

ΚΟΣΜΙΚΕΣ ΑΚΤΙΝΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

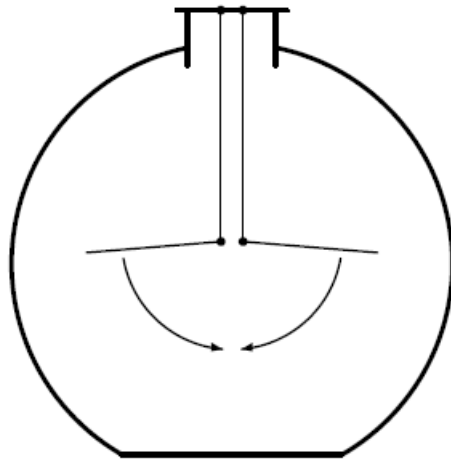
Βιβλιογραφία

- Interpretation of Cosmic-Ray Phenomena, Bruno Rossi, Reviews of Modern Physics vol. 20, n 3, 1948.
- B. Rossi, "High Energy Particles", Prentice Hall 1965.
- Cosmic Rays A.M.Hillas, Pergamon Press, 1972.

ΙΣΤΟΡΙΑ

Πειράματα Hess με ηλεκτρόμετρο.

Απόδειξε ότι ο ιονισμός προκύπτει
από ροή ακτίνων που έρχονταν από
το διάστημα.

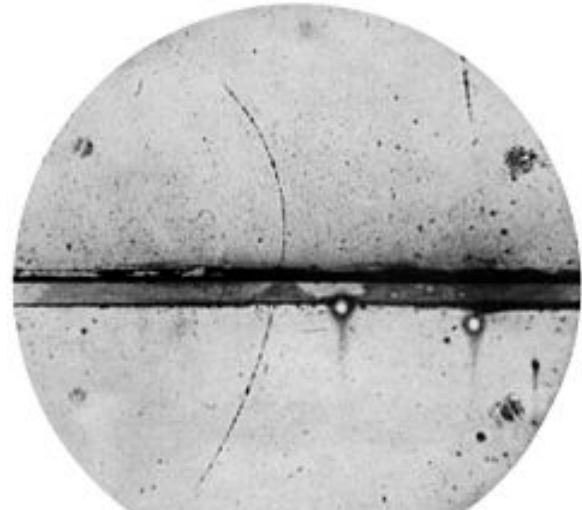


Ανακαλύψεις σωματιδίων

1932 Anderson και Millikan
Ποζιτρόνιο.

1933 ο Ochialini
καταιονισμοί, $e^+ e^-$.

1936 Anderson και
Neddermeyer μιόνιο.

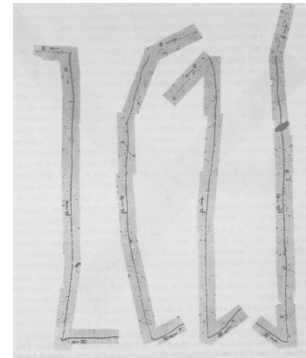
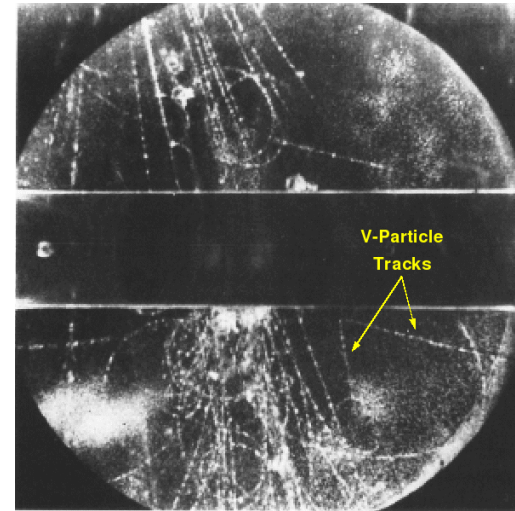


