

ANIXNEYTES

# Υπολογισμός ορμής από την κάμψη της τροχιάς σε μαγνητικό πεδίο.

- Ακτίνα καμπυλότητας  $r_L$
- $p$  είναι η ορμή του σωματιδίου
- $Z$  ο ατομικός αριθμός
- $e$  το φορτίο του ηλεκτρονίου
- $R$  ακαμψία του σωματιδίου. Ορίζεται:  $R = E/Ze = pc/Ze$
- Αν η ενέργεια μετριέται σε  $eV$ , η ακαμψία μετριέται σε  $V$ .

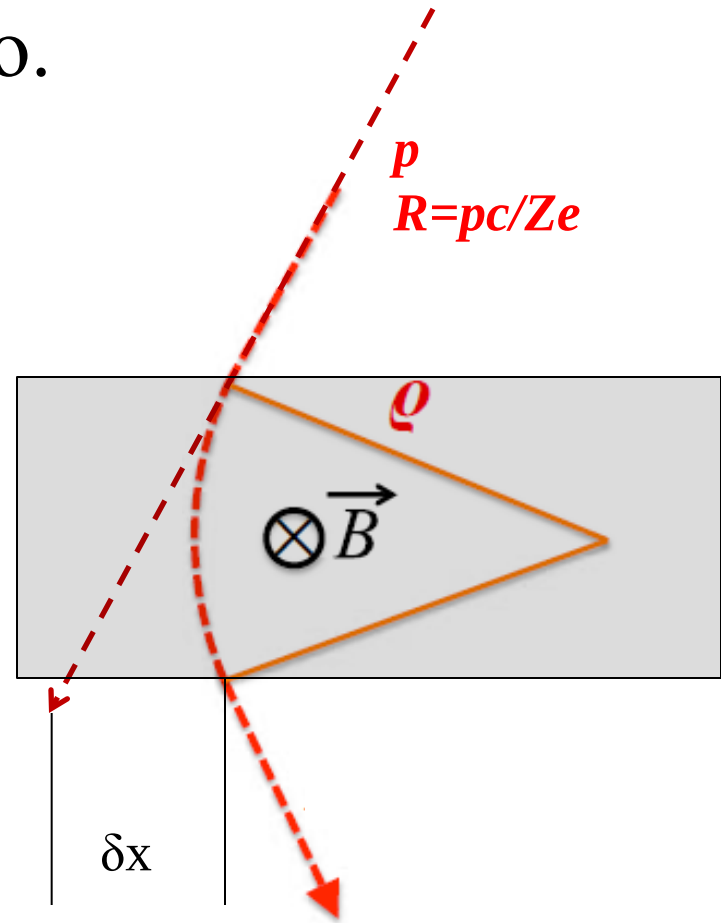
Κάμψη τροχιάς φορτισμένου σωματιδίου σε μαγνητικό πεδίο.

- $p = Ze\rho B$  [eV/c]
- $R = c\rho B$  ( $R = pc/Ze$  [V])
- $R$  [GV]  $\approx 0.3 \rho$  [m]  $\cdot B$  [Tesla]

$$e < 0 \rightarrow R < 0$$

$$p = 1 \text{ GeV}/c, Z = 1 (R = 1 \text{ GV}), "$$

$$B = 1 \text{ Tesla} \rightarrow \rho \approx 3.3 \text{ m}$$



# Απλοποίηση του τύπου της ενέργειας.

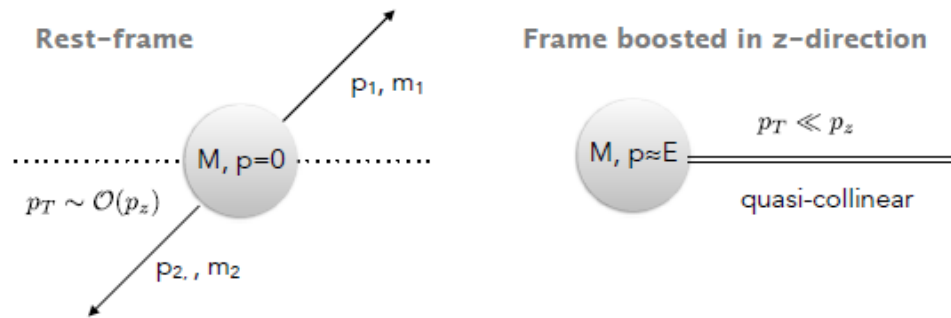


Figure 2.3: Quasi-collinear decays in boosted frame.

$$E = \sqrt{P^2 c^2 + (Mc^2)^2} \quad Pc \gg Mc^2 \rightarrow E = Pc$$

- Όταν η κινητική ενέργεια του σωματιδίου είναι πολύ μεγαλύτερη από την μάζα, τότε  $E=pc$ .
- Μια διάσπαση σε δύο σωματίδια, στο σύστημα Κ.Μ. τα δύο σωματίδια παράγονται με ίσες και αντίθετες ορμές. Όμως λόγω του μετασχηματισμού ταχυτήτων, στο σύστημα εργαστηρίου εμφανίζονται σχεδόν συγγραμμικές!

# Μαγνητικό φασματόμετρο

$$r\rho' = \frac{R}{B} R \quad \text{που} \quad = \frac{pc}{Ze}$$

$$\delta p \approx ZeB\delta t = ZeBL / c$$

$$\frac{\delta p}{p} \approx \frac{\delta x}{L} \approx \frac{ZeBL}{pc}$$

$$\delta x = \frac{ZeBL^2}{pc}$$

Αν το φασματόμετρο έχει μαγνητικό πεδίο  $B$  και μήκος  $L$ , η μεταβολή της ορμής  $\delta p$ , κάθετα προς την ταχύτητα του σωματιδίου:

Η μέγιστη ακαμψία που μπορεί να ανιχνεύσει:

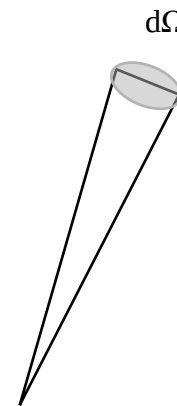
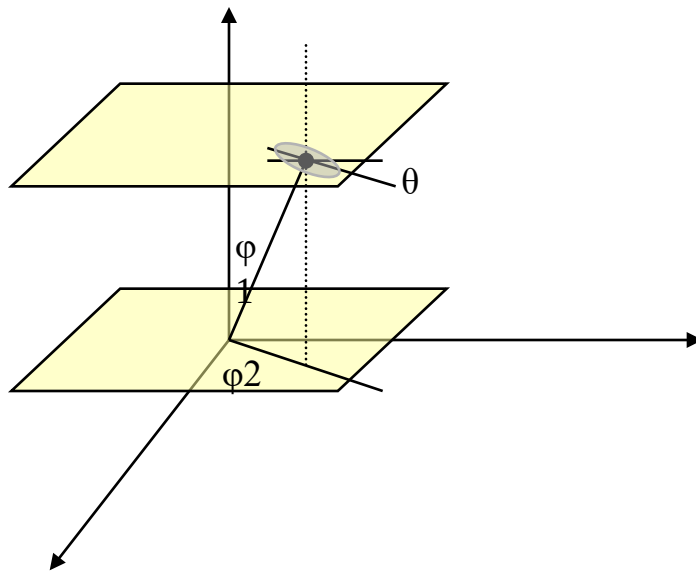
$$R_{\max} = \frac{p_{\max} c}{Ze} = \frac{BL^2}{\delta x_{\min}}$$

Παράδειγμα: Για  $B=1$  T και  $L=1$  m,  $R_{\max} = 300$  GV.

