

## Κωστής Χαλκιαδάκης, φυσικός

### Συσκάκης Γιάννης, φυσικός

## 10 Ερωτήσεις και 10 απαντήσεις για το CERN

### 1. Τι είναι το CERN

Το CERN είναι Ευρωπαϊκό Ερευνητικό κέντρο που ασχολείται με τη μελέτη της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων. Ιδρύθηκε λίγο μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο από ανθρώπους που είχαν αντιληφθεί ότι η Ευρώπη έχει μέλλον μόνο αν υπάρξει συνεργασία των λαών της και σήμερα αποτελεί πρότυπο διακρατικής συνεργασίας. Η έδρα του είναι στην Ελβετία, λίγο έξω από τη Γενεύη στα Γαλλοελβετικά σύνορα. Σήμερα στο CERN απασχολούνται ερευνητές και φοιτητές: φυσικοί, μηχανολόγοι μηχανικοί και μηχανικοί ηλεκτρονικών υπολογιστών από πολλές χώρες του κόσμου. Αποτελεί ένα χωριό με κατοίκους από όλο τον κόσμο. Μεταξύ αυτών είναι και αρκετοί Έλληνες μια και η Ελλάδα είναι από τα ιδρυτικά μέλη.



Εικόνα 1 Οι δύο μεγαλύτερες εργαστηριακές εγκαταστάσεις στο CERN ( Οι λευκοί κύκλοι αποτελούν αναπαραστάσεις αφού οι επιταχυντές είναι υπόγειοι.)

### 2. Τι είναι τα στοιχειώδη σωματίδια;

Τα στοιχειώδη σωματίδια είναι τα πιο μικρά σωματίδια από τα οποία είναι φτιαγμένη η ύλη του Σύμπαντος. Όπως ξέρουμε από τη Χημεία όλη η ύλη είναι φτιαγμένη από άτομα τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από πρωτόνια – νετρόνια και ηλεκτρόνια. Σήμερα οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι από τα τρία αυτά σωματίδια μόνο το ηλεκτρόνιο είναι στοιχειώδες (δεν διαιρείται σε άλλα σωματίδια) ενώ το πρωτόνιο και το νετρόνιο είναι σύνθετα και τα σωματίδια από τα οποία αποτελούνται ονομάζονται quarks.

### 3. Με ποιο τρόπο τα μελετούν;

Η βασική ιδέα είναι απλή: αν έχεις ένα κουτί που θέλεις να δεις τι περιέχει και δεν μπορείς να το ανοίξεις πρέπει να το σπάσεις. Στο CERN εκτοξεύουν δύο δέσμες σωματιδίων τη μια εναντίον της άλλης και η σύγκρουση είναι τόσο σφοδρή που βγάζουν συμπεράσματα για τη φύση των σωματιδίων. Στο CERN σήμερα, στο μεγαλύτερο πείραμα από αυτά που είναι σε εξέλιξη συγκρούονται δύο δέσμες πρωτονίων.

#### 4. Δηλαδή τα πρωτόνια σπάνε όπως και ένα ποτήρι;

Η απάντηση είναι όχι. Η σύγκρουση των σωματιδίων είναι διαφορετική από τις συγκρούσεις των μακροσκοπικών σωμάτων της καθημερινής ζωής. Τα σωματίδια όταν συγκρουστούν έχοντας πολλή μεγάλη ενέργεια αλληλεπιδρούν και από την αλληλεπίδραση παράγονται νέα σωματίδια. Η δυνατότητα αυτή προβλέπεται από τη σχέση της ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας του Einstein. (εικόνα 2). Η μάζα των σωματιδίων δηλαδή που παράγονται είναι σχεδόν συμπυκνωμένη κίνηση ή ενέργεια κίνησης αν θέλετε. Οι επιστήμονες καταγράφουν τα παραγόμενα σωματίδια σε ανιχνευτές που είναι ειδικά φτιαγμένοι γι' αυτό το σκοπό και μπορούν να υπολογίζουν την ενέργεια, την ορμή τους και το φορτίο τους.



