# ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΘΑΛΑΜΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΙΟΝΙΚΟ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΟ ATLAS

**Δ. ΣΑΜΨΩΝΙΔΗΣ[1], Χ. ΠΕΤΡΙΔΟΥ[1], Ι. ΤΣΙΑΦΗΣ[2], Κ-Δ. ΜΠΟΥΖΑΚΗΣ[2]**

**[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εργαστήριο Ατομικής –Πυρηνικής Φυσικής**

**[2]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εργαστήριο Εργαλειομηχανών και Διαμορφωτικής Μηχανολογίας**

**e-mail: sampson@physics.auth.gr**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στα πλαίσια της Ελληνικής συμμετοχής στο πείραμα ATLAS, το οποίο θα πραγματοποιηθεί στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων (CERN), κατασκευάστηκαν και ελέγχθηκαν μετροτεχνικά εκατόν δώδεκα θάλαμοι BIS ανίχνευσης μιονίων. Για το σκοπό αυτό συνεργάζονται το Εργαστήριο Ατομικής - Πυρηνικής Φυσικής (ΕΑΠΦ) του τμήματος Φυσικής και το Εργαστήριο Εργαλειομηχανών Διαμορφωτικής Μηχανολογίας, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης καθώς και τα Πανεπιστήμια Αθηνών και το Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.

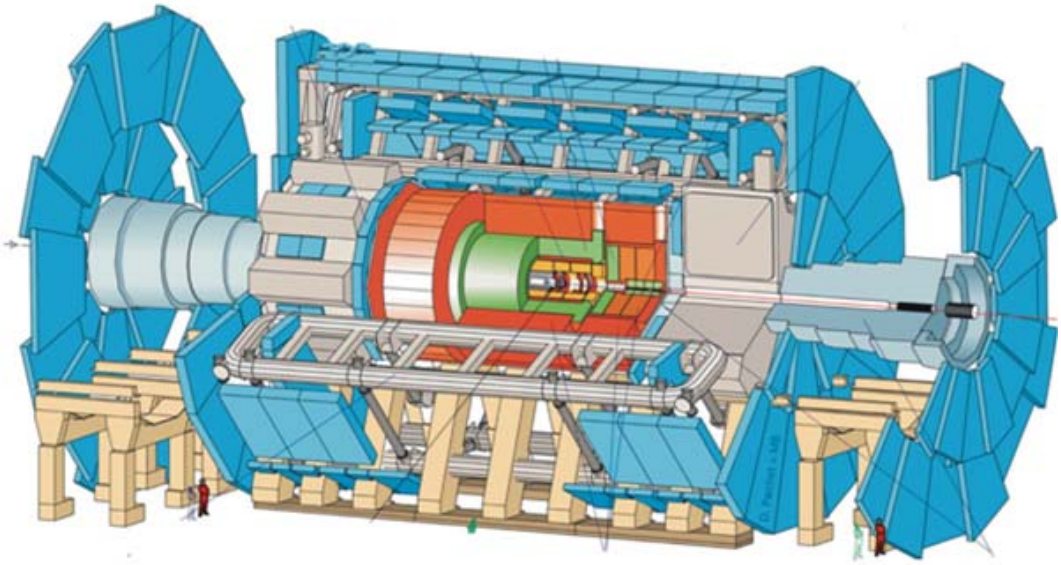
Οι θάλαμοι BIS αποτελούν επιμέρους τμήματα του μιονικού φασματόμετρου του ανιχνευτή ATLAS. Ένας θάλαμος BIS αποτελείται από οκτώ επίπεδα κυλινδρικών σωλήνων αλουμινίου μήκους 1.7 m και ακτίνας 3 cm διατεταγμένα σε δύο πολυεπίπεδα. Οι σωλήνες αυτοί περιέχουν ένα λεπτό σύρμα διαμέτρου 50 μm. Η συνολικές διαστάσεις του θαλάμου BIS είναι περίπου 2 x 1 x 0.3 $m^3$. Οι προδιαγραφές στην κατασκευή των θαλάμων απαιτούν διαστατική ακρίβεια να είναι τέτοια ώστε το r.m.s. σφάλμα της απόκλισης της θέσης του σύρματος του κάθε σωλήνα να μην ξεπερνά τα 20 μm και η ομοκεντρικότητα του σύρματος με τον εξωτερικό σωλήνα αλουμινίου να μην αποκλείνει περισσότερο από 100 μm.

Στην εργασία παρουσιάζονται η μεθοδολογία κατασκευής για την επίτευξη της απαιτούμενης υψηλής ακρίβειας (5 τάξεις μεγέθους μικρότερη των διαστάσεων), οι μετρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια κατασκευής για τη διασφάλιση και τον έλεγχο ποιότητας. Η ποιότητα κατασκευής των θαλάμων ελέγχθηκε με τη βοήθεια τομογράφου ακτίνων–Χ στο CERN όπου είκοσι τρεις θάλαμοι (~20% του συνόλου) σαρώθηκαν και βρέθηκαν να ικανοποιούν πλήρως τις προδιαγραφές. Στην εργασία παρουσιάζεται η σύγκριση των μετρήσεων διασφάλισης ποιότητας κατά την κατασκευή με αυτές που πραγματοποιήθηκαν στον τομογράφο.