# Γεωμετρική αποδοχή ανιχνευτή.

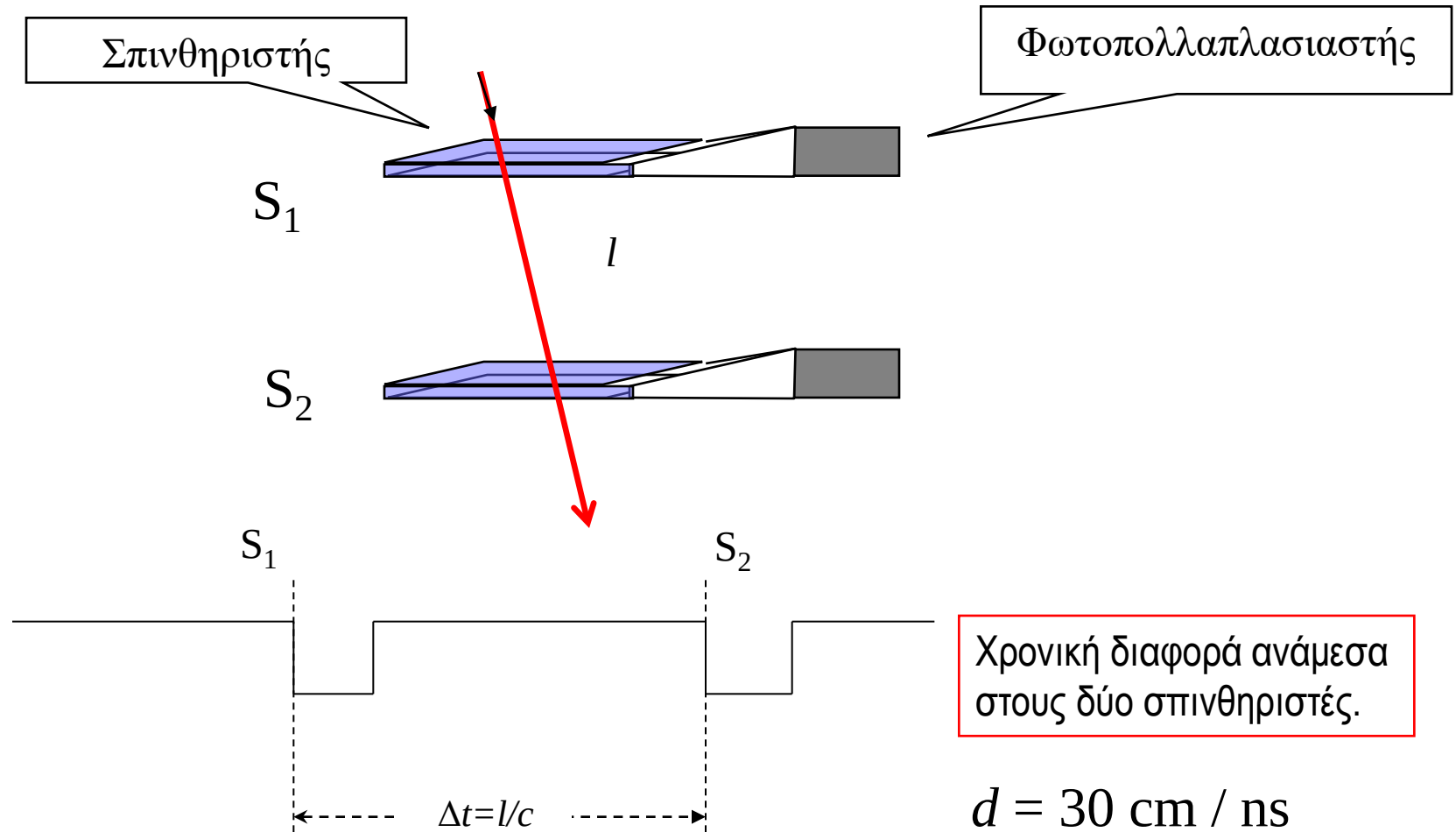
- Έστω δύο επίπεδες πλάκες εμβαδού  $A_1$  και  $A_2$  Υπολογίζω την γεωμετρική αποδοχή, για τυχαίες τροχιές.

$$A \Delta\Omega = \int_0^{2\pi} d\varphi_1 \int_0^{r_{\max}} r dr \int_0^{2\pi} d\varphi_2 \int_0^1 \cos\theta d(\cos\theta)$$



$$d\Omega = \frac{dS}{r^2}$$

# TOF



# Μετρήσεις με καλορίμετρα

**Τα καλορίμετρα**, μετρούν την ολική ενέργεια ενός σωματιδίου. Ένα σωματίδιο μεγάλης ενέργειας που εισέρχεται σε ένα υλικό, αντιδρά δημιουργώντας δευτερογενή σωματίδια και τελικά χάνει την ενέργεια του. Μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια του αρχικού σωματιδίου αν μπορέσουμε να μετρήσουμε το φως που παράγεται κατά τον ιονισμό ή την ακτινοβολία Cerenkov.

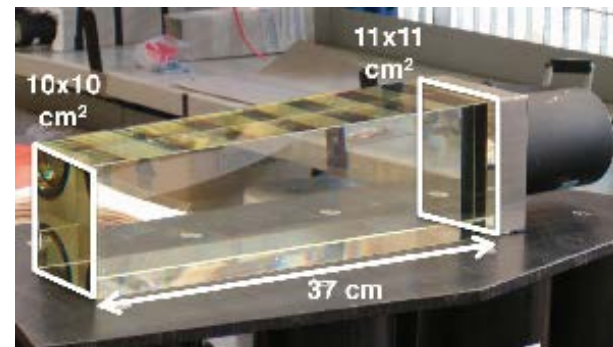
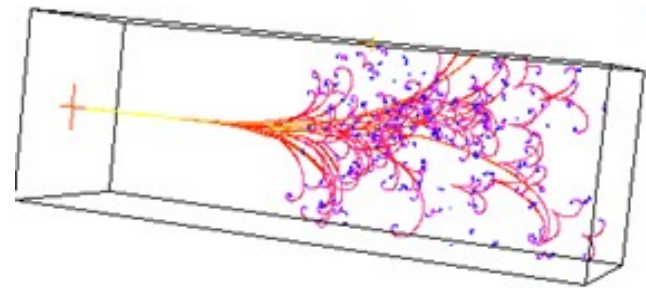
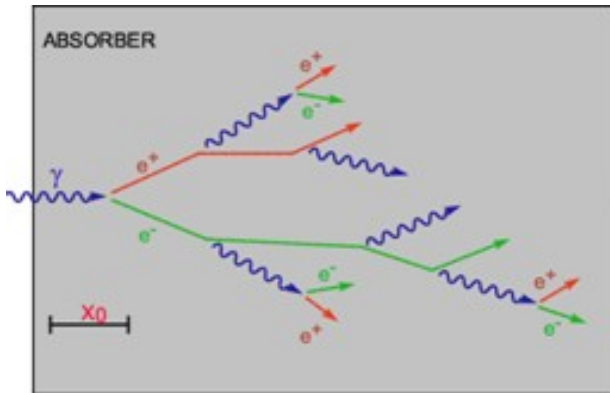
Κατασκευάζουμε δύο είδη από καλορίμετρα:

**Ηλεκτρομαγνητικά** για να μετρήσουμε την ενέργεια ηλεκτρονίων και ακτίνων γάμμα. Με τους μηχανισμούς της δίδυμης γέννησης και της ακτινοβολίας πέδης δημιουργούνται διαρκώς ζεύγη και ακτίνες γ μέχρι να εξαντληθεί η διαθέσιμη ενέργεια.