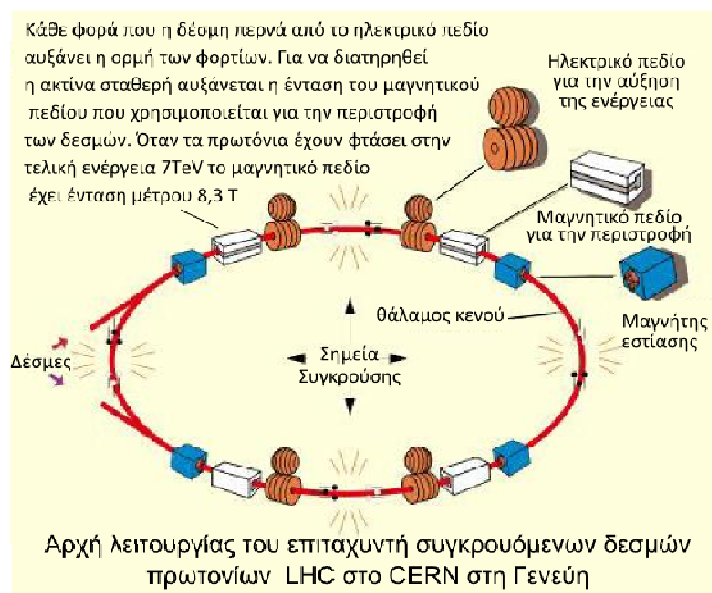
Εικόνα 2 Ισοδυναμία μάζας - ενέργειας. Μια από τις διασημότερες εξισώσεις της Φυσικής.

#### 5. Πως αποκτούν τα πρωτόνια την ενέργεια που χρειάζονται ;

Τα πρωτόνια επιταχύνονται μέχρι η ταχύτητα που θα αποκτήσουν να φτάσει στο 99,999999% της ταχύτητας του φωτός. Για να μπορέσουν να αποκτήσουν αυτή την ταχύτητα έχει κατασκευαστεί μια κολοσσιαία διάταξη που ονομάζεται LHC από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων Large Hadron Collider δηλαδή μεγάλος συγκρουστής αδρονίων.

#### 6. Πως λειτουργεί ο LHC;

Ο LHC βρίσκεται σε ένα κυκλικό τούνελ σε βάθος 100m που έχει μήκος 27 km. Σε όλη αυτή τη διαδρομή έχουν τοποθετηθεί δύο σωλήνες μέσα στους οποίους επικρατεί υψηλό κενό (χαμηλότερη πίεση από την πίεση που υπάρχει στο διάστημα). Τους σωλήνες διατρέχουν οι δέσμες των πρωτονίων κινούμενες αντίθετα. Για την επιτάχυνση των πρωτονίων χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά πεδία μέσα από τα οποία κάθε φορά που περνούν τα πρωτόνια κερδίζουν ενέργεια. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικές κοιλότητες.



Για να αναγκαστούν τα πρωτόνια να κινηθούν σε κυκλική τροχιά χρησιμοποιούνται μαγνήτες που βρίσκονται σε όλο το μήκος της διαδρομής. Επειδή η ενέργεια των

πρωτονίων είναι τεράστια χρειάζονται πολύ ισχυρούς μαγνήτες. Οι ηλεκτρομαγνήτες του CERN είναι οι ισχυρότεροι μαγνήτες που έχουν κατασκευαστεί ποτέ. Καθώς τα πρωτόνια κινούνται σε κυκλικές τροχιές επανέρχονται στις ηλεκτρομαγνητικές κοιλότητες μετά από κάθε κύκλο και κάθε φορά κερδίζουν όλο και περισσότερη ενέργεια. Οι δέσμες διασταυρώνονται και συγκρούονται σε τέσσερα σημεία στα οποία διεξάγονται τα πειράματα.

Στο σχήμα που εικονίζεται η αρχή λειτουργίας του επιταχυντή δεν μπορεί να καταγραφεί η απίστευτη δυσκολία αυτού του εγχειρήματος και η τρομακτική ακρίβεια που χρειάζεται για να λειτουργήσει σωστά όλη αυτή η κατασκευή.

