στιγμιαία τεράστια ποσά ενέργειας που φτάνουν μέχρι και τα 14 τρισεκατομμύρια ηλεκτρονιοβόλτ (TeV)[2]. Η θερμοκρασία δηλαδή που δημιουργείται στιγμιαία φτάνει περίπου τους 162.000 τρισεκατομμύρια βαθμούς Κελσίου, 10,8 δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερη θερμοκρασία απ' αυτήν που επικρατεί στον πυρήνα του Ήλιου[3].

---

[1] https://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/collisions.htm

[2] http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/software/LHCMasterClasses/gr/zpath_help1.htm

[3] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82#%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%89%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%85



Εικόνα 6 : *Η χρονική εξέλιξη του σύμπαντος από τη μεγάλη έκρηξη μέχρι σήμερα.*

Ο ρόλος του μεγάλου κυκλικού επιταχυντή είναι εξαιρετικά σημαντικός για να επιτευχθούν οι στόχοι της έρευνας που πραγματοποιείται στο CERN. Πρόκειται ίσως για την πιο περίπλοκη μηχανή που σχεδίασε ποτέ ο άνθρωπος. Έχει μήκος 27 χιλιόμετρα και αποτελείται από χιλιόμετρα καλωδιώσεων, χιλιάδες ηλεκτρομαγνήτες και ερευνητικές συσκευές με δεκάδες δισεκατομμύρια τρανζίστορ (συσκευές που εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες). Επί πλέον 128 τόνοι υγρού Ηλίου (He) κρατούν τη θερμοκρασία των υπεραγώγιμων μαγνητών του στους 1,8 βαθμούς πάνω από το απόλυτο μηδέν, θερμοκρασία δηλαδή 271 βαθμών Κελσίου κάτω από το μηδέν. Πρόκειται λοιπόν για το πιο κρύο μέρος στο Σύμπαν.

Βιβλιογραφία

Φωτογραφία Supernova 1987A, https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/the-dawn-of-a-new-era-for-supernova-1987a

LHC, https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider

Atlas, https://atlas.cern/Discover/Detector

CMS, http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/LHC/FIGS/CMS_Greek_sm.pdf