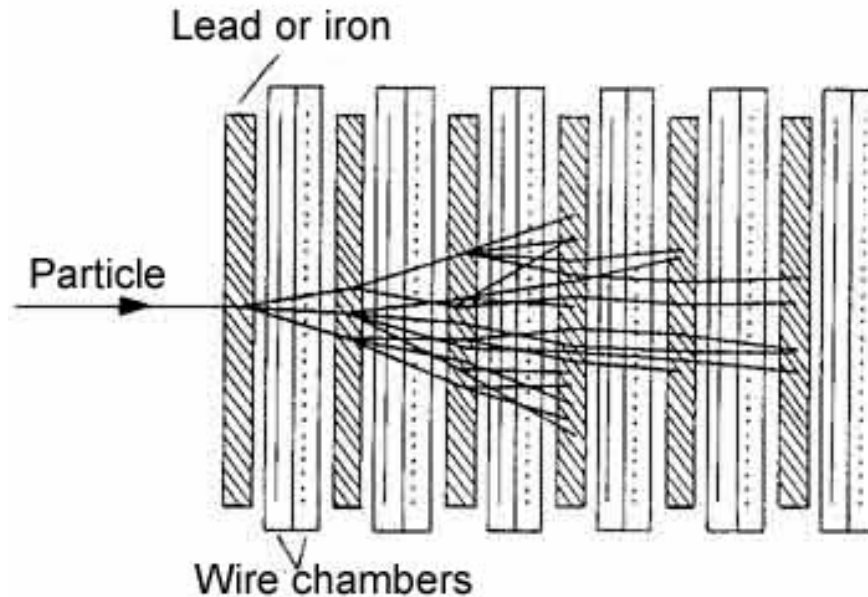
**Αδρονικά** για τη μέτρηση της ενέργειας αδρονίων. Το εισερχόμενο αδρόνιο αντιδρά με τα νουκλεόνια του υλικού παράγοντας δευτερογενή σωματίδια, τα οποία αντιδρούν με τη σειρά τους έως ότου η ενέργεια τους δεν επαρκεί για νέες αντιδράσεις και απορροφώνται.

# Ηλεκτρομαγνητικό καλορίμετρο με κρυστάλλους lead glass

Τα ηλεκτρόνια και οι ακτίνες γάμα, δημιουργούν Η.Μ. καταιονισμούς. Ανιχνεύουμε το φως που εκπέμπεται από την ακτινοβολία Cerenkov.



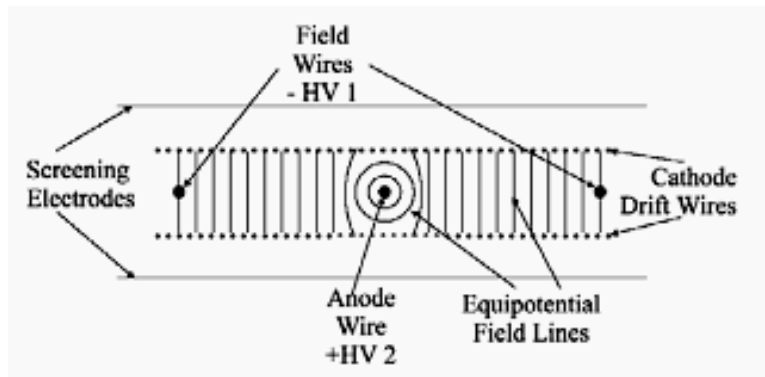
# Αδρονικά Καλορίμετρα, από πλάκες μετάλλου για μετρήσεις αδρονίων.



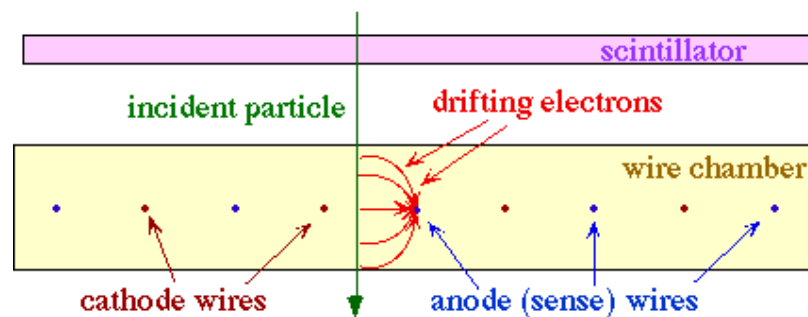
Χρησιμοποιούμε πλάκες από μέταλλο με μεγάλη πυκνότητα, ώστε να αυξηθεί η πιθανότητα αντίδρασης και η απορρόφηση ενέργειας. Σκοπός είναι, ο καταιονισμός που δημιουργείται, να περιέχεται στο καλορίμετρο.

Ενδιάμεσα στις πλάκες, χρησιμοποιούμε θαλάμους συρμάτων και μετράμε τη θέση, τον αριθμό και τον ιονισμό των δευτερογενών. Από την ενέργεια που αποτίθεται υπολογίζουμε την ενέργεια του αρχικού σωματιδίου. Χρησιμοποιείται κυρίως για αδρόνια που είναι πολύ διεισδυτικά.

# Θαλάμου Ολίσθησης. Αρχή λειτουργίας

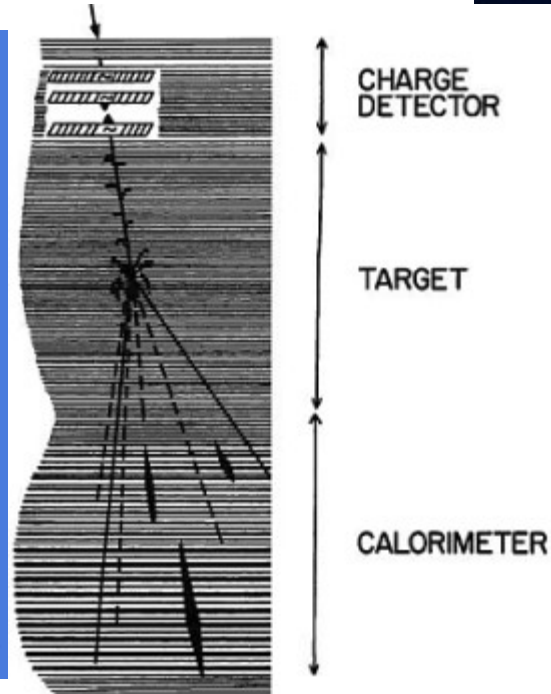
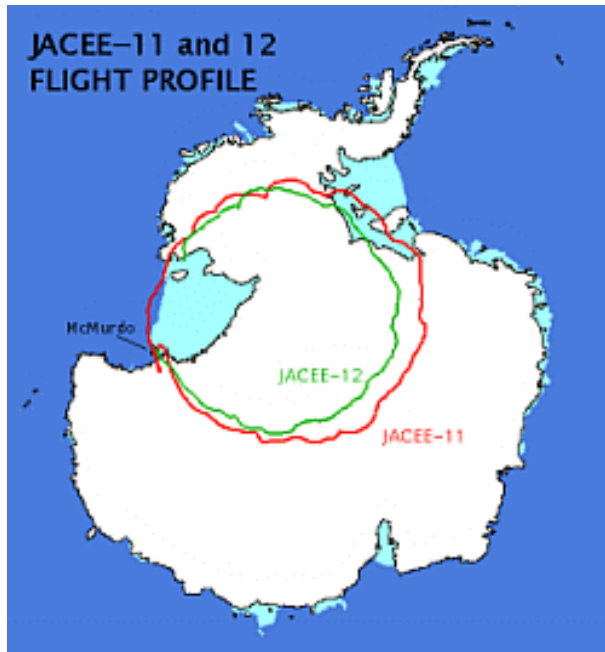


- Αέριο, συνήθως  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , τα παραγόμενα ηλεκτρόνια κινούνται με ταχύτητα ολίσθησης προς την άνοδο.
- Στην άνοδο δημιουργείται χιονοστιβάδα.
- Καταγράφουμε τον χρόνο ολίσθησης, που είναι ανάλογος με την απόσταση από το σύρμα της ανόδου.
- Η θέση της τροχιάς είναι το άθροισμα της θέσης του σύρματος συν την απόσταση ολίσθησης  $d = v_d t_d$ .