*Λέξεις-Κλειδιά: CERN, ATLAS, BIS, διασφάλιση ποιότητας, τομογράφος ακτίνων -Χ*

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο Διεθνές Ερευνητικό Κέντρο Στοιχειωδών Σωματιδίων CERN, στη Γενεύη, έχει ξεκινήσει η κατασκευή του μεγαλύτερου στον κόσμο επιταχυντή/συγκρουστήρα αδρονίων (LHC, Large Hadron Collider), με σκοπό την περαιτέρω εμβάθυνση στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων. Ο επιταχυντής αυτός έχει περιφέρεια 27 χιλιομέτρων θα επιταχύνει πρωτόνια σε δύο δέσμες αντίθετης κατεύθυνσης, σε ενέργειες 7 TeV η καθεμιά. Στην υπόγεια σήραγγα του επιταχυντή που βρίσκεται σε βάθος 100 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους έχουν σχεδιαστεί και βρίσκονται σε φάση εγκατάστασης οι πειραματικές διατάξεις ATLAS και CMS.



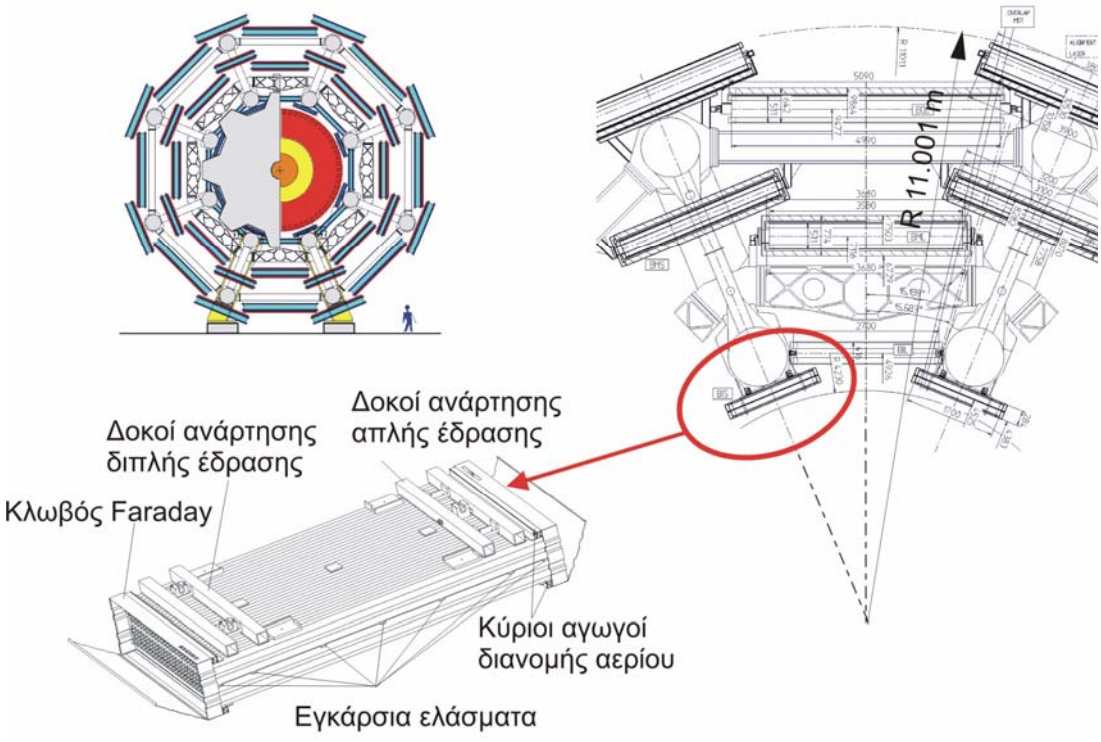
Σχήμα 1: Ο ανιχνευτής ATLAS.

Στα πλαίσια της Ελληνικής συμμετοχής στο πείραμα ATLAS κατασκευάστηκαν και ελέγχθηκαν μετροτεχνικά εκατόν δώδεκα θάλαμοι BIS ανίχνευσης μιονίων. Για το σκοπό αυτό συνεργάστηκαν το Εργαστήριο Ατομικής - Πυρηνικής Φυσικής (ΕΑΠΦ), του τμήματος Φυσικής και το Εργαστήριο Εργαλειομηχανών Διαμορφωτικής Μηχανολογίας, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης μαζί με το Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου της Αθήνας και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ο σχεδιασμός της πειραματικής διάταξης ATLAS αποσκοπεί να εκμεταλλευτεί όλο το δυναμικό της φυσικής που παρέχεται από τον μεγάλο συγκρουστήρα αδρονίων, LHC και να προσδιορίσει με μεγάλη ακρίβεια τις ενέργειες, τις διευθύνσεις καθώς και την ταυτότητα των σωματιδίων που θα παραχθούν από τις συγκρούσεις των δύο δεσμών πρωτονίων. Οι χαρακτηριστικές διαστάσεις του ανιχνευτή ATLAS φαίνονται στο σχήμα 1 (40m μήκος και ύψος 20m). Το εξωτερικό τμήμα του ανιχνευτή ATLAS αποτελεί το μιονικό φασματόμετρο και έχει σκοπό τη μέτρηση της τροχιάς φορτισμένων σωματιδίων (μιονίων) σε μαγνητικό πεδίο, με ακρίβεια της τάξης των 50 μm σε απόσταση περίπου 5 m. Αποτελείται από θαλάμους ακριβείας σωλήνων ολίσθησης (Monitored Drift Tubes chambers, MDT) διαφορετικών διαστάσεων τοποθετημένους σε τρεις μετρητικούς σταθμούς στην κυλινδρική περιοχή του μιονικού φασματόμετρου, σε ακτινικές αποστάσεις 5, 7.5 και 10 m από τον άξονα της δέσμης. Οι θάλαμοι BIS (Barrel Inner Small), των οποίων θα αναλυθεί η διαδικασία συναρμολόγησης, είναι τοποθετημένοι στους μικρούς τομείς του εσωτερικού σταθμού (σχήμα 2).