### **7. Ποιες είναι μερικές από τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν και αντιμετώπιζουν οι επιστήμονες και μηχανικοί κατά την κατασκευή και λειτουργία του CERN**

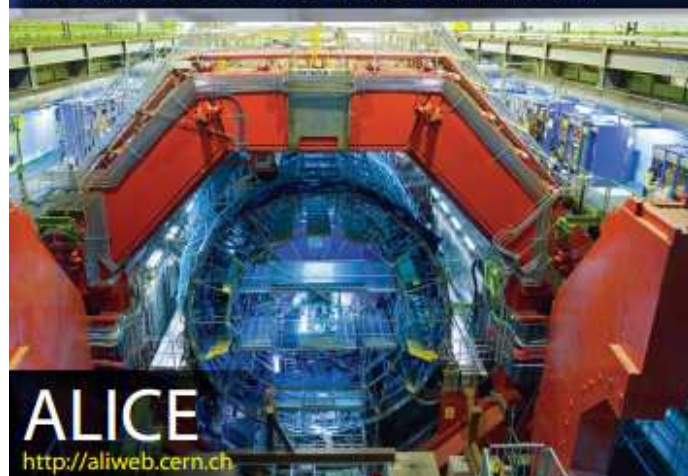
Τρεις μόνο από τις δυσκολίες στην κατασκευή του επιταχυντή είναι οι παρακάτω:

α) Τα πρωτόνια για να μπορέσουν να κρατηθούν σε κυκλική τροχιά απαιτούνται πανίσχυροι μαγνήτες. Οι μαγνήτες αυτοί πρέπει να διαρρέονται από ρεύμα 11.500Α και για να διαχειριστούν τόσο μεγάλο ηλεκτρικό ρεύμα αποφασίστηκε οι μαγνήτες να διατηρούνται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία, περίπου 2 βαθμούς πιο ψηλά από το απόλυτο μηδέν (-273°C) που είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στη φύση. Μ' αυτό τον τρόπο εκμεταλλεύονται το φαινόμενο της υπεραγωγιμότητας. Για το σκοπό αυτό λειτουργούν τέσσερα κρυογενικά εργοστάσια που έχουν σκοπό να κρατούν σ' αυτή την τόσο χαμηλή θερμοκρασία τους μαγνήτες σε όλο το μήκος των 27 km.

β) Για να λειτουργεί όλη η κατασκευή σαν ρολόι, και μάλιστα ελβετικό, μια και βρίσκεται στην Ελβετία, χρειάζεται πάρα πολύ μεγάλη ακρίβεια στην κατασκευή και στη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων. Το φθινόπωρο του 2008 που ξεκίνησε να λειτουργεί ο LHC οι πανηγυρισμοί της κοινότητας των Φυσικών δεν κράτησαν για πολύ, μια βλάβη έβγαλε τον επιταχυντή



Ο ανιχνευτής CMS (Compact Muon Solenoid, Το Συμπαγές Μιονικό Σωληνοειδές), όπως και ο ανιχνευτής ATLAS, μελετά συγκρούσεις πρωτονίων – πρωτονίων σε ασύλληπτες ενέργειες, για να μάθουμε όσα περισσότερα μπορούμε σχετικά με την προέλευση και τους νόμους της Φύσης. Γιατί τα σωματίδια έχουν μάζα; Τι είναι η «σκοτεινή ύλη»; Υπάρχουν άραγε και άλλες διαστάσεις στο χώρο; Ποιες είναι οι ιδιότητες της θερμής συμπυκνωμένης ύλης που υπήρξε τις πρώτες στιγμές της δημιουργίας του Σύμπαντος; Ο ανιχνευτής CMS έχει διάμετρο 15 μέτρα, μήκος 25 μέτρα και βάρος 14.000 τόνους. Περισσότεροι από 3.000 επιστήμονες και μηχανικοί από 38 χώρες από όλο τον κόσμο εργάζονται για το CMS.



Το πείραμα ALICE στο CERN είναι σχεδιασμένο για τη μελέτη συγκρούσεων πυρήνων μολύβδου σε πολύ υψηλές ενέργειες. Οι συγκρούσεις θερμαίνουν την πυρηνική ύλη σε 100.000 φορές τη θερμοκρασία στο κέντρο του Ήλιου. Μπορούν τα κουάρκ μέσα στα πρωτόνια και τα νετρόνια να ελευθερωθούν σε αυτές τις θερμοκρασίες, για να σχηματίσουν μία νέα κατάσταση της ύλης; Ο ανιχνευτής ALICE ζυγίζει 10.000 τόνους, έχει ύψος 16 m και μήκος 26 m και αποτελείται από 18 υπο-ανιχνευτές που ιχνηλατούν και αναγνωρίζουν δεκάδες χιλιάδες σωματίων τα οποία παράγονται σε κάθε μία από τις 8.000 συγκρούσεις βαρέων ιόντων ανά δευτερόλεπτο.

