

Μαθητές του ομίλου Φυσικής του Βαρβακείου Λυκείου επεξεργασθήκαμε δεδομένα του πειράματος ATLAS για την ταυτοποίηση –ανίχνευση του σωματίδιου Z. Παρουσιάζουμε εδώ, τη σύνοψη μιας εφαρμογής που έγινε κατά την διάρκεια της σχολικής χρονιάς 2012-13 στα πλαίσια του ομίλου, παράλληλα με τις διαλέξεις και εργαστήρια σε θέματα φυσικής στοιχειωδών σωματιδίων και άλλων θεμάτων σύγχρονης φυσικής, πρόγραμμα που ολοκληρώθηκε με την τριήμερη επίσκεψη στο CERN τον Ιούνιο του 2013.

Μαθητές: Γιαννόπουλος Παναγιώτης, Λυγάτσικα Ιω, Μοσχοβάκου Ιόνη, Μπαμίχα Ιουλία, Μπιτσάνης Χρήστος, Μπούφη Μαρία, Παπαϊωάννου Δημήτρης, Πολυζώης Κων/νος, Πολυχρονόπουλος Παναγιώτης, Ραφτοπούλου Κυριακή, Σωφρονίου Δήμητρα, Χατζής Αλέξανδρος.

Υπεύθυνη καθηγήτρια Ομίλου Φυσικής , Γεωργία Ρουμπέα

Με την υποστήριξη του Νίκου Τράκα, καθηγητή ΕΜΠ συντονιστή της Ελληνικής Ομάδας Εκλαΐκευσης και Έλληνα αντιπρόσωπου στην Διεθνή Ομάδα Εκλαΐκευσης Φυσικής Σωματιδίων (IPROG).



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων η οποία μελετά τα θεμελιώδη συστατικά της ύλης και τις αλληλεπιδράσεις τους, η επικρατούσα σήμερα θεωρία που προσπαθεί να περιγράψει το τι ξέρουμε γι' αυτά, είναι το Καθιερωμένο Πρότυπο (Κ.Π.).

ΚΑΘΙΕΡΩΜΕΝΟ ΠΡΟΤΥΠΟ/ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΑ/ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ									
ΚΟΥΑΡΚ	1 ^η γενιά	2 ^η γενιά	3 ^η γενιά						
	Up u άνω	Charm c χαριτωμένο	Top t υψηλό	γ φωτόνιο	ΦΟΡΕΙΣ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ/ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ	ΔΥΝΑΜΕΙΣ/ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ	Ηλεκτρομαγνητική		
ΛΕΠΤΟΝΙΑ	Down d κάτω	Strange s παράξενο	Bottom b χαμηλό	Z Μποζόνιο z w+ μποζόνιο w+ w- μποζόνιο w+			Ασθενής		
	e ηλεκτρόνιο	μ μιόνιο	τ ταυ						
Μποζόνιο Higgs				g γκλουόνιο					Ισχυρή πυρηνική
				Βαρυόνιο					Βαρυτική

Μια σχηματική περιγραφή του Κ.Π. παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα όπου φαίνονται τα στοιχειώδη σωματίδια (σε 3 οικογένειες ή γενιές σωματιδίων κουάρκ και λεπτονίων) και οι στοιχειώδεις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα σωματίδια και τους φορείς τους. Με καφέ χρώμα φαίνονται τα σωματίδια της 1ης γενιάς, u, d, e, ν_e από τα οποία συνίσταται ο κόσμος μας. Οι δυνάμεις- αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωματιδίων, διαδίδονται μέσω ανταλλαγής σωματιδίων-φορέων και αντιστοιχούν ως εξής: το φωτόνιο για την ηλεκτρομαγνητική δύναμη (δύο ηλεκτρικά φορτία αντιλαμβάνονται το ένα την ύπαρξη του άλλου μέσω φωτονίων ακόμα και όταν