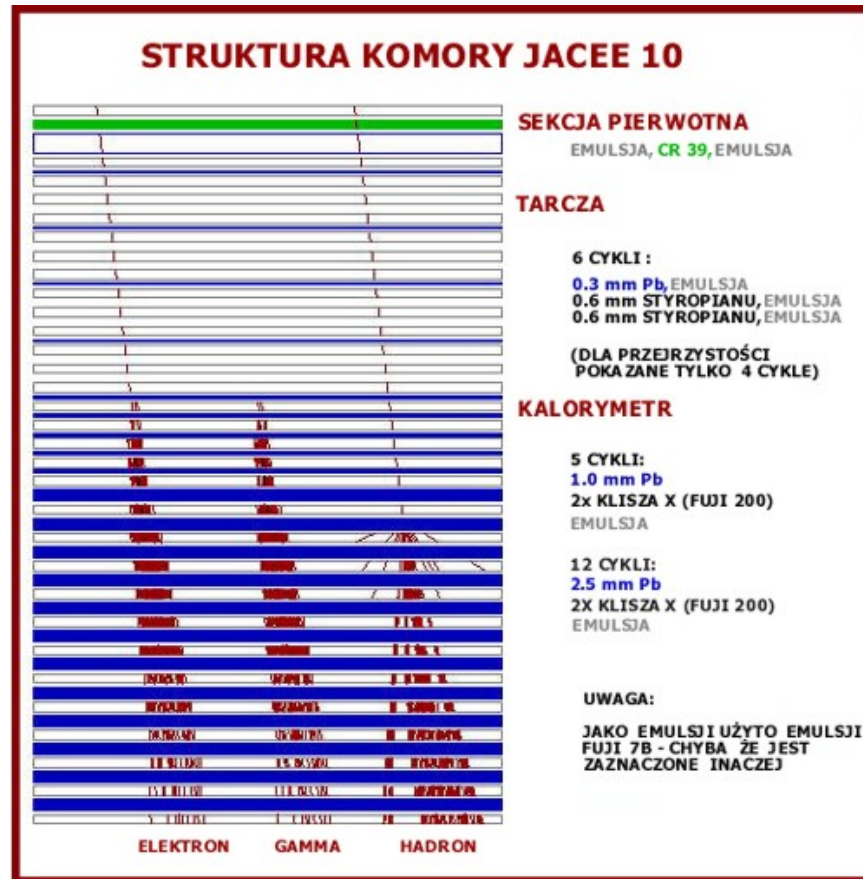


- Πολύ καλή ακρίβεια  $100 \mu - 200 \mu$
- Καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες
- Ευαίσθητη κατασκευή
- Αέρια
- Υψηλή τάση

# Πείραμα JACEE



# Jacee



Ανιχνευτής  
τροχιάς.

Καλορίμετρο.

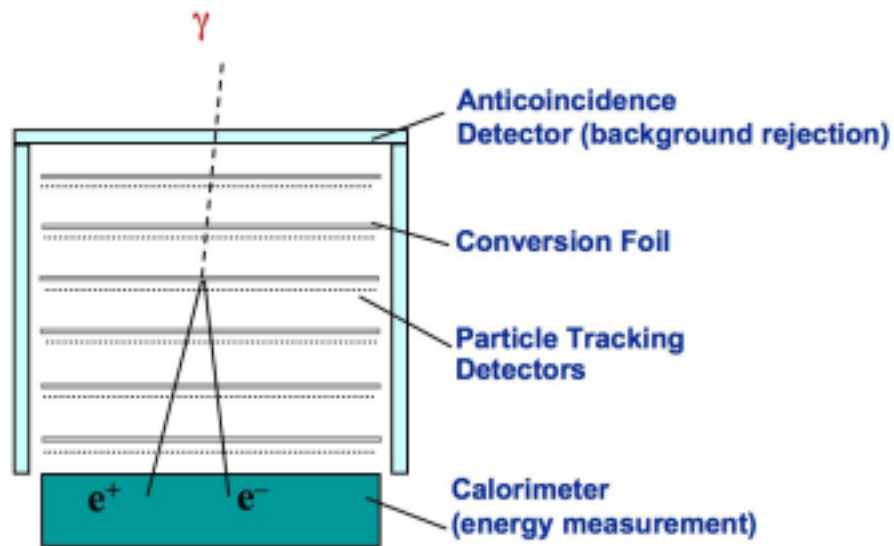
Ένα είδος καλορίμετρου, που ανάμεσα στις πλάκες μολύβδου τοποθετείται φίλμ ακτίνων X. Από τον ιονισμό στο φιλμ προσδιορίζουν το είδος του πυρήνα. Από το προφίλ του καταιονισμών που δημιουργούνται, υπολογίζουν την ενέργεια του σωματιδίου. Έχει μετρήσει ενέργεια πύρήνων μέχρι 100 TeV.

# Δορυφορικά Πειράματα

Φασματογράφοι με μαγνήτη ή χωρίς μαγνήτη, μικρογραφίες των πειραμάτων που γίνονται σε επιταχυντές.

Κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη. Ο χρόνος παραμονής από λίγα ως πολλά χρόνια, δίνει τη δυνατότητα για μετρήσεις με υψηλή στατιστική.

# Ανιχνευτής ακτίνων γάμα GLAST Fermi Gamma-ray Space Telescope



Λεπτά φύλλα μολύβδου χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των ακτίνων  $\gamma$  σε ζεύγη. Ακολουθούνται από επίπεδα silicon strip, τα οποία μετρούν την τροχιά των φορτισμένων σωματιδίων. Ο ανιχνευτής με μπλόκ CsI, μετρά την ολική ενέργεια του φωτονίου.



Φωτόνια (20 MeV) μέχρι (300 GeV)

# Resolution – Silicon Tracker

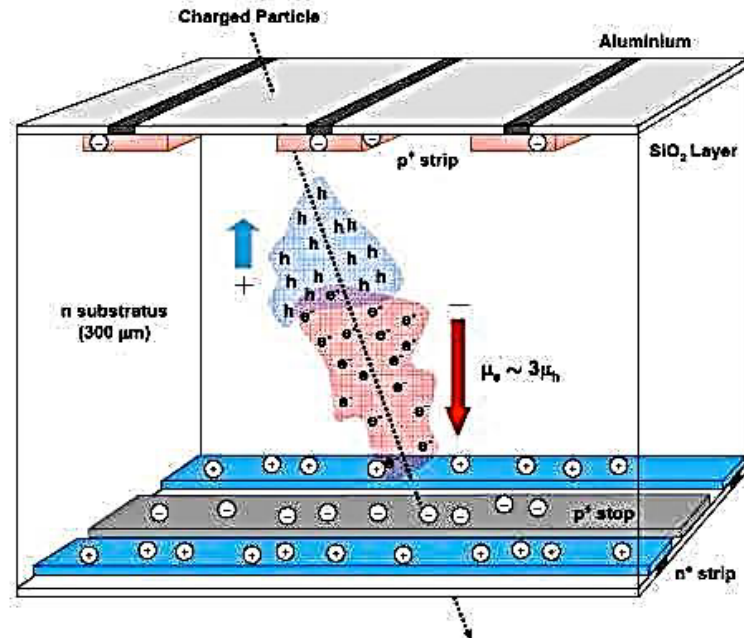
- Important factors  
**Strip readout pitch**

## Ανιχνευτής Πυριτίου.

Το φορτισμένο σωματίδιο ιονίζει και δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων και οπών.

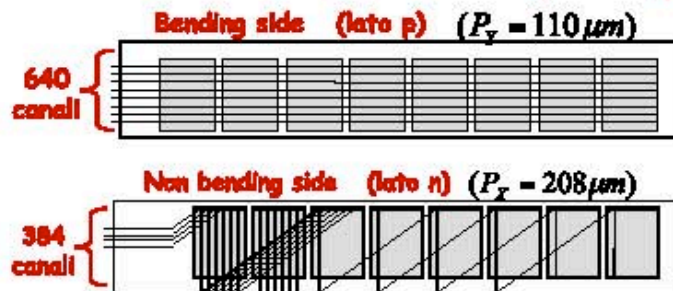
Οι φορείς κινούνται προς τα ηλεκτρόδια, όπου εμφανίζεται ηλεκτρικός παλμός.

Στις δύο όψεις της πλάκας εφαρμόζεται μικρή τάση 50-100 V. Λόγω του μικρού πάχους του υποστρώματος η ένταση του πεδίου είναι μεγάλη.