εκτός λειτουργίας και χρειάστηκαν πάνω από έξι μήνες για την επισκευή του. Η αιτία; Μια λάθος κόλληση από περίπου 10.000 συγκολλήσεις που έγιναν επί τόπου μέσα στο τούνελ !

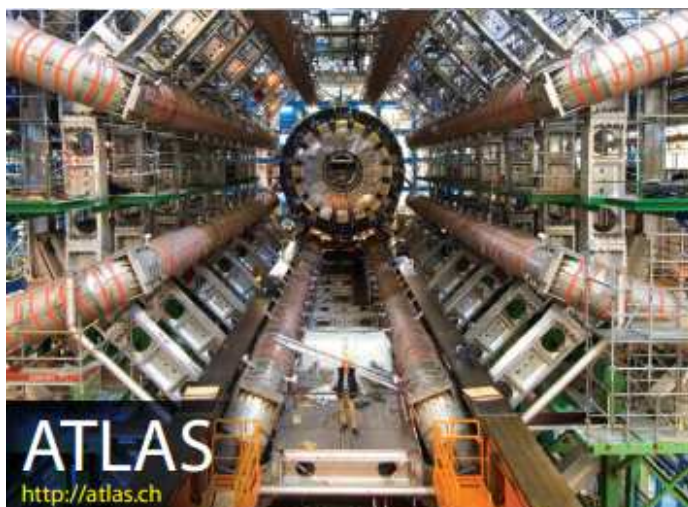
### 8. Ποια είναι η μεγαλύτερη ενέργεια στην οποία φτάνουν τα πρωτόνια;

Όταν ο επιταχυντής θα δουλεύει σε πλήρη ισχύ (γύρω στο 2014) το κάθε πρωτόνιο θα έχει ενέργεια 7TeV. Η ενέργεια αυτή είναι περίπου ίση με την κινητική ενέργεια μιας μύγας που μπορεί να φαίνεται μικρή αλλά αυτό που μετράει είναι η πυκνότητά της που είναι τεράστια γιατί είναι συγκεντρωμένη σε πολύ μικρό χώρο. Η πυκνότητα της ενέργειας τόσο μεγάλη όσο επικρατούσε στην αρχή της δημιουργίας του Σύμπαντος, λίγο μετά τη μεγάλη έκρηξη (big-bang) πριν καν το σύμπαν κλείσει το πρώτο δευτερόλεπτο της ζωής του. Έτσι ο LHC εκτός από ένας τεράστιος μεγεθυντικός φακός που μας αποκαλύπτει το απειροστά μικρό, λειτουργεί και σαν μηχανή του χρόνου που μας οδηγεί στα γεννητούρια του σύμπαντος επιτρέποντας μας να αναπαραστήσουμε πειραματικά, γεγονότα που συνέβησαν 13,7 δισεκατομμύρια χρόνια πριν.

Όταν λειτουργεί ο LHC η συνολική ενέργεια στις δέσμες των πρωτονίων είναι ίση με την κινητική ενέργεια ενός θωρηκτού πλοίου που κινείται με επιχειρησιακή ταχύτητα, ενώ η ενέργεια σε ολόκληρο τον LHC είναι ίση με την κινητική ενέργεια ενός αεροπλανοφόρου. Κατά το μεγαλύτερο μέρος της αυτή η ενέργεια βρίσκεται στους μαγνήτες σαν ενέργεια μαγνητικού πεδίου.

### 9. Πως καταγράφονται τα σωματίδια που δημιουργούνται από τις συγκρούσεις;

Κάθε σύγκρουση διαρκεί ελάχιστα κλάσματα του δευτερολέπτου και



**ATLAS**  
<http://atlas.ch>

Ο ανιχνευτής ATLAS στο μεγάλο επιταχυντή αδρονίων LHC έχει ύψος 25 μέτρα, μήκος 45 μέτρα και με βάρος 7.000 τόνους αποτελεί το μεγαλύτερο σε όγκο ανιχνευτή που κατασκευάστηκε ποτέ για τη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων. Στο κέντρο του πραγματοποιούνται συγκρούσεις πρωτονίων-πρωτονίων σε ασύλληπτες ενέργειες και με ρυθμό μέχρι 600 εκατομμύρια συγκρούσεις το δευτερόλεπτο. Περισσότεροι από 3.000 επιστήμονες και μηχανικοί από 38 χώρες από όλο τον κόσμο εργάζονται για τον ανιχνευτή ATLAS συμπεριλαμβανομένων και περίπου 1.000 μεταπτυχιακών φοιτητών.