Οι σωλήνες για τους θάλαμους BIS συναρμολογήθηκαν στο πανεπιστήμιο Αθηνών, ελέγχθηκαν στο ΕΜΠ, και μεταφέρθηκαν στη Θεσσαλονίκη για την κατασκευή των θαλάμων.

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ BIS




Σχήμα 2: Προοπτική απεικόνιση του θαλάμου MDT BIS και οι θέσεις του στον ανιχνευτή ATLAS

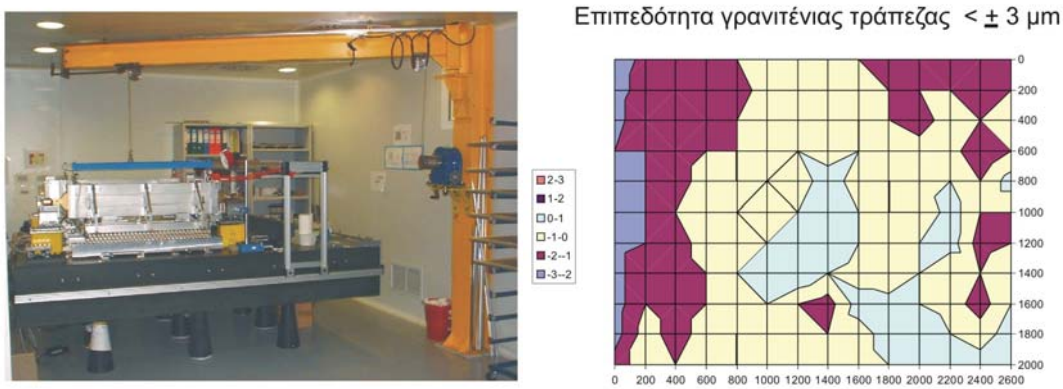
Ενα σχέδιο του θαλάμου BIS φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 2. Στοιχειώδης δομική μονάδα του θαλάμου BIS είναι ο σωλήνας ολίσθησης. Ο θάλαμος αποτελείται από δύο πολυεπίπεδα αποτελούμενα από 4 επίπεδα σωλήνων ολίσθησης το καθένα. Κάθε επίπεδο αποτελείται από 30 ή 36 σωλήνες. Οι σωλήνες ολίσθησης είναι κατασκευασμένοι από κράμα αλουμινίου, έχουν διάμετρο περίπου 30 mm και πάχος τοιχώματος 0.4 mm. Στο κέντρο των σωλήνων υπάρχει σύρμα (W-Re) πάχους 50μm το οποίο βρίσκεται υπό τάση 350 gr. Οι άκρες του σωλήνα είναι ερμητικά κλεισμένες με ειδικά πώματα, στα οποία συγκρατείται το σύρμα. Οι σωλήνες (μαζί με τα πώματα στις άκρες) έχουν μήκος 1671,5 mm. Τα δύο πολυεπίπεδα διαχωρίζονται μεταξύ τους με εφτά εγκάρσια ελάσματα αλουμινίου πάχους 6 mm που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση συγκεκριμένης σταθερής απόστασης μεταξύ των πολυεπιπέδων αλλά και για την αύξηση της στιβαρότητας της συνολικής κατασκευής.

Σε συνθήκες λειτουργίας στο εσωτερικό των σωλήνων κυκλοφορεί μίγμα αερίων (Ar και $CO_2$) σε πίεση 3 bar και εφαρμόζεται τάση 3200 V μεταξύ του σύρματος και του τοιχώματός τους

Οι προδιαγραφές και οι ανοχές των MDT θαλάμων περιγράφονται στο [1] και είναι οι εξής:

1. Απόκλιση της ομοαξονικότητας του σύρματος ως προς τον σωλήνα μικρότερη των 100 μm κατά μήκος του σωλήνα (σχήμα 5),
2. Απόσταση των συρμάτων μέσα στο πολυεπίπεδο 30.035 mm στους 20 ºC με μέσο τετραγωνικό σφάλμα (rms) μικρότερο των 20 μm.

Ως προς την ομοαξονικότητα του σύρματος με το σωλήνα έγινε μελέτη των πιθανών παραμορφώσεων του θαλάμου BIS λόγω βάρους με μηχανικό πρωτότυπο πριν την έναρξη της κατασκευής των θαλάμων και βρέθηκαν να είναι μικρότερες των 100 μm [2],[3]. Επιπλέον η τάση που εφαρμόζεται στο σύρμα (350 gr) κατά την κατασκευή των σωλήνων περιορίζει την κάμψη του σύρματος λόγω βάρους στα 40 μm. Ως προς τη διατήρηση του




Σχήμα 3: Χώρος πλήρως ελεγχόμενων συνθηκών

βήματος σύρματος 30.035 μm, αυτό διασφαλίζεται από την διαδικασία κατασκευής των θαλάμων η οποία θα περιγραφεί παρακάτω.