βρίσκονται πολύ μακριά αφού τα φωτόνια που δεν έχουν μάζα, μπορούν να ταξιδέψουν σε άπειρη απόσταση), τα W και Z για την ασθενή δύναμη, τα γκλουόνια για τις ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις (δυνάμεις "χρώματος") και τα βαρυτόνια για τις βαρυτικές. Οι δυνάμεις βαρύτητας μεταξύ στοιχειωδών σωματιδίων είναι αμελητέες μπροστά στις άλλες δυνάμεις επειδή οι μάζες των στοιχειωδών σωματιδίων είναι πολύ μικρές. Τα κουάρκ αντιλαμβάνονται όλες τις δυνάμεις, δεν συναντώνται ελεύθερα στη φύση και συνδέονται για να σχηματίσουν τα αδρόνια (στο γνωστό κόσμο τα πρωτόνια και νετρόνια) και αυτά με την σειρά τους συνδέονται για να σχηματίσουν τους πυρήνες των ατόμων. Τα λεπτόνια συναντώνται ελεύθερα στη φύση και όταν είναι φορτισμένα, (e-, μ-, τ-), αντιλαμβάνονται τις ηλεκτρομαγνητικές και ασθενείς δυνάμεις, ενώ όταν είναι ουδέτερα νετρίνα (ν_e, ν_μ, ν_τ), αντιλαμβάνονται μόνο τις ασθενείς δυνάμεις. Κατά το Καθιερωμένο Πρότυπο, προβλέπεται και ένα σωματίδιο (το Higgs) η παρουσία του οποίου είναι αναγκαία για μια συνεπή περιγραφή της μάζας όλων των άλλων σωματιδίων, για την ύπαρξη του οποίου σημαντικά αποτελέσματα επιβεβαίωσης ανακοινώθηκαν, τον Ιούλιο του 2012 στο CERN, ενώ οι σχετικές έρευνες συνεχίζονται. Όλα τα σωματίδια- φορείς των τεσσάρων αλληλεπιδράσεων είναι μποζόνια (φωτόνια, w,z, γκλουόνια και βαρυτόνια) σε αντίθεση με τα 6 λεπτόνια και τα 6 κουάρκ τα οποία είναι φερμιόνια (τα φερμιόνια έχουν spin ημισακέραιο πολλαπλάσιο, 1/2, 3/2, . . της σταθεράς \hbar και δεν μπορούν να καταλαμβάνουν την ίδια κβαντική κατάσταση, ενώ τα μποζόνια, έχουν ακέραιο spin και μπορούν να βρίσκονται από ίδια κβαντική κατάσταση).

Όπως προαναφέρθηκε, κατά το Κ.Π., τα σωματίδια Z μαζί με τα σωματίδια W είναι οι φορείς της ασθενούς δύναμης. Για παράδειγμα αναφέρουμε ότι τα νετρίνα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω του μποζονίου Z καθώς τα νετρίνα δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο και δεν μπορούν να αλληλεπιδράσουν μέσω φωτονίων. Τα μποζόνια Z είναι σχετικά πολύ βαριά και έχουν μικρό χρόνο ζωής περίπου 3×10^{-25} δευτερόλεπτα, άρα μπορούν να ταξιδέψουν μία πολύ μικρή απόσταση, ενώ δε "φαίνονται" ώστε να ανιχνευτούν με την ευκολία, όπως ανιχνεύεται το φως που φέρεται με τα φωτόνια. Παρόλο που δεν αντιλαμβανόμαστε την παρουσία του μποζονίου Z στην καθημερινή μας ζωή, αυτό υπάρχει στο σύμπαν και κυρίως δημιουργείται σε υψηλές ενέργειες, στις ακραίες καταστάσεις, όπως αυτές κατά τη δημιουργία του Σύμπαντος, κατά τις εκρήξεις Υπερκαινοφανών Αστέρων κλπ.

ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ:

Το ερευνητικό ερώτημα της εργασίας αυτής ήταν να διαπιστώσουμε με εμπειρικό τρόπο/να ασκηθούμε χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον LHC, πατώντας πάνω στα

αχνάρια των ερευνών που διεξάγονται στο CERN τα τελευταία χρόνια, την ύπαρξη του σωματιδίου Z, του φορέα ασθενών αλληλεπιδράσεων, που παράγεται κατά την σύγκρουση σωματιδίων σε υψηλές ενέργειες.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ Z ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΟΥ

Κατά τις διασπάσεις των σωματιδίων παρατηρούνται αρχές διατήρησης αντίστοιχες με αυτές που γνωρίζουμε από την Κλασική Φυσική (π.χ. φορτίου, ορμής, στροφορμής, ενέργειας, κλπ) καθώς η Κλασική Φυσική σύμφωνα με την αρχή της αντιστοιχίας ουσιαστικά μπορεί να θεωρείται σαν οριακή περίπτωση της Κβαντομηχανικής.

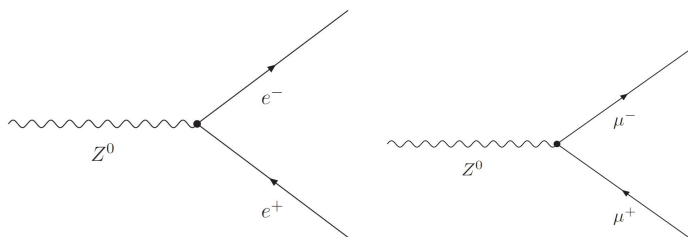
Έτσι το σωματίδιο Z αφού παραχθεί σε υψηλές ενέργειες, στην συνέχεια όταν διασπαστεί με την σειρά του επειδή είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, δίνει προϊόντα που το άθροισμα των φορτίων τους πρέπει να είναι 0. Επομένως, το Z διασπάται σε ζευγάρι σωματίδιο-αντισωματίδιο με αντίθετα φορτία, ιδιότητα που μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανίχνευσή του. Η ποσοστιαία κατανομή των διασπάσεων του Z στους διάφορους τρόπους καθορίζεται από τους νόμους της κβαντομηχανικής και του Κ.Π. Παρακάτω αναφέρονται 24 πιθανοί τρόποι διάσπασης του Z, εκ των οποίων μόνο οι 21 είναι «ορατοί» με έμμεση παρατήρησή τους από τους ερευνητές. Το Z έχει πιθανότητες να διασπάται:

1. Σε ζευγάρι κουάρκ-αντικουάρκ, στα 70% των περιπτώσεων. Αυτά εμφανίζονται στον ανιχνευτή ως θύσανοι που τους αποκαλούμε πίδακες (jets). Τα κουάρκ έχουν μια επιπλέον ιδιότητα που ονομάζουμε "χρώμα". Κάθε κουάρκ παρουσιάζεται σε 3 χρώματα. Προσθέτοντας τα 6 είδη των κουάρκ (άνω, κάτω, γοητευτικό, παράξενο, υψηλό και χαμηλό) το καθένα με 3 χρώματα, καταλήγουμε σε 18 δυνατότητες διάσπασης του Z.
2. Σε ζευγάρι ουδέτερων λεπτονίων, δηλαδή ζευγάρι νετρίνο-αντινετρίνο Το 20% των διασπάσεων. Οι ανιχνευτές δεν έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν νετρίνο μιας και αλληλεπιδρούν ελάχιστα με την ύλη (το ηλεκτρικό φορτίο τους είναι μηδενικό). Επομένως, τα νετρίνο μπορούμε να τα ανιχνεύσουμε έμμεσα από την παρατήρηση ελλείπουσας εγκάρσιας ορμής μετά την σύγκρουση καθώς η ορμή όσο και η ενέργεια διατηρείται στις συγκρούσεις. Επομένως οι διασπάσεις σε νετρίνο-αντινετρίνο δίνουν άλλες 3 δυνατότητες καθώς έχουμε 3 νετρίνα, του ηλεκτρονίου, του μιονίου και του ταυ.
3. Σε ζευγάρι φορτισμένων λεπτονίων κατά το 10% των διασπάσεών του. Οι τρεις δυνατότητες είναι ηλεκτρόνιο-ποζιτρόνιο, μιονίο-αντιμιόνιο και ταυ-αντιταύ, με κάθε ζευγάρι να έχει την ίδια πιθανότητα.

Οι δύο από τις απλούστερες διασπάσεις αυτές περιγράφονται παρακάτω με τα διαγράμματα Feynman¹, δηλαδή τα σωματίδιο Z διασπάται σε ζευγάρι ηλεκτρονίου-

¹ Τα διαγράμματα Feynman αναπαριστούν τις αλληλεπιδράσεις στοιχειωδών σωματιδίων. Σε ένα Διάγραμμα Feynman ο ένας άξονας αναπαριστά το διάστημα και ο άλλος το χρόνο- ο χρόνος τρέχει από αριστερά προς τα δεξιά. Ευθείες γραμμές χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν φερμιόνια (όπως τα ηλεκτρόνια και μίονια) και κυματοειδείς γραμμές για να απεικονίσουν μποζόνια όπως τα φωτόνια και τα σωματίδια Z.

ποζιτρονίου ή ζευγάρι μιονίου-αντιμιονίου (Τα μίονια μοιάζουν στις ιδιότητές τους με τα ηλεκτρόνια, μόνο που είναι περίπου 200 φορές βαρύτερα):.



Αυτές τις δύο διασπάσεις αξιοποιούμε για την ανίχνευση του σωματιδίου Z στην παρούσα εργασία.

ΜΕΣΑ –ΥΛΙΚΑ

Τα γεγονότα που χρησιμοποιήθηκαν είναι πραγματικά γεγονότα που συλλέχτηκαν από τον ανιχνευτή ATLAS σε πείραμα που έγινε το 2007 στον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC)² του CERN. Στο πείραμα αυτό, στον LHC, επιταχύνθηκαν δέσμες πρωτονίων κατά μήκος της κυκλικής τροχιάς των 27 Km, χρησιμοποιώντας ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία³. Ο LHC έχει δύο υπεραγωγίμους δακτυλίους, στους οποίους τα πρωτόνια κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις μέσα σε πολύ υψηλό κενό προκειμένου να αποφευχθούν συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων με τα εναπομείναντα μόρια του αερίου. Για την ψύξη των περισσότερων από 9000 υπεραγωγίμων μαγνητών και την διατήρησή τους σε θερμοκρασία 1.9°K χρησιμοποιούνται 96 τόνοι υγρού Ήλιου. Τα μαγνητικά πεδία χρησιμοποιούνται αφενός για να εστιάσουν τα σωματίδια σε μία δέσμη ώστε να αποτρέψουν την μεταξύ τους ηλεκτρική δύναμη που θα μπορούσε να τα εκτρέψει, αφετέρου, για να αναγκάζουν τα σωματίδια να κινούνται στις πολλαπλές κυκλικές τροχιές καθώς επιταχύνονται. Τα πρωτόνια των δεσμών κινούνταν σε 2808 πακέτα αποτελούμενα