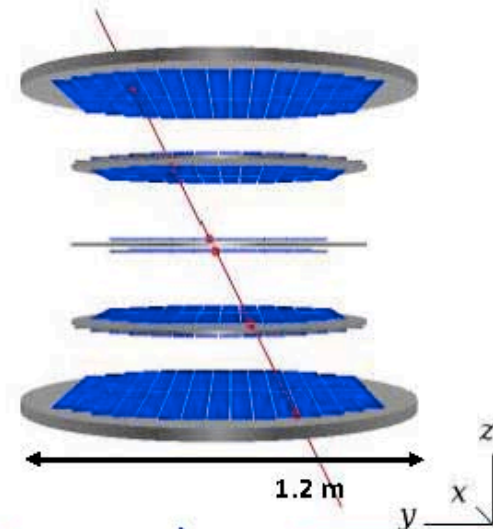
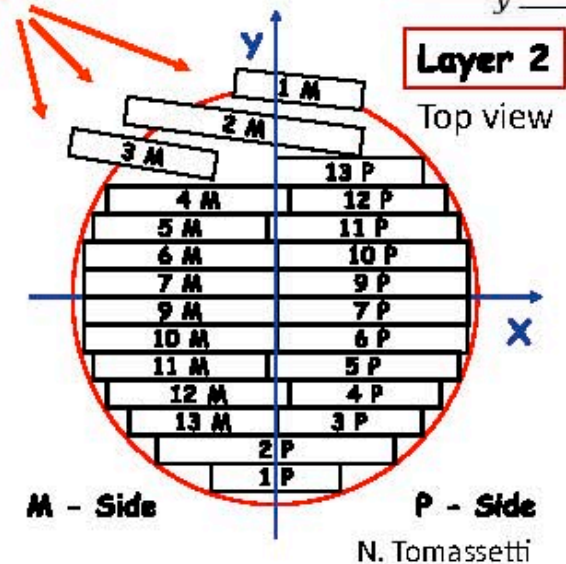


# AMS-02 Silicon Tracker

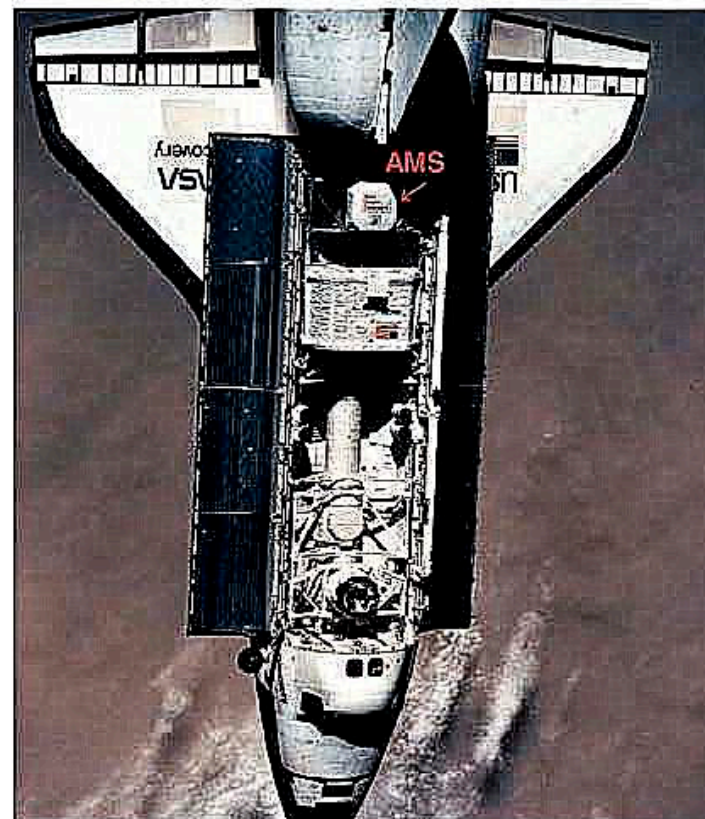
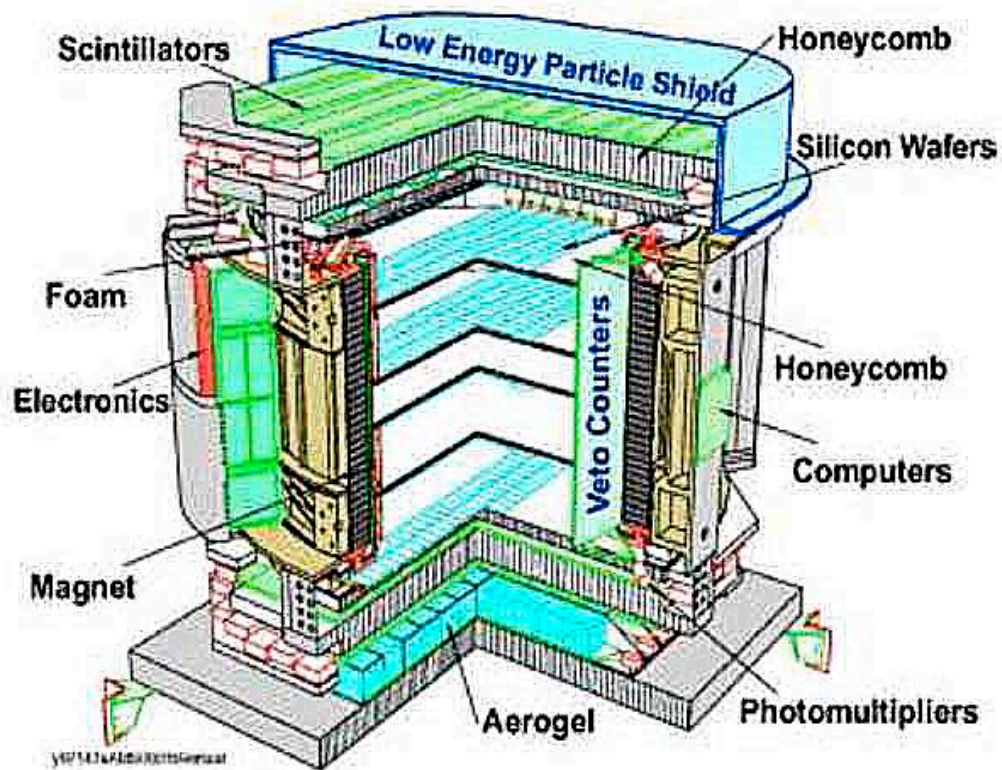
- Tracker : 192 ladders in 8 layers
- Ladder : 7~5 silicon sensors
- Sensor : Double-sided, 640(p)+384(n) ch



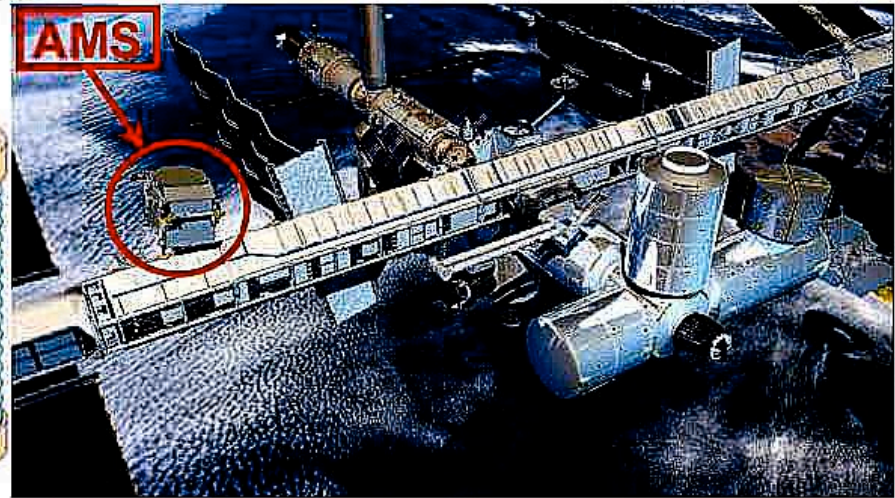
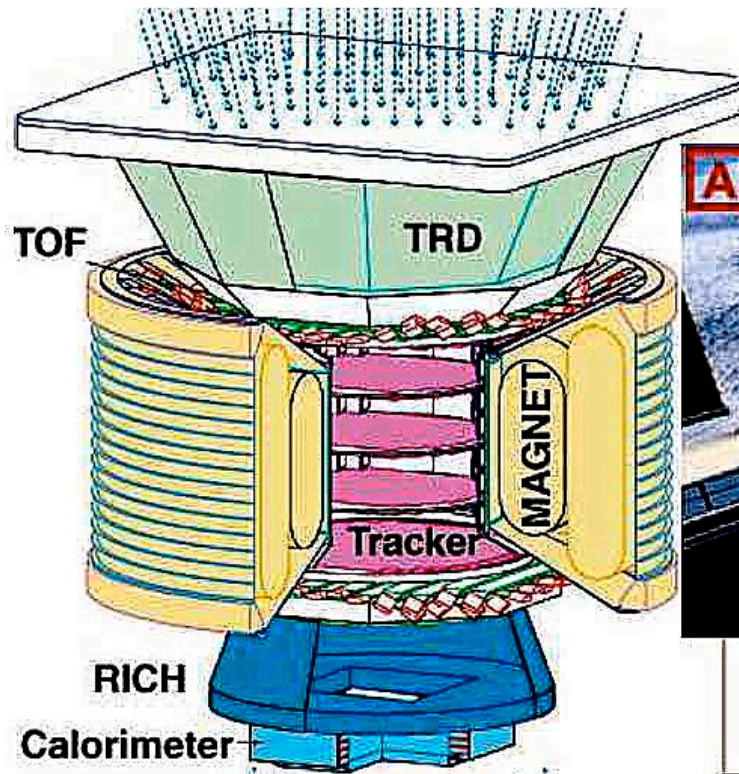
**Ladder**



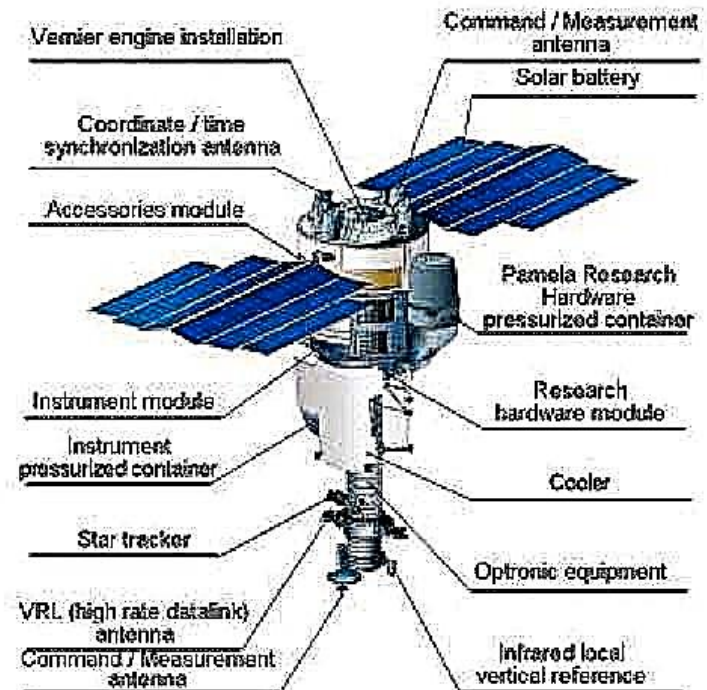
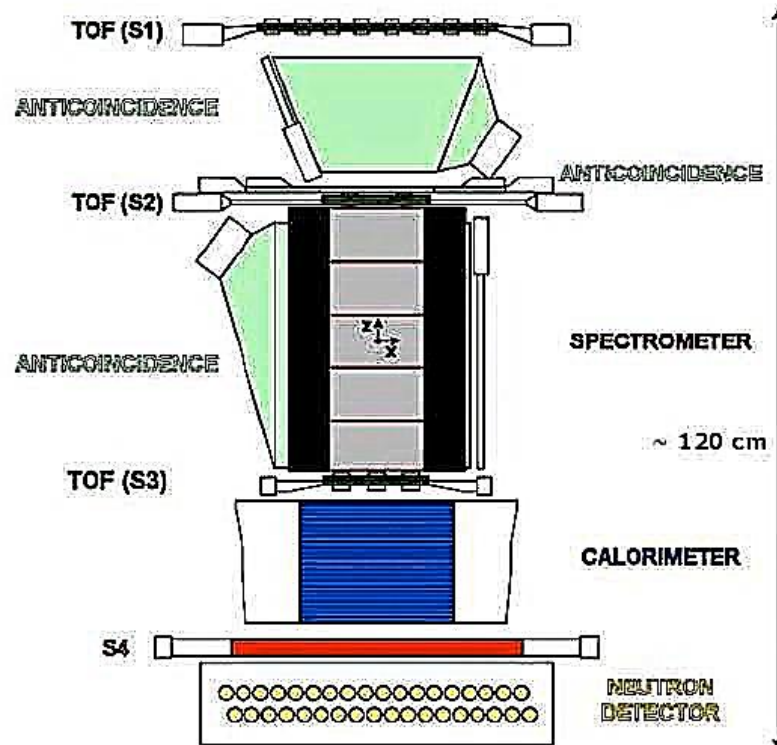
# AMS-01 – 1998



# AMS-02 – 2010 ~



# PAMELA – 2006 ~



# PAMELA σχεδιάγραμμα

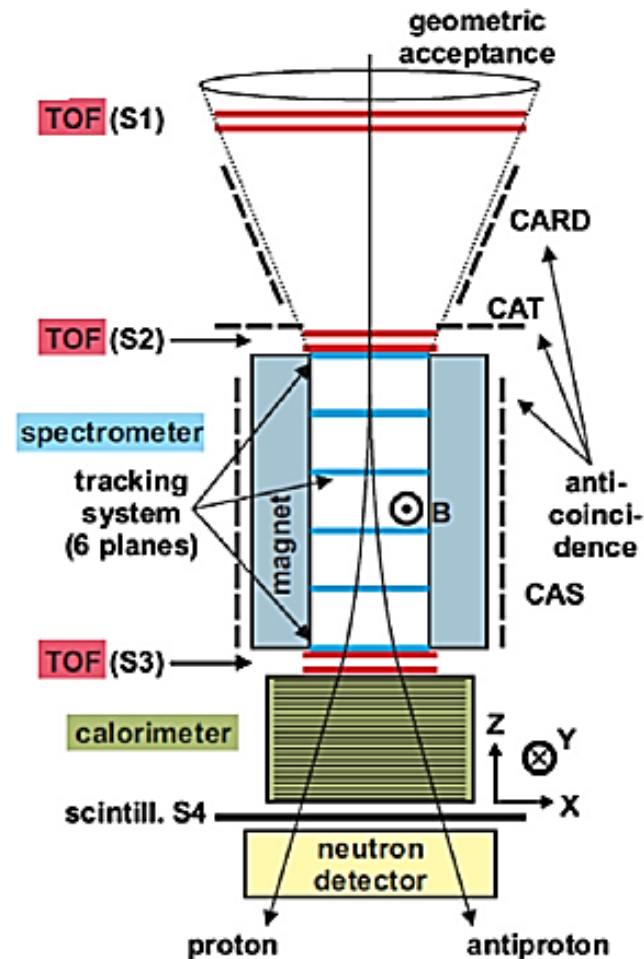


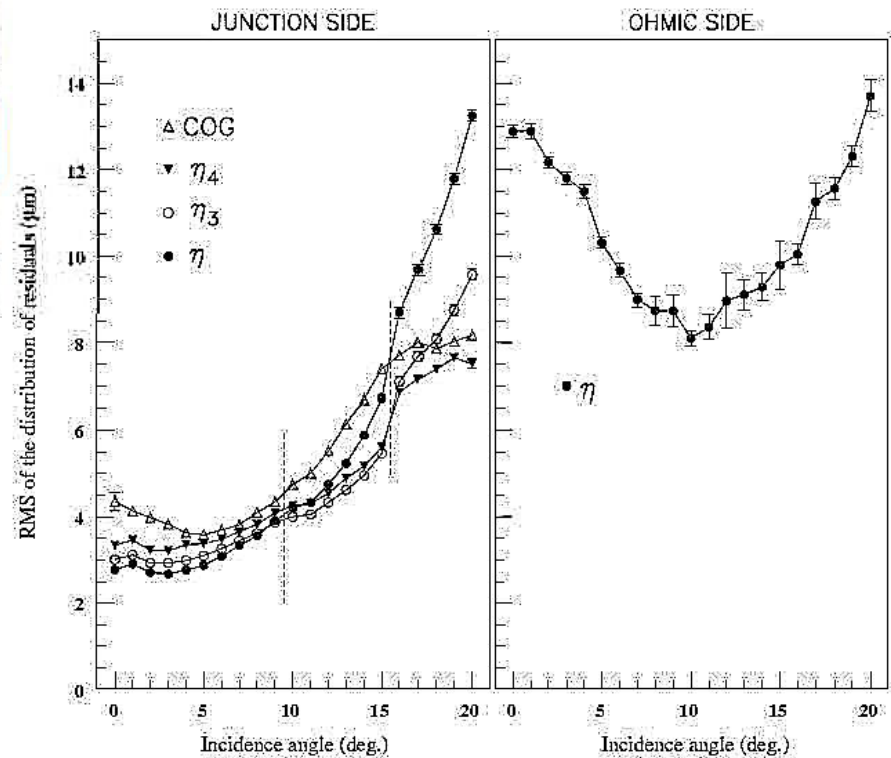
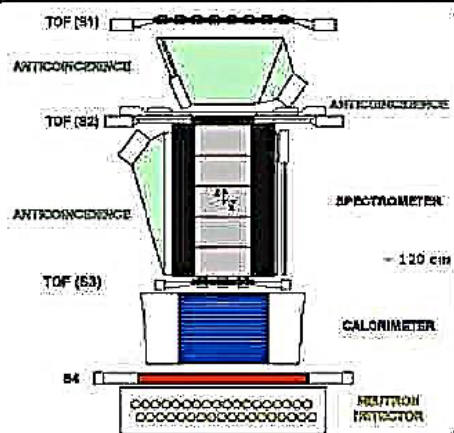
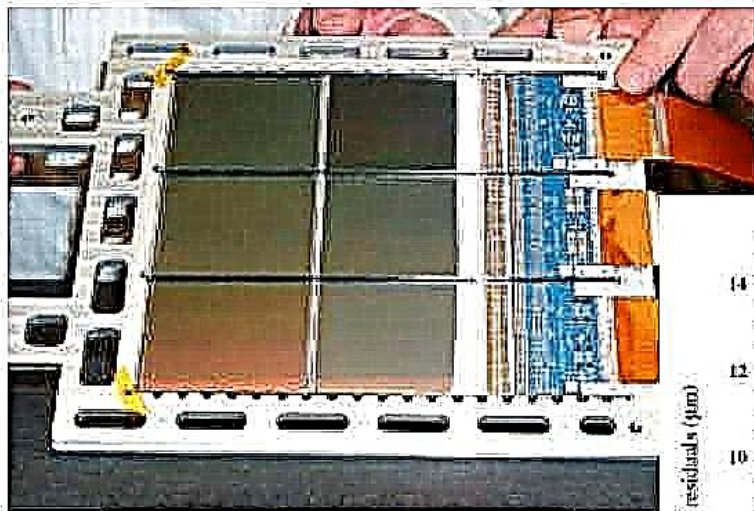
Fig. 1. A sketch of the PAMELA telescope. The method of discrimination between particle and antiparticle with the magnetic spectrometer is illustrated. The main direction of the magnetic field  $B$  inside the spectrometer is also shown.

# σημείωση

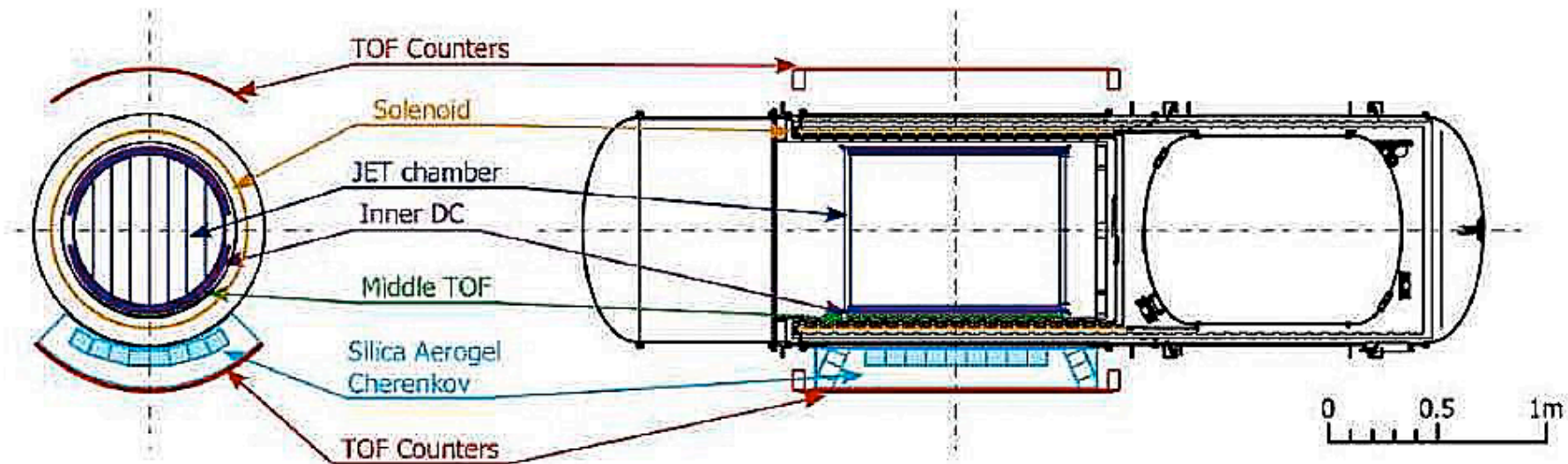
| Particle                | Energy Range                               |
|-------------------------|--------------------------------------------|
| Antiproton flux         | 80 MeV – 190 GeV                           |
| Positron flux           | 50 MeV – 270 GeV                           |
| Electron flux           | up to 400 GeV                              |
| Proton flux             | up to 700 GeV                              |
| Electron/positron flux  | up to 2 TeV                                |
| Light nuclei (up to Z=6 | up to 200 GeV/n                            |
| Light isotopes (D, 3He) | up to 1 GeV/n                              |
| Antinuclei search       | sensitivity better than $10^{-7}$ antiHe/H |

The PAMELA apparatus, shown in Fig. 1, is composed of several sub-detectors: TOF system, anticoincidence system (CARD, CAS, CAT), magnetic spectrometer with microstrip silicon tracking system, W/Si electromagnetic imaging calorimeter, shower-tail-catcher scintillator (S4) and neutron detector.

# PAMELA silicon tracker



# BESS-Polar – 2004, 2007



# Πειράματα με αερόστατα. BESS

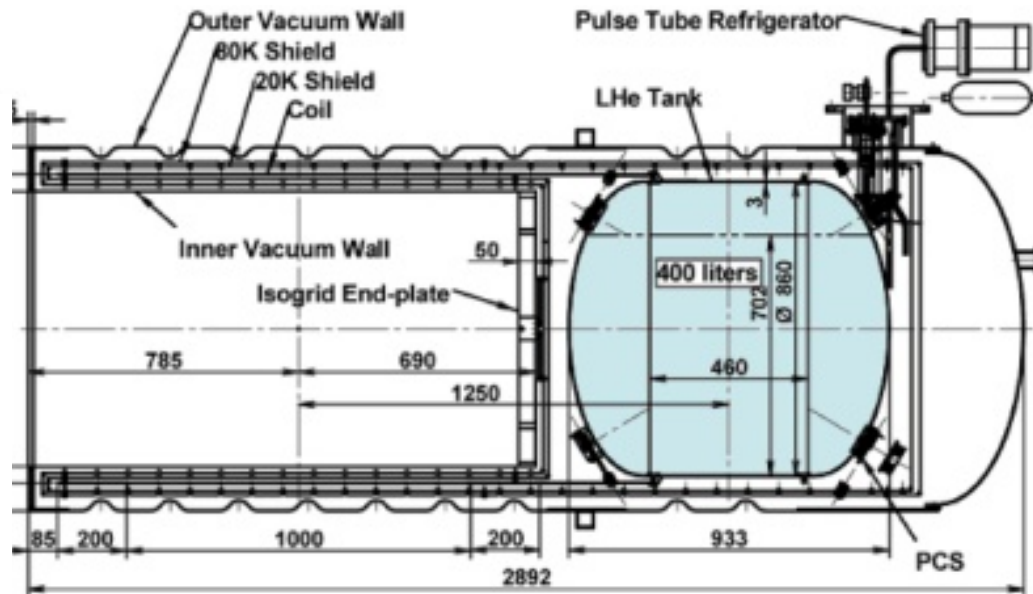
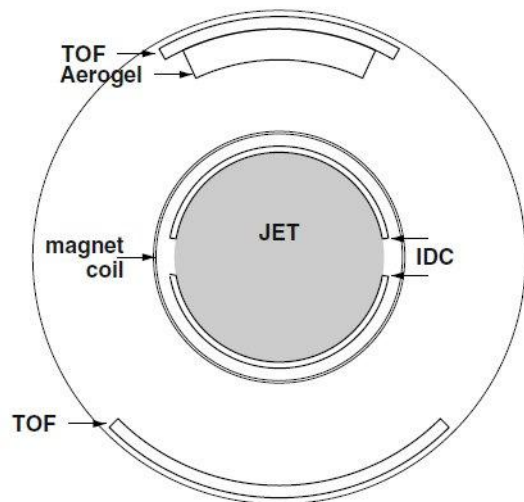


Fig. 5.3. The BESS detector (not to scale).

Εξωτερικοί σπινθηριστές μετρούν χρόνο πτήσης, θάλαμοι ολίσθησης μετρούν την τροχιά, ελαφρύ υπεραγωγίμο πηνίο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, εσωτερικοί θάλαμοι ολίσθησης για τον υπολογισμό της ορμής.



# Διατομή ανιχνευτή BESS

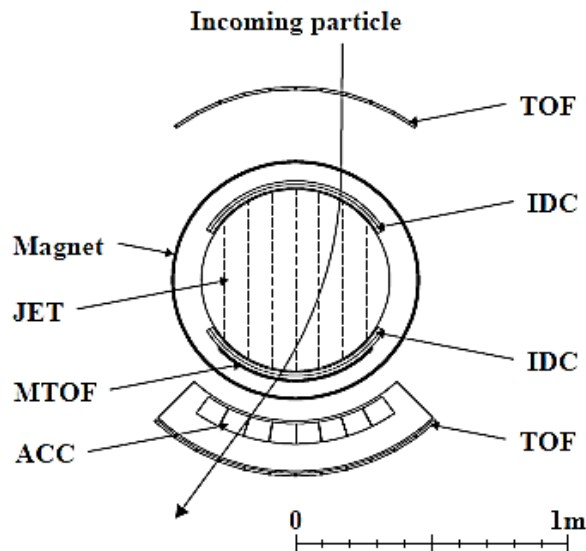


Fig. 1. Cross-sectional view of the BESS-Polar spectrometer.

TOF scintillator hodoscope

Supeconductive coil

IDC inner drift chamber

MTOF middle time of flight  
(hodoscope)

ACC aerogel cerencov counter

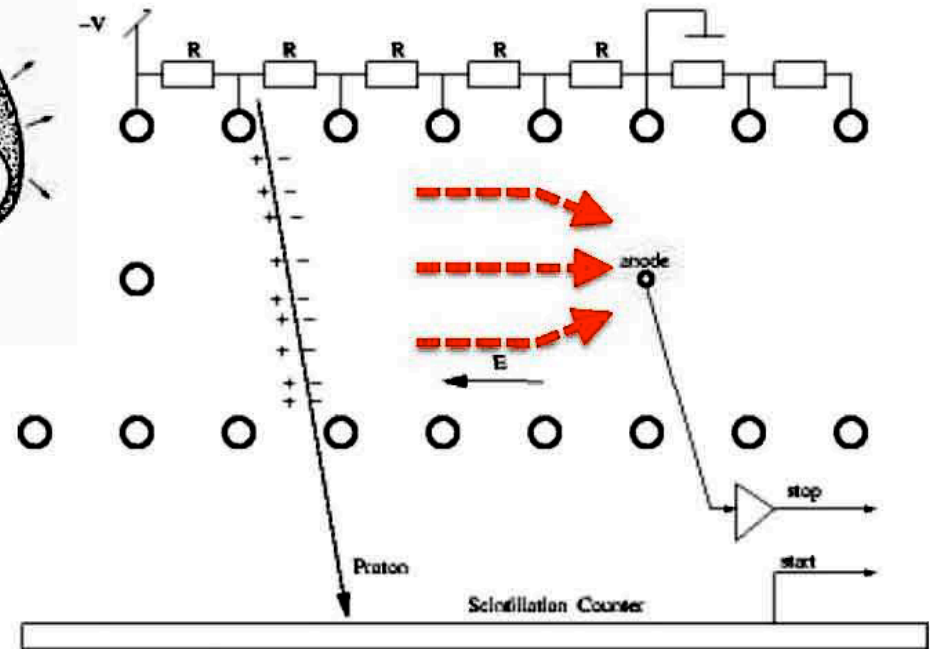
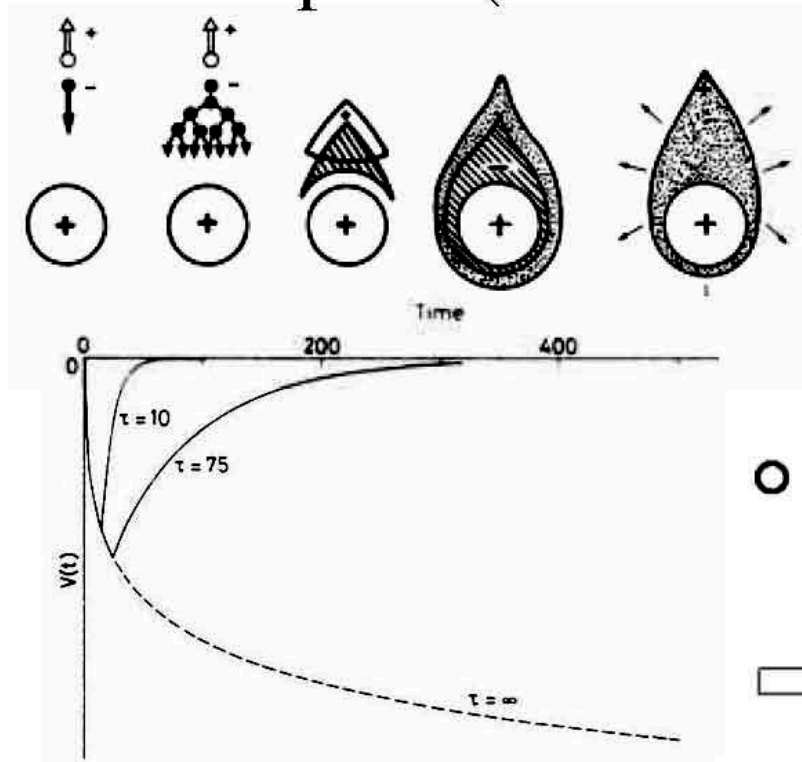
Σχεδιασμένος να μετρά  $p$  και πυρήνες He, καθώς και αντιπρωτόνια.

# Drift Chamber

## Λειτουργία θαλάμου ολίσθησης

- Basic principle

When arrived at anode(sense) wire pairs are multiplied (avalanche)  $\rightarrow$  detected as signal



$$\text{Drift Distance} = \text{Drift Velocity} \cdot \text{Time}$$

# BESS Drift chamber (JET type)