## 3. ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

### 3.1 Χώρος πλήρως ελεγχόμενων συνθηκών (Clean room)

Οι υψηλές απαιτήσεις για την μηχανική ακρίβεια των θαλάμων MDT BIS προϋποθέτουν σταθερή θερμοκρασία και υγρασία κατά την διάρκεια της κατασκευής, σε ένα περιβάλλον ελεύθερο από σκόνη. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένας χώρος πλήρως ελεγχόμενων συνθηκών (καθαρότητα της ατμόσφαιρας από σωματίδια της τάξης των 50.000 ppm) στο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης σχήμα 7. Η θερμοκρασία και η υγρασία ελέγχονται εντός των ορίων 20±0.5 ºC και 40±5% αντίστοιχα. Η συναρμολόγηση των θαλάμων πραγματοποιείται σε μια γρανιτένια τράπεζα διαστάσεων 2.7 x 2.2 x 0.4 $m^3$, επιπεδότητας ±3 μm. Ο χώρος είναι εξοπλισμένος με γερανό 0.5 t με στρεφόμενο βραχίονα. Όλα τα βήματα συναρμολόγησης που απαιτούν υψηλή και ελεγχόμενη ακρίβεια πραγματοποιούνται στην γρανιτένια τράπεζα. Τα τμήματα του θαλάμου (σωλήνες, δοκοί ανάρτησης, κλπ) αποθηκεύονται στο χώρο τουλάχιστο 12 ώρες πριν χρησιμοποιηθούν στην συναρμολόγηση.

### 3.2 Εργαλεία συναρμολόγησης

Τα βασικά εργαλεία συναρμολόγησης που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή BIS θαλάμων είναι:

- Έξι υψηλής ακρίβειας χτένια (jigs) με σύστημα αναρρόφησης για την τοποθέτηση κάθε επιπέδου σωλήνων.
- Ένα άκαμπτο σύστημα στήριξης (stiffback) της διάταξης του θαλάμου
- Τέσσερα σετ πλαισίων ανύψωσης (height blocks).
- Έξι συστήματα RASNIK για τον έλεγχο της θέσης του άκαμπτου συστήματος στήριξης σε κάθε βήμα και τον έλεγχο των εσωτερικών του παραμορφώσεων.
- Ένα σύστημα ελέγχου επιπεδότητας RASNIK.
- Ιδιοσυσκευές για την τοποθέτηση και τον προσανατολισμό των σωλήνων πάνω στα jigs.
- Ιδιοσυσκευές για την τοποθέτηση των δοκών ανάρτησης και των εγκάρσιων λωρίδων

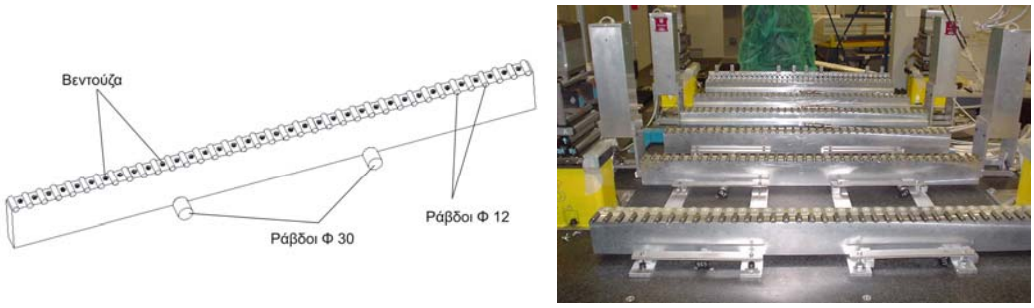
- Αναγνώστη bar-code, συνδεδεμένο σε Η/Υ.
- Μηχανικό μετρητή (feeler) με ακρίβεια μέτρησης 3 μm, συνδεδεμένο σε Η/Υ (mitutoyo).

Τα εργαλεία αυτά περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω. Η διαδικασία συναρμολόγησης ελέγχεται από το λογισμικό πρόγραμμα BridgeView2 και όλα τα δεδομένα καταχωρούνται και αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων.

### 3.3 Χτένια (jigs)

Κατά τη συναρμολόγηση των θαλάμων ο ορισμός του επιπέδου των σωλήνων γίνεται πάνω σε ιδιοσυσκευές συγκράτησης με μια διαδικασία υψηλής ακρίβειας. Συγκεκριμένα, οι σωλήνες πρέπει να τοποθετηθούν σε καθορισμένες θέσεις, με ακρίβεια μικρότερη των 10 μm. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται έξι ιδιοσυσκευές υψηλής διαστατικής ακρίβειας.

Οι ιδιοσυσκευές αυτές είναι τετραγωνικές ράβδοι αλουμινίου όπου στην ανώτερη επιφάνειά τους συγκολλούνται μικροί ράβδοι διαμέτρου 12±0,005 mm που είναι οι επιφάνειες επαφής τους με τους σωλήνες. Οι σωλήνες συγκρατούνται στις ιδιοσυσκευές συγκράτησης με ένα σύστημα κενού. Συγκεκριμένα, στις ιδιοσυσκευές είναι προσαρμοσμένες ελαστικές βεντούζες, για την καλύτερη στεγανότητα και τη δημιουργία του κενού. Μια προοπτική απεικόνιση των ιδιοσυσκευών συγκράτησης σωλήνων φαίνονται στο σχήμα 4. Η ευθυγράμμιση των jigs γίνεται αναφορικά με έναν υψηλής ακρίβειας κανόνα, ο οποίος είναι σταθεροποιημένος στην γρανιτένια τράπεζα.