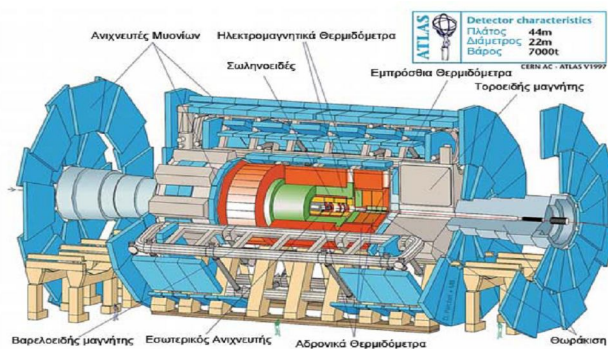
² Ο άμεσος πρόγονος του LHC ήταν ο LEP ο οποίος άρχισε να λειτουργεί το καλοκαίρι του 1989 και για έξι χρόνια η συνολική ενέργεια σύγκρουσης των ηλεκτρονίων και των ποζιτρονίων του ήταν ρυθμισμένη ακριβώς στην τιμή που χρειαζόταν για την παραγωγή του ουδέτερου φορέα της ασθενούς δύναμης, το Z (91 GeV). Από τον Σεπτέμβριο του 1995, η ενέργεια σχεδόν διπλασιάστηκε. Το καλοκαίρι του 1996, ο LEP λειτουργούσε στην ενέργεια ακριβώς που χρειαζόταν για την παραγωγή ζευγών των φορτισμένων φορέων της ασθενούς δύναμης, των σωματιδίων W+ και W- (161 GeV). Η ανίχνευση των εκατομμυρίων Z^0 και των εκατοντάδων W έχει επιτρέψει στα πειράματα του LEP την πραγματοποίηση ελέγχων εξαιρετικής ακριβείας για το Καθιερωμένο Πρότυπο των σωματιδίων και των αλληλεπιδράσεων τους. Η συνολική ενέργεια σύγκρουσης στο LEP έφθασε τελικά στα 209 GeV και το 2000 διακόπηκε η λειτουργία του για να αποσυναρμολογηθεί και να δώσει τη θέση του στον LHC όπου η κάθε δέσμη πρωτονίων, ήταν επτά φορές ισχυρότερη απ' ό,τι στο μεγαλύτερο ως τότε επιταχυντή του κόσμου, τον επιταχυντή Tevatron του Εργαστηρίου Fermi στις ΗΠΑ.

³ Η επιτάχυνση τους μέχρι τα 7 TeV ανά πρωτόνιο διαρκεί περίπου 20 λεπτά, αλλά πριν εισαχθούν στον LHC τα πρωτόνια επιταχύνονται από άλλους επιταχυντές, ώστε να αποκτήσουν τη μεγαλύτερη δυνατή ενέργεια: Αρχικά εισάγονται στον LINAC 2 (LINear pArticle aCcelerator) που τα επιταχύνει σε ενέργεια 50 MeV και στη συνέχεια εισάγονται στον PSB (Proton Synchrotron Booster) που τα επιταχύνει στα 1,4 GeV, κατόπιν στο PS (Proton Synchrotron) που τα επιταχύνει έως τα 26 GeV και τέλος το SPS (Super Proton Synchrotron) που τελικά τα εισάγει στον LHC με ενέργεια 450 GeV.

από 3×10^{14} πρωτόνια έτσι ώστε οι συγκρούσεις ανάμεσα στις 2 δέσμες να είναι διακριτές, με χρονική απόσταση τουλάχιστον 25 ns. Όταν πλέον οι δέσμες των σωματιδίων αυτών που κινούνταν σε αντίθετη κατεύθυνση στο εσωτερικό του επιταχυντή ανέπτυξαν πολύ μεγάλη ταχύτητα, 99.9999991% της ταχύτητας του φωτός, που αντιστοιχεί σε ενέργεια της τάξεως των 7TeV οδηγήθηκαν σε σύγκρουση με συνέπεια να δημιουργηθούν νέα σωματίδια.



Ο ΑΤΛΑΣ⁴, ειδική ανιχνευτική διάταξη, καθώς και η ειδική ηλεκτρονική υποστήριξή του, κατέγραψαν τις τροχιές των σωματιδίων αυτών καθώς και τις εκτροπές και τροχιές των νέων σωματιδίων που προέκυψαν μετά τις συγκρούσεις των πρώτων. Στα γεγονότα αυτά που καταγράφηκαν στον ανιχνευτή ΑΤΛΑΣ, διερευνήσαμε την παρουσία σωματιδίων Z ανιχνεύοντας τα προϊόντα του.



Οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις (Lorenz και Ηλεκτρικές) χρησιμοποιούνται στους ανιχνευτές για την ταυτοποίηση των σωματιδίων- μέσω του προσδιορισμού της ορμής και του φορτίου των σωματιδίων, καθώς αυτές σχετίζονται με την ακτίνα καμπυλότητας και την κατεύθυνση απόκλισης των σωματιδίων που φέρουν φορτίο, όπως τα ηλεκτρόνια- ποζιτρόνια και τα μόνια- αντιμόνια. Τα μεν ηλεκτρόνια απορροφώνται στο Η/Μ θερμιδόμετρο, ενώ τα μόνια καθώς διαπερνούν τα Η/Μ