**LHCb**  
<http://lhcb.web.cern.ch/lhcb>

Γιατί ζούμε σε ένα σύμπαν φτιαγμένο από ύλη και όχι αντιύλη; Το πείραμα LHCb εξετάζει τις ελάχιστες διαφορές μεταξύ ύλης και αντιύλης μελετώντας τις διασπάσεις βραχύβιων σωματιών, των κουάρκ-b (beauty) και των αντισωματιών τους αντικουάρκ-b. Δισεκατομμύρια από αυτά παράγονται στο LHC στις συγκρούσεις μεταξύ πρωτονίων. Επειδή αυτά τα σωματίδια παραμένουν κοντά στη γραμμή του σωλήνα της δέσμης, ο ανιχνευτής εκτείνεται για 20 m σε αυτή τη διεύθυνση με τους υπο-ανιχνευτές να είναι τοποθετημένοι ο ένας πίσω από τον άλλο σαν βιβλία σε ένα ράφι. Περισσότεροι από 700 φυσικοί και μηχανικοί από 15 χώρες από όλο τον κόσμο δουλεύουν στο πείραμα LHCb.

επιπλέον τα περισσότερα σωματίδια που παράγονται ζουν κι' αυτά με τη σειρά τους ελάχιστο χρονικό διάστημα και διασπώνται σε άλλα. Προσθέστε σ' αυτό ότι όλα αυτά γίνονται με τα σωματίδια κινούνται με ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός. Πως προλαβαίνουμε να τα δούμε όλα αυτά; Αυτή την εργασία καλούνται να κάνουν οι ανιχνευτές των σωματιδίων, ογκώδεις, βαριές και πολύπλοκες κατασκευές που προσπαθούν να καταγράψουν τα σωματίδια που παράγονται. Οι ανιχνευτές έχουν διάταξη βαρελιού που στον άξονα του γίνεται η σύγκρουση και αποτελείται από στρώματα όπως το κρεμμύδι στα οποία καταγράφονται διαδοχικά τα διαφορετικά σωματίδια. Ο ATLAS ο μεγαλύτερος από τους ανιχνευτές είναι βαρύτερος από τον πύργο του Eiffel και μεγαλύτερος σε διαστάσεις από την Παναγία των Παρισίων. Και όλα αυτά σε μια τεχνητή σπηλιά σε βάθος 100m από το έδαφος !

Το πλήθος των δεδομένων που καταγράφονται στους ανιχνευτές έθεσε από μόνο του ένα πρόβλημα που απαιτούσε επίλυση . Αν καταγράφονταν σε CD τα δεδομένα ενός χρόνου των ανιχνευτών (15 εκατομμύρια GB) και τοποθετούνταν όλα σε μια στήλη, θα είχε ύψος 20km ! Η λύση που προτάθηκε και υλοποιήθηκε ονομάστηκε GRID και αποτελείται από ένα δίκτυο συνδεδεμένων υπολογιστών σε ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια από όλο τον κόσμο στους οποίους διαμοιράζονται τα δεδομένα του LHC για την αποθήκευσή τους και διαθέτουν ένα μέρος από την υπολογιστική τους ισχύ για την επεξεργασία τους.

#### **10. Ποιο είναι το κόστος ενός τέτοιου εγχειρήματος και τι έχει να κερδίσει η ανθρωπότητα από αυτό;**

Το κόστος λειτουργίας του CERN είναι τεράστιο γι' αυτό και αποτελεί προϊόν διακρατικής συνεργασίας. (Μικρότερο πάντως από άλλα μεγάλα εγχειρήματα όπως η διοργάνωση των Ολυμπιακών αγώνων) Φέτος μάλιστα που ο επιταχυντής Tevatron των ΗΠΑ σταμάτησε τη λειτουργία του δεν υπάρχει, στον τομέα των σωματιδίων, άλλο τέτοιου μεγέθους project. Τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν για την ανθρωπότητα είναι πολλά. Καταρχήν τα πειράματα ATLAS, CMS, ALICE και LHCb που διεξάγονται εκεί προσπαθούν να απαντήσουν σε αναπάντητα ερωτήματα της θεωρητικής φυσικής που θα μας φέρουν κοντύτερα στο σκοπό μας να ερμηνεύσουμε καλύτερα τον κόσμο που μας περιβάλλει. Οι απαιτήσεις των πειραμάτων του CERN σπρώχνουν την τεχνολογία στα όρια της. Οι τεχνολογίες αυτές που αναπτύσσονται στο CERN μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές και μερικές φορές απρόβλεπτες εφαρμογές της καθημερινότητας. Για παράδειγμα στο CERN επινοήθηκε τη δεκαετία του 1980 το σύστημα που χρησιμοποιεί ο παγκόσμιος ιστός (World Wide Web) για τη επικοινωνία των υπολογιστών μέσα στο internet. Πολύ σημαντική είναι η συμβολή των επιταχυντών στον τομέα της υγείας. Σήμερα πάνω από το 90% των επιταχυντών σωματιδίων στον κόσμο είναι εγκατεστημένοι σε νοσοκομεία και ιατρικά κέντρα και χρησιμοποιούνται για ιατρικούς σκοπούς.

## Επιταχυνόμενο Σύμπαν;



Η διαστολή του σύμπαντος δείχνει να επιταχύνεται. Συμβαίνει άραγε αυτό εξ' αιτίας της κοσμολογικής σταθεράς του Einstein; Αν όχι θα αποκαλύψουν τα πειράματα την ύπαρξη μιας νέας δύναμης ή μήπως παραπάνω διαστάσεις του χώρου;

## Που είναι η αντιύλη;



Ύλη και αντιύλη δημιουργήθηκαν στο Big Bang. Γιατί τώρα βλέπουμε μόνο ύλη εκτός από τις ελάχιστες ποσότητες ύλης και αντιύλης που παράγονται στο εργαστήριο ή παρατηρούμε στις κοσμικές ακτίνες;

## Τι είναι η σκοτεινή ύλη;



Μεγάλο τμήμα από τη μάζα παρατηρούμενων γαλαξιών και σμηνών γαλαξιών οφείλεται σε αόρατες μορφές ύλης. Μήπως αυτή η σκοτεινή ύλη αποτελείται από νέους τύπους σωματιδίων που αλληλεπιδρούν ασθενικά με τη συνηθισμένη ύλη;

## Η προέλευση της μάζας;



Σύμφωνα με το καθιερωμένο πρότυπο, για να έχουν τα στοιχειώδη σωματίδια μάζα θα πρέπει να υπάρχει ένα σωματίδιο, το μποζόνιο του Higgs. Πρόκειται να ανακαλυφτεί σύντομα; Είναι η θεωρία της υπερσυμμετρίας σωστή όταν προβλέπει περισσότερους του ενός τύπους σωματιδίων Higgs;

### Αναπάντητα ερωτήματα της σύγχρονης φυσικής

Προτεινόμενοι τόποι στο Internet για παραπάνω ενασχόληση με το θέμα :

<http://public.web.cern.ch/public/> Η κεντρική σελίδα του CERN

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Collaboration/> Η σελίδα του πειράματος ATLAS

<http://cms.web.cern.ch/> Η σελίδα του πειράματος CMS

<http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html> Η σελίδα του πειράματος ALICE

<http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html> Η σελίδα του πειράματος LHCb

<http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/index.html> Σελίδα στα ελληνικά από την ελληνική ομάδα εκλαΐκευσης με πλούσιο υλικό.

<http://hypatia.phys.uoa.gr/applet/el/index.html> Σελίδα του Πανεπιστημίου Αθηνών στην οποία μπορείτε να προσομοιώσετε την εργασία των επιστημόνων του CERN

<http://op-webtools.web.cern.ch/op-webtools/vistar/vistars.php> Για να δείτε αν λειτουργεί ο LHC αυτή τη στιγμή και ποια είναι η ενέργεια των συγκρουόμενων δεσμών

<http://www.fnal.gov/pub/science/accelerator/> Σελίδα του Tevatron του δεύτερου μετά τον LHC επιταχυντή που λειτουργούσε μέχρι πέρυσι στο Fermilab στις ΗΠΑ.