Σχήμα 4: Η ιδιοσυσκευή συγκράτησης των σωλήνων (jigs) και διάταξη των ιδιοσυσκευών αυτών πάνω στη γρανιτένια τράπεζα

### 3.4 Στιβαρό πλαίσιο ανάρτησης (stiffback)

Η συναρμολόγηση του θαλάμου γίνεται ξεκινώντας από το ανώτερο επίπεδο των σωλήνων και απαιτείται να απομακρύνεται και να τοποθετείται περιοδικά πάνω στην τράπεζα. Για το λόγο αυτό έχει κατασκευαστεί το στιβαρό πλαίσιο ανάρτησης.

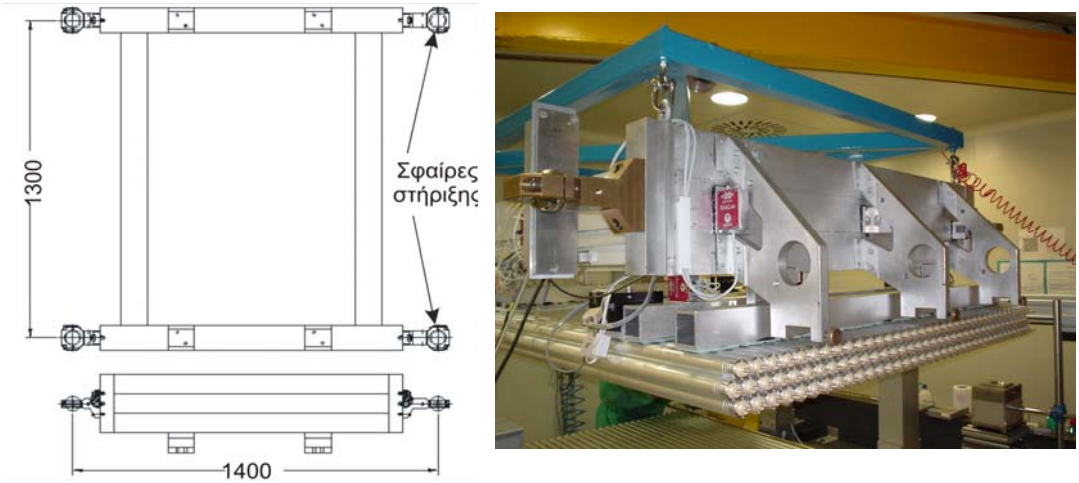
Αυτό είναι μια απόλυτα στιβαρή κατασκευή με ελάχιστη παραμόρφωση της τάξης των 10 μm κατά την πλήρη φόρτισή του. Αποτελείται από δυο παράλληλες δοκούς, μήκους 1058 mm και ύψους 240 mm, πάνω στις οποίες είναι στερεωμένες τέσσερις σφαίρες στήριξης, όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Μεταξύ τους οι παράλληλοι δοκοί συνδέονται με δοκούς, διαστάσεων 100x200x1300 $m^3$, που στο κάτω μέρος τους συγκολλούνται τέσσερις διατάξεις ανάρτησης. του θαλάμου.

Τα ειδικά σφαιρικά έδρανα που υπάρχουν στις άκρες του πλαισίου χρησιμοποιούνται για τη στήριξή του πάνω στους πύργους ακριβείας. Η επιλογή των σφαιρικών επιφανειών έγινε γιατί η γεωμετρία αυτή σε συνδυασμό με τη γεωμετρία του πύργου (εσωτερικό ημισφαίριο), που σταθεροποιείται πάνω στην τράπεζα, δίνει τη δυνατότητα το πλαίσιο ανάρτησης να τοποθετείται σε καθορισμένο κάθε φορά σημείο. Η ανύψωση του θαλάμου γίνεται μέσω του πλαισίου από γερανό πολύ μικρής ταχύτητας ανύψωσης. Η κατακόρυφη θέση στην οποία τοποθετείται η ιδιοσυσκευή αυτή στα διάφορα στάδια της συναρμολόγησης καθορίζεται με τη χρήση των πλαισίων διαβάθμισης ύψους.

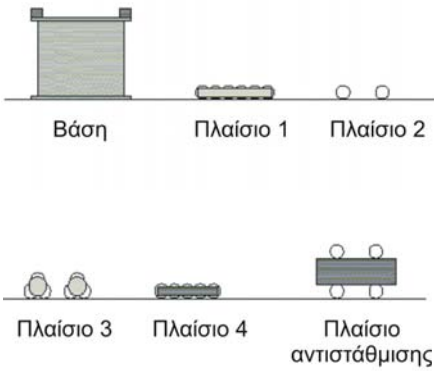
### 3.5 Πλαίσια ανύψωσης (height blocks)

Κατά τη συναρμολόγηση του θαλάμου BIS το πλαίσιο ανάρτησης τοποθετείται σε μια σειρά από διαδοχικά ύψη στερέωσης, καθώς προστίθενται τα νέα επίπεδα των σωλήνων. Για να επιτευχθούν αυτά τα συγκεκριμένα ύψη, για τη σωστή και ακριβή στήριξη του θαλάμου, τοποθετούνται στη βάση των σφαιρών συγκράτησης διάφορες διατάξεις από συναρμολογημένες ράβδους εξακριβωμένης διαμέτρου 30,035 mm στους 20 $^{o}$C. Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνεται ακριβής τοποθέτηση όλου του θαλάμου στην κατεύθυνση y (ύψος) και στην κατεύθυνση z (κάθετα στους σωλήνες), αφού χρησιμοποιείται η ίδια καθορισμένη και ελεγμένη ομάδα δομικών στοιχείων, που είναι ίδιας διαμέτρου με τους σωλήνες. Όλα τα πλαίσια ανύψωσης που χρησιμοποιούνται φαίνονται συνοπτικά στο σχήμα 6.