⁴ Έναν από τους τέσσερις ανιχνευτές του LHC: ALICE, CMS, ATLAS και LHCb. Ο ΑΤΛΑΣ (A Toroidal LHC Apparatus) είναι ο μεγαλύτερος ανιχνευτής μέχρι σήμερα, με 44μ μήκος, 25μ ύψος, 25μ πλάτος και το κύριο χαρακτηριστικό του είναι το τεράστιο σύστημα τοροειδών μαγνητών χωρίς πυρήνα (αέρα). Αποτελείται από 8 υπεραγωγία πηνία μήκους 25μ, τοποθετημένα έτσι ώστε να δημιουργούν ένα κύλινδρο γύρω από την δέσμη σωματιδίων σε όλο το μήκος του ανιχνευτή. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων το μαγνητικό πεδίο περιορίζεται μέσα στον κύλινδρο που δημιουργούν τα πηνία.

και αδρονικά θερμιδόμετρα, αλληλεπιδρούν και απορροφώνται στα μιονικά θερμιδόμετρα διαγράφοντας τις μεγαλύτερες τροχιές.

Οι καταγραφές αποθηκεύθηκαν και με την βοήθεια του λογισμικού HYPATIA (HYybrid Pupil's Analysis Tool) έγιναν προσβάσιμες στην παρούσα επεξεργασία και μελέτη.

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Όπως προαναφέρθηκε επειδή το ίδιο το Z δεν μπορεί να παρατηρηθεί, αλλά ανιχνεύεται από τη διάσπασή του σε ζεύγος ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου ή μιονίου-αντιμιονίου, χρειάστηκε να ξεχωρίσουμε τα γεγονότα αυτά από άλλα παρόμοια τα λεγόμενα γεγονότα υποβάθρου, τα οποία μπορεί να περιέχουν:

- μόνο ένα λεπτόνιο που προέρχεται από την διάσπαση σωματιδίου W σε λεπτόνιο και νεutrίνο
- κοσμικές ακτίνες που φαίνονται ως αντιδιαμετρικές τροχιές και στις δυο προβολές του ανιχνευτή
- μεγάλη ελλείπουσα ενέργεια ETMiss που μπορεί να σημαίνει την ύπαρξη νεutrίνων που είναι μη ανιχνεύσιμα από τον ανιχνευτή

Όσον αφορά την ανίχνευση μιονίων, η παρουσία τους μπορεί να οφείλεται εκτός από γεγονότα $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$, σε διασπάσεις κουάρκ, ή από κοσμικές ακτίνες.

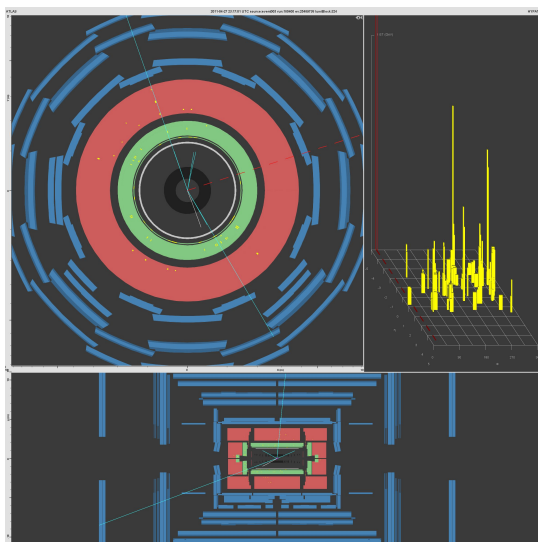
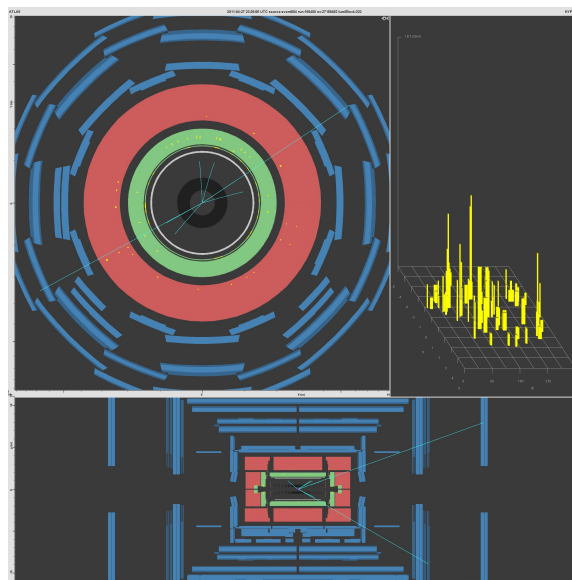
Επειδή ακόμα, από τις συγκρούσεις πρωτονίων-πρωτονίων παράγονται πάρα πολλά σωματίδια, και με πολύ γρήγορο ρυθμό, 40M γεγονότα/sec, εκ των οποίων ελάχιστα είναι ενδιαφέροντα, το πείραμα χρησιμοποιεί σκανδαλιστές (triggers) ώστε να καταγράφει μόνο τα απολύτως ενδιαφέροντα γεγονότα με ρυθμό 200 γεγονότα/sec.

Οι τροχιές των ηλεκτρονίων απεικονίζονται σαν μικρές γραμμές στο κέντρο του ανιχνευτή αφού τα ηλεκτρόνια σταματούν στο ηλεκτρομαγνητικό (H/M) θερμιδόμετρο (πράσινη περιοχή) και αφήνουν εκεί την ενέργεια τους (κίτρινα σημάδια). Αντίθετα τα μίονια είναι τα μοναδικά σωματίδια που φτάνουν στους θαλάμους μιονίων (μπλε περιοχή) και απεικονίζονται σαν μεγάλες τροχιές. Τα νεutrίνα μπορούν να βγουν έξω από τον ανιχνευτή καθώς δεν σταματούν σε κανένα τμήμα του αλλά δεν μπορούν να ανιχνευτούν άμεσα και γιαυτό δεν απεικονίζονται. Έτσι, ξεχωρίσαμε γεγονότα που θεωρήσαμε πιθανές διασπάσεις σωματιδίων Z σε ζεύγος ηλεκτρονίου – ποζιτρονίου ή μιονίου – αντιμιονίου - προσπερνώντας άλλα πιθανά γεγονότα προερχόμενα από διασπάσεις άλλων σωματιδίων, η γεγονότα υποβάθρου που προέρχονται από διάφορες άλλες διαδικασίες που προαναφέρθηκαν.

Ο αριθμός των γεγονότων που επεξεργασθήκαμε ήταν 1000 δεδομένα τα οποία πήραμε από το αρχείο των master classes. Δουλέψαμε ανά δύο συμμαθητές σε έξι ομάδες. Χρησιμοποιήσαμε τους υπολογιστές του εργαστηρίου φυσικής του Βαρβακείου Λυκείου, όπου εγκαταστήσαμε το πρόγραμμα HYPATIA

Οι πληροφορίες που μας διευκόλυναν στην επεξεργασία μας δόθηκαν μέσω του προγράμματος HYPATIA ως εξής:

Σε εικόνα με δυνατότητα μεγέθυνσης/σμίκρυνσης όπου σε απεικόνιση του ανιχνευτή ATLAS φαίνονται οι τροχιές των σωματιδίων-προϊόντων της διάσπασης των πρωτονίων, σε πλάγια διατομή, παράλληλη του άξονα του και σε εγκάρσια διατομή του, καθώς αυτά διαπερνούν ή και αλληλεπιδρούν με τα διαδοχικά ανιχνευτικά στρώματα, Ηλεκτρομαγνητικά, Αδρονικά, Μιονικά. Η ενέργεια και ορμή των σωματιδίων καταμετράται από τα θερμιδόμετρα, τα οποία εγκαθίστανται εξωτερικά των ανιχνευτών τροχιών έτσι ώστε οι τροχιές των σωματιδίων να έχουν ήδη καταγραφεί πριν αυτά απορροφηθούν από τα θερμιδόμετρα.



Δίνεται ακόμα, η ελλείπουσα ενέργεια, ETMis σε GeV μέτρο και σε υπολογιζόμενη κατεύθυνση στην εικόνα (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή). Η ενέργεια αυτή αφορά στα σωματίδια που δεν ανιχνεύθηκαν (π.χ. νετρίνα) ή σε μετρητικά σφάλματα. Η ελλείπουσα ενέργεια αναφέρεται στην εγκάρσια ορμή όπου διατηρείται η συνολική τιμή 0 (αρχή διατήρησης της ορμής), Η ελλείπουσα ορμή κατά μήκος του άξονα της δέσμης στον LHC δεν μπορεί να υπολογιστεί γιατί η αρχική ορμή των συγκρουόμενων

συστατικών δεν είναι γνωστή(εφόσον η ενέργεια του κάθε αδρονίου χωρίζεται, και ανταλλάσσεται διαρκώς, μεταξύ των συστατικών του).

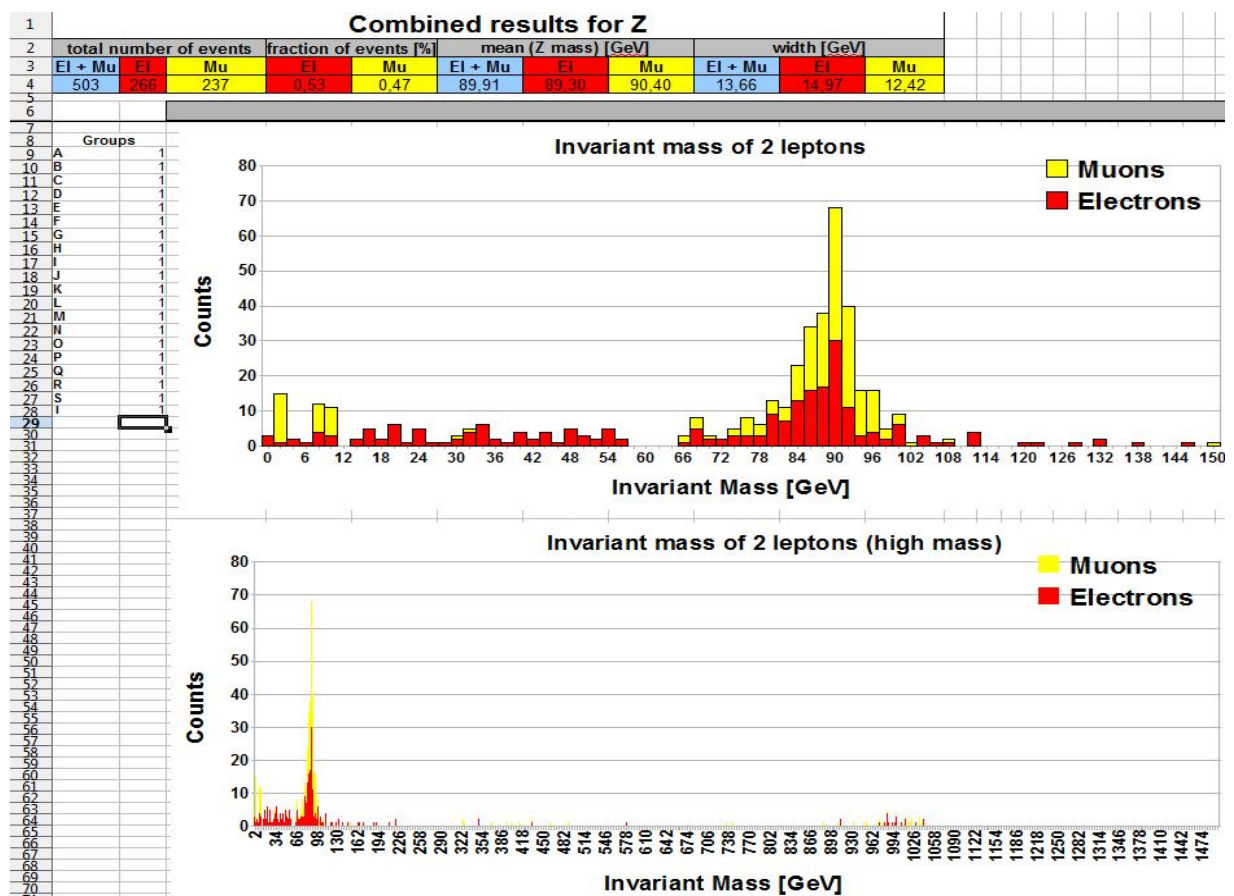
Προκειμένου να διευκολυνθεί η επιλογή των κατάλληλων γεγονότων ενεργοποιήσαμε την εντολή cut για τιμές μικρότερες του 5 GeV, δυνατότητα που

δίνει το HYPATIA για αυτόματη αποκοπή γεγονότων με μεγάλο αριθμό τροχιών χαμηλής ενέργειας και τα οποία δεν παρουσιάζουν κανένα ενδιαφέρον εν προκειμένω.

Εξετάσαμε κάθε γεγονός από ένα σύνολο 1000 γεγονότων και αφού ξεχωρίσαμε τα ενδιαφέροντα γεγονότα για το σωματίδιο Z, αξιοποιούσαμε την δυνατότητα που δίνει το πρόγραμμα HYPATIA ως εξής: επιλέγοντας την τροχιά που θεωρούσαμε ότι αντιστοιχεί σε ηλεκτρόνιο - ποζιτρόνιο ή μόνιο- αντιμόνιο τα αποδίδαμε αντίστοιχα έτσι ώστε η επιλεγμένη τροχιά αντιγράφεται στον πίνακα αναλλοίωτων μαζών. Όταν δύο συμβατές τροχιές (είτε δύο τροχιές ηλεκτρονίων ή δύο τροχιές μιονίων) από το ίδιο γεγονός εισαχθούν στον πίνακα, η αναλλοίωτη μάζα τους υπολογίζεται και αθροίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα. Τελικά, από το σύνολο των γεγονότων, προσδιορίζεται και παρουσιάζεται στατιστικά το ιστόγραμμα, από όπου μπορεί να υπολογίζεται η αναλλοίωτη μάζα του Z. Η τιμή της αναλλοίωτης μάζας του Z η οποία προβλέπεται από την θεωρία, είναι μια κορυφή γύρω στα 91,2 GeV.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ –ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρακάτω φαίνεται το ιστόγραμμα που προέκυψε από την συλλογή των γεγονότων $\mu^+ \mu^-$ ή $e^+ e^-$ και την επιλογή των τροχιών τους.



Από τα 1000 γεγονότα που μελετήθηκαν, αυτά που θεωρήθηκαν ότι περιέχουν διάσπαση Z σε $e^+ e^-$ ήταν 266 ενώ διάσπαση $\mu^+ \mu^-$ ήταν 237. Στο πρώτο ιστόγραμμα, η κορυφή που παρατηρείται στα 89,91 GeV με εύρος 13,96 GeV, θεωρούμε ότι αντιστοιχεί στην μέση αναλλοίωτη μάζα του σωματιδίου Z.

Θα αναφερθούμε σε μερικά στοιχεία της θεωρίας και της μαθηματικής επεξεργασίας που γίνεται με την βοήθεια του προγράμματος HYPATIA ώστε να παρουσιασθεί καλύτερα το νόημα του ιστογράμματος, το οποίο μας οδηγεί και στην κατανόηση των ευρημάτων της μελέτης. Η βασική εξίσωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας του Einstein που συνδέει την ενέργεια και την ορμή ενός σωματιδίου είναι η

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

όπου m είναι η μάζα του σωματιδίου και c η ταχύτητα του φωτός. Η ορμή δίνεται από την σχέση

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

όπου v είναι η ταχύτητα του σωματιδίου. Για ταχύτητες πολύ πιο μικρές της ταχύτητας του φωτός, η ορμή και η ενέργεια δίνονται από τις σχέσεις

$$p = mv, \quad E = mc^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

Αν εξαιρέσουμε τον πρώτο όρο στην ενέργεια (αυτό που ονομάζουμε ενέργεια ηρεμίας) οι παραπάνω δύο σχέσεις είναι οι γνωστές από τη φυσική του Νεύτωνα. Η εξίσωση της ενέργειας εύκολα γράφεται

$$mc^2 = \sqrt{E^2 - p^2 c^2}$$

που μας καθοδηγεί πώς να βρίσκουμε τη μάζα ενός σωματιδίου αν γνωρίζουμε την ενέργειά του και την ορμή του. Επειδή αυτή η ποσότητα, m , είναι ή ίδια για κάθε ζευγάρι (E, p) ενέργειας και ορμής του σωματιδίου την ονομάζουμε αναλλοίωτη μάζα.

Πηγαίνοντας τώρα στην περίπτωση της διάσπασης του Z σε ζεύγος ηλεκτρονίου ποζιτρονίου, η διατήρηση ενέργειας και ορμής μας λέει ότι η ενέργεια και η ορμή του Z είναι το άθροισμα των ενεργειών και των ορμών του ζεύγους αντίστοιχα

$$E_Z = E_{e^+} + E_{e^-}, \quad \vec{p}_Z = \vec{p}_{e^+} + \vec{p}_{e^-}$$

Οπότε, η αναλλοίωτη μάζα του Z δίνεται από τη σχέση

$$m_Z c^2 = \sqrt{E_Z^2 - p_Z^2 c^2} = \sqrt{(E_{e^+} + E_{e^-})^2 - (\vec{p}_{e^+} + \vec{p}_{e^-})^2 c^2}$$

Μετρώντας, μέσω του ανιχνευτή ATLAS, την ενέργεια και την ορμή του ηλεκτρονίου και του ποζιτρονίου, το πρόγραμμα HYPATIA δίνει άμεσα την αναλλοίωτη μάζα του Z.

Η καμπύλη γύρω στα 89,91 GeV που παρατηρείται στο ιστόγραμμα δικαιολογείται από την σχέση απροσδιοριστίας του Heisenberg.

$$\Delta E * \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

όπου \hbar μια σταθερά, που μας λέει ότι η αβεβαιότητα στην μέτρηση της ενέργειας ΔE (επομένως και της μάζας του Z αν αυτό είναι σχετικά ακίνητο) είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο μικρός ο χρόνος ζωής Δt του σωματιδίου Z το οποίο είναι βραχύβιο, όπως προαναφέρθηκε, περίπου 3×10^{-25} δευτερόλεπτα.

Επιπλέον και άλλοι παράγοντες όπως σφάλματα μέτρησης, συνυπολογισμού μη κατάλληλων διασπάσεων κλπ μπορεί να συμβάλλουν στο εύρος του φυσικού πλάτους της καμπύλης.

Πέραν του επιδιωκόμενου σκοπού της εργασίας, την διαπίστωση της ύπαρξης του σωματιδίου Z στα δεδομένα του πειράματος που ελέγχθηκαν, παρατηρήσαμε, όπως φαίνεται στην δεύτερη εικόνα του ιστογράμματος όπου χρησιμοποιήθηκε μικρότερη κλίμακα, μια δεύτερη κορυφή, γύρω από την τιμή 1000 GeV αναλλοίωτης μάζας. Η ύπαρξη αυτής της κορυφής, αφήνει ερωτηματικά για πιθανή παρουσία κάποιου άλλου σωματιδίου σε μικρότερη συχνότητα εμφάνισης από ότι το Z, κάτι για το οποίο προφανώς απαιτείται παραπέρα έρευνα.

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

Barnett, R. Michael, Henry Muhry, Helen R. Quinn, 2006. *Η γοητεία των παράξενων κουάρκ. Αινίγματα και επαναστάσεις στη φυσική σωματιδίων. Μετάφραση Μαργαρίτα Μαστροκάλου, Έλενα Συμεωνίδου*, Επμέλεια: Νικόλας Τράκας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, ISBN 960-254-659-X, ISBN-13 978-960-254-659-8

Συμφωνίδης Δ., 2007, *Επιταχυντές*, Θεσσαλονίκη.

<http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/>

<http://www.physicsmasterclasses.org/>

www.oldportal.demokritos.gr

www.physicsgg.me

http://hypatia.iasa.gr/el/HYPATIA_Instructions.pdf

www.wikipedia.org