1947 Blackett K^+ , K^-
 , K^0 Λ

1947 Powell

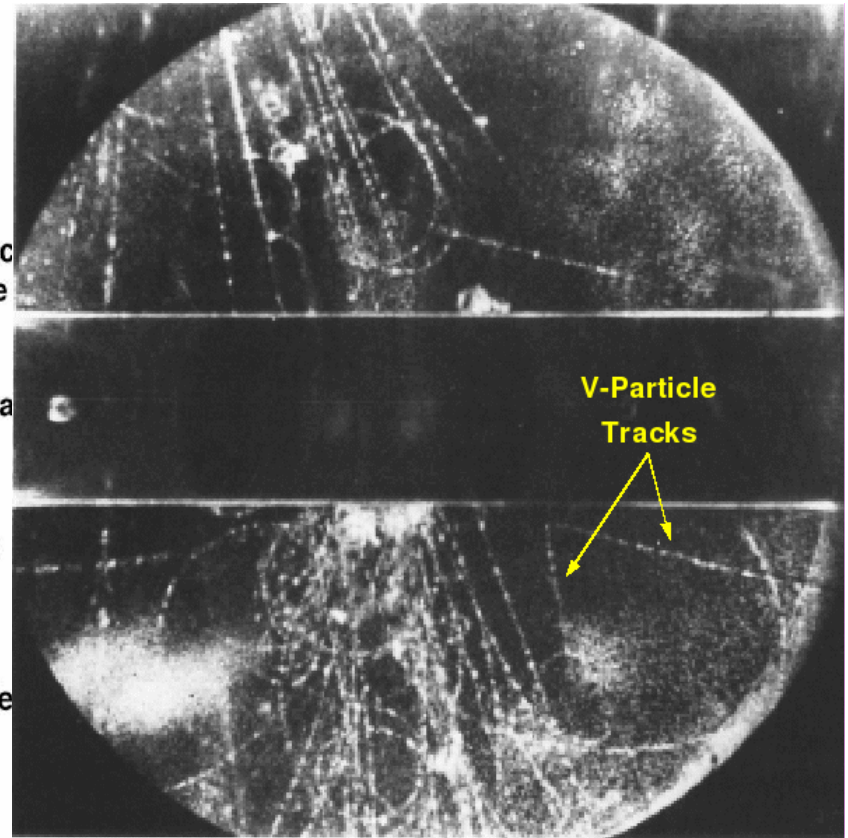
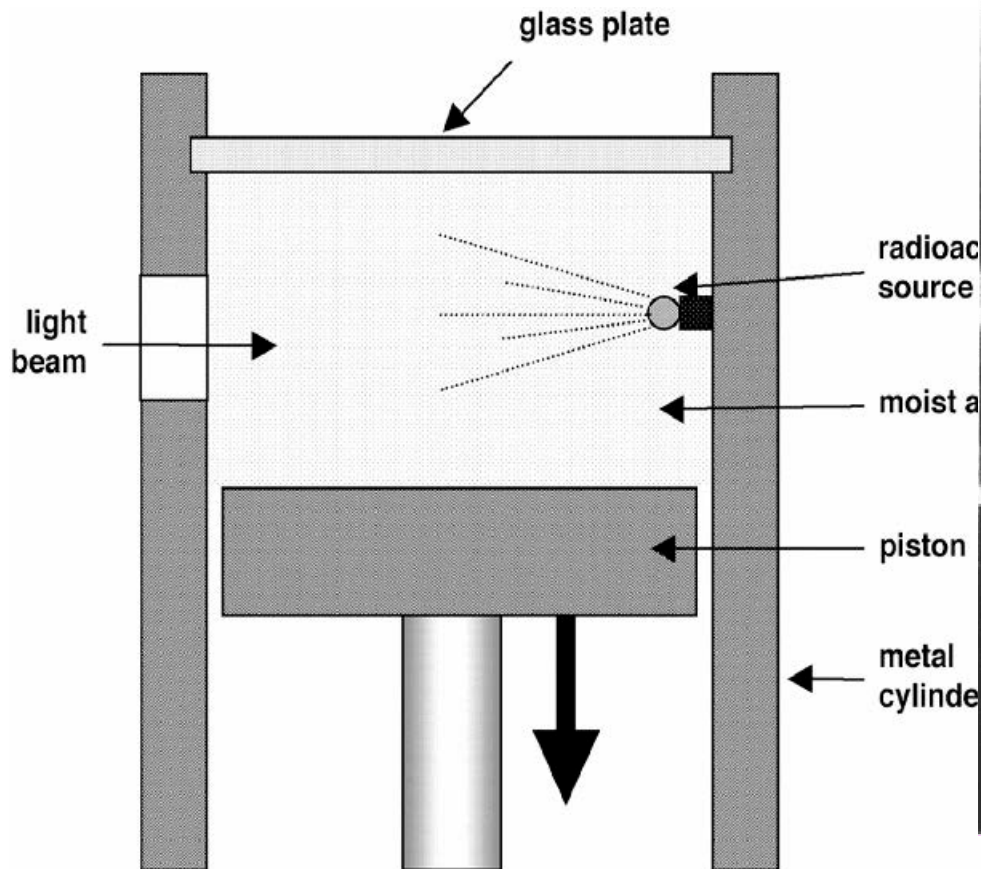
φορτισμένα πιόνια π^+
 και π^-

1947 Occhialini Conversi
 Διάσπαση πιονίου.



Πρώτοι ανιχνευτές

Θάλαμος νέφωσης (cloud Chamber).



Σωλήνες Geiger-Muller, Κύκλωμα Σύμπτωσης

66

B. ROSSI AND N. NERESON