Οι συνδυασμοί των πλαισίων ανύψωσης μετρήθηκαν σε μια μετρητική μηχανή CMM και βρέθηκε απόκλιση από τις ιδεατές τιμές στις διευθύνσεις x και y μικρότερη από 10 μm.




Σχήμα 5 : Η διάταξη του πλαισίου ανάρτησης (stiffback)



Σχήμα 6: Τα πλαίσια διαβάθμισης ύψους που χρησιμοποιούνται κατά τη συναρμολόγηση

## 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

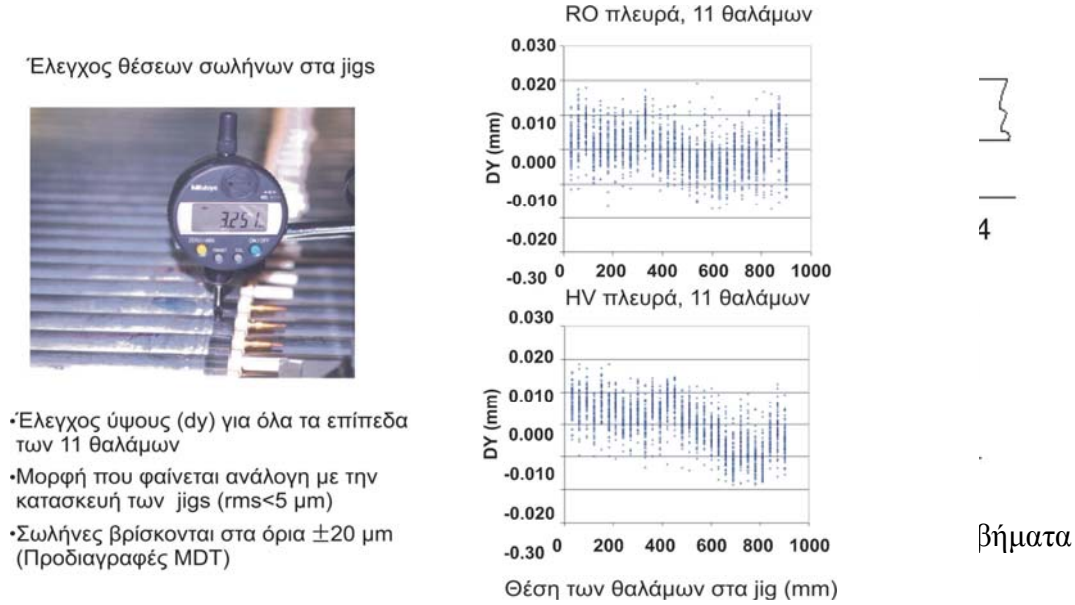
Η διαδικασία συναρμολόγησης αποτελείται από 2 φάσεις. Η φάση Ι περιλαμβάνει τα ακριβή βήματα κόλλησης πάνω στη γρανιτένια τράπεζα και διαρκεί οκτώ εργάσιμες ημέρες. Κατά τη διάρκεια της φάσης ΙΙ η διαδικασία συναρμολόγησης του θαλάμου ολοκληρώνεται σε μια μη- ακρίβειας τράπεζα, προσθέτοντας τους κλωβούς Faraday και εξοπλίζοντας τον θάλαμο με βοηθητικά τμήματα.

### 4.1 Σύντομη περιγραφή της φάσης Ι

Την πρώτη μέρα το πρώτο επίπεδο των σωλήνων τοποθετείται πάνω στα jigs και ακολουθεί κόλληση. Στη συνέχεια με κατάλληλες μήτρες τοποθετούνται ιδιοσυσκευές καθώς και δοκοί ανάρτησης στο επάνω μέρος του επιπέδου των σωλήνων και κολλιούνται. Το σύστημα ελέγχου επιπεδότητας RASNIK κολλιέται ανάμεσα στις δοκούς ανάρτησης (κατά την διεύθυνση x). Η διαδικασία κόλλησης διαρκεί όλη νύχτα ενώ λειτουργεί το σύστημα αναρρόφησης.

Τα διάφορα βήματα που ακολουθούνται κατά τη συναρμολόγηση του θαλάμου είναι τα παρακάτω:

1. Προετοιμασία και τοποθέτηση των πλαισίων βηματικής ανάρτησης του θαλάμου,
2. Τοποθέτηση και προσανατολισμός των σωλήνων πάνω στις ιδιοσυσκευές συγκράτησης,
3. Μέτρηση του σχετικού ύψους του επιπέδου των σωλήνων,
4. Εναπόθεση κόλλας μεταξύ των σωλήνων καθώς και στις θέσεις τοποθέτησης των δοκών ανάρτησης,
5. Στήριξη του στιβαρού πλαισίου ανάρτησης πάνω στις σφαιρικές υποδοχές και δέσιμο των δοκών ανάρτησης πάνω σε αυτό,
6. Παραμονή στη θέση αυτή για τις επόμενες 12 ώρες για να αποκτήσει η κόλλα τα συγκολλητικά χαρακτηριστικά της,
7. Έλεγχος της σχετικής θέσης των σωλήνων του επιπέδου,
8. Ανύψωση του στιβαρού πλαισίου ανάρτησης μαζί με το πρώτο επίπεδο των σωλήνων,
9. Επανάληψη των βημάτων 2 ως 8 τρις φορές, οπότε ολοκληρώνεται η συναρμολόγηση του πρώτου πολυεπιπέδου,
10. Τοποθέτηση και προσανατολισμός της θέσης των σωλήνων πάνω στις ιδιοσυσκευές συγκράτησης του πέμπτου επιπέδου και τοποθέτηση πάνω σε αυτούς των εγκάρσιων ελασμάτων,




Σχήμα 8: Έλεγχος θέσεως σωλήνων πάνω στα Jigs πριν την τελική κόλληση του κάθε επιπέδου

11. Επανάληψη των βημάτων 2 ως 8 τρις φορές για την ολοκλήρωση της συναρμολόγησης του θαλάμου.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7 το στιβαρό πλαίσιο ανάρτησης στηρίζεται με τις σφαιρικές απολήξεις πάνω στα πλαίσια ανύψωσης και λαμβάνονται τιμές από τα συστήματα RASNIK. Η διαδικασία στερεοποίησης της κόλλησης διαρκεί όλη νύχτα. Την πέμπτη μέρα το πρώτο πολυεπίπεδο έχει ολοκληρωθεί και το ξεκινάει η υλοποίηση του δεύτερου πολυεπιπέδου συνεχίζοντας την διαδικασία κόλλησης όπως περιγράφηκε παραπάνω, μετά την κόλληση των εγκάρσιων λωρίδων στο πέμπτο επίπεδο των σωλήνων.

Κατά την διάρκεια της φάσης Ι ένα πρόγραμμα άμεσης καταγραφής της συναρμολόγησης είναι ενεργοποιημένο. Τα δεδομένα ποιοτικής διασφάλισης-ποιοτικού ελέγχου (Quality Assurance/Quality Control, QA/QC), οι πληροφορίες από τα συστήματα RASNIK και δεδομένα από τον περιβάλλοντα χώρο (θερμοκρασία, υγρασία), αποθηκεύονται σε μια τοπική βάση δεδομένων. Την ένατη ημέρα ο θάλαμος απομακρύνεται από την γρανιτένια τράπεζα η οποία είναι έτοιμη να χρησιμοποιηθεί για την συναρμολόγηση του επόμενου θαλάμου.

## 5. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ / ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (ΠΔ/ΠΕ) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

Κατά την διάρκεια της συναρμολόγησης ακολουθούνται αυστηρές διαδικασίες ποιοτικής διασφάλισης / ποιοτικού ελέγχου, οι οποίες εγγυώνται την ποιότητα και την μηχανική ακρίβεια του θαλάμου.

Μια από τις παραμέτρους είναι η θέση των σωλήνων μέσα στο επίπεδο (επιπεδότητα), η οποία μετράται από το ύψος των πωμάτων. Όταν οι σωλήνες είναι πάνω στα jigs και βρίσκεται σε λειτουργία το σύστημα αναρρόφησης, το σχετικό ύψος της επιφάνειας ακρίβειας των πωμάτων μετράται με μηχανικό μετρητή (feeler) σχήμα 8. Όταν ξεπεραστεί το πεδίο ανοχών (±15μm) από ένα σωλήνα τότε γίνεται αλλαγή της θέσης του πάνω στα jigs.

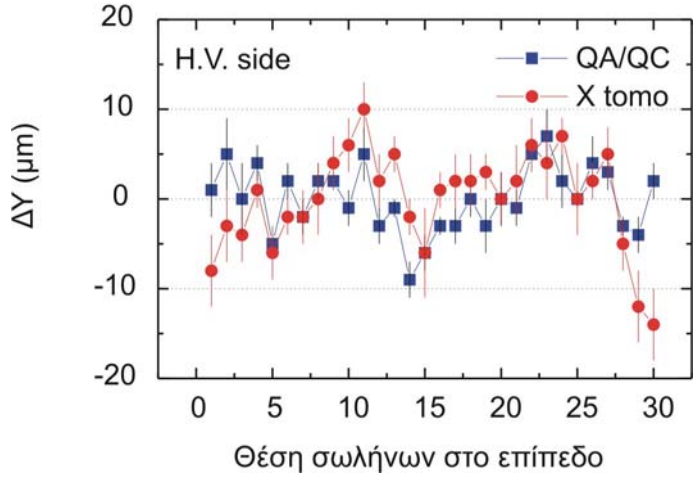
Η παραμόρφωση κατά την διεύθυνση x των συγκολλημένων επιπέδων ελέγχεται με ένα σύστημα ευθυγράμμισης επιπεδότητας το οποίο τοποθετείται στο μέσο του πρώτου επιπέδου σωλήνων. Ο κατακόρυφος σωρός των επιπέδων των σωλήνων ελέγχεται παρακολουθώντας τη θέση των τεσσάρων σφαιρών του στιβαρού πλαισίου ανάρτησης χρησιμοποιώντας διατάξεις RASNIK [5].

Η διάταξη του συστήματος RASNIK φαίνεται στο σχήμα 9. Η οπτική πηγή υπέρυθρου (IR LED), ο διαχύτης και κωδικοποιημένη μάσκα του συστήματος RASNIK βρίσκονται στο στιβαρό πλαίσιο ανάρτησης, ενώ ο φακός και ο αισθητήρας CCD τοποθετούνται σε σταθερό ύψος πάνω στην γρανιτένια τράπεζα. Στη συνέχεια τα δεδομένα αναλύονται με τη βοήθεια Η/Υ. Η ακρίβεια στη μέτρηση θέσης είναι της τάξης 2-3 μm.

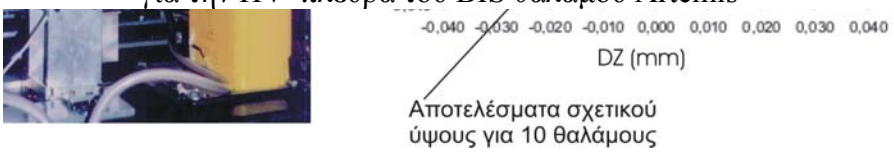
## 6. ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΣ ΑΚΤΙΝΩΝ- Χ

Είκοσι τρεις BIS θάλαμοι από τους 112 που έχουν κατασκευαστεί στο πανεπιστήμιο της Θεσσαλονίκης έχουν σαρωθεί στον στερεοσκοπικό τομογράφο ακτίνων-Χ στο CERN. Ο τομογράφος ακτίνων–x παρέχει μια δισδιάστατη απεικόνιση της θέσεως του σύρματος. Η ακρίβεια μέτρησης της θέσεως του σύρματος από τον τομογράφο εκτιμήθηκε να είναι καλύτερη από 6 μm. Οι θέσεις των συρμάτων προσαρμόστηκαν χρησιμοποιώντας ένα πλέγμα με πέντε παραμέτρους οι οποίες αντιστοιχούν στις γεωμετρικές παραμέτρους του BIS θαλάμου και καθορίστηκαν από τον εξοπλισμό των εργαλείων συναρμολόγησης.

Οι προδιαγραφές των MDT θαλάμων για την κυλινδρική περιοχή είναι 20 μm r.m.s απόκλιση από τις ιδεατές τιμές για την θέση του σύρματος στον συναρμολογημένο θάλαμο στις διευθύνσεις y και z. Όλοι οι θάλαμοι βρέθηκαν να έχουν σφάλμα rms μικρότερο των 14 μm.




Σχήμα 10: Προσαρμογή των θέσεων των σωλήνων κατά την διεύθυνση Y για την HV πλευρά του BIS θαλάμου Artemis




Σχήμα 9: Αποτελέσματα ελέγχου θέσεως των επιπέδων των θαλάμων μέσω Rasnik για 10 θαλάμους στις 4 γωνίες του Stiffback

Στο σχήμα 10 φαίνονται οι μετρήσεις θέσεων των σωλήνων κατά την διεύθυνση Y για την HV πλευρά του BIS θαλάμου Artemis σαν συνάρτηση της θέσεως του σωλήνα μέσα στο επίπεδο. Χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των δεδομένων για τους σωλήνες του πολυεπιπέδου 2 (ΠΕ 2). Τα κυκλικά σημεία αντιστοιχούν στις μετρήσεις του τομογράφου ακτίνων–X και τα τετραγωνικά σημεία αντιστοιχούν στις μετρήσεις του ύψους των πωμάτων κατά την συναρμολόγηση του θαλάμου. Το σφάλμα είναι η τυπική απόκλιση των τεσσάρων μετρήσεων οι οποίες αντιστοιχούν στα τέσσερα επίπεδα των σωλήνων.

Στο σχήμα 10 φαίνεται ότι οι θέσεις των συρμάτων που προσδιορίζονται από τον τομογράφο ακολουθούν την ίδια μορφή με τις μετρήσεις του ύψους των σωλήνων που ουσιαστικά προέρχονται από τη μορφή του jig. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η θέση του σύρματος αναφορικά με το κέντρο του πώματος μεταβάλλεται σε ένα εύρος 10 μm rms και είναι ασυσχέτιστη στις διευθύνσεις z και y [6].

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία συναρμολόγησης των BIS MDT θαλάμων αναπτύχθηκε, δοκιμάστηκε και εφαρμόστηκε για την κατασκευή 112 θαλάμων BIS. Όλα τα βήματα συναρμολόγησης ελέγχονται από ένα πρόγραμμα άμεσης καταγραφής και τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων. Οι διαδικασίες ΠΔ/ΠΕ κατά την διάρκεια της συναρμολόγησης δείχνουν ότι η κατασκευή των θαλάμων πληροί τις προδιαγραφές. Είκοσι τρεις συνολικά θάλαμοι BIS έχουν σαρωθεί στον τομογράφο ακτίνων –X στο CERN και βρέθηκαν να πληρούν τις προδιαγραφές.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


[1] Armstrong W.W. et al. (ATLAS Collaboration ) (1997) ATLAS Muon Spectrometer Technical Design Report, CERN/LHCC/97-22.

[2] K. Economou, CH. Petridou, D. Sampsonidis and J. Wotschack, 1998, Assembly and measurements of a mechanical prototype of the BIS MDT chamber, ATLAS Internal Note, MUON-NO-243, 1998.

[3] G. Kaptsis, Ch. Petridou, J. Tsiafis and J. Wotschack, 1998, Mechanical design of the BIS module zero MDT chamber, ATLAS Internal Note, MUON-NO-242, 1998.

[4] Ch. Petridou, D. Sampsonidis, J. Wotschack, A. Zisis, 1998, Thermal studies on a mechanical prototype of a BIS MDT chamber . ATLAS Internal Note, MUON-NO-263, 1998

[5] P. Duinker et. Al. 1998, Nucl. Instr. and Methods, A273 (1988) p. 814-819.

[6] Bauer, F. et al. (2001) The First Precision Drift Tube Chambers For The Atlas Muon Spectrometer. Nucl.Instrum.Meth.A478: pp. 153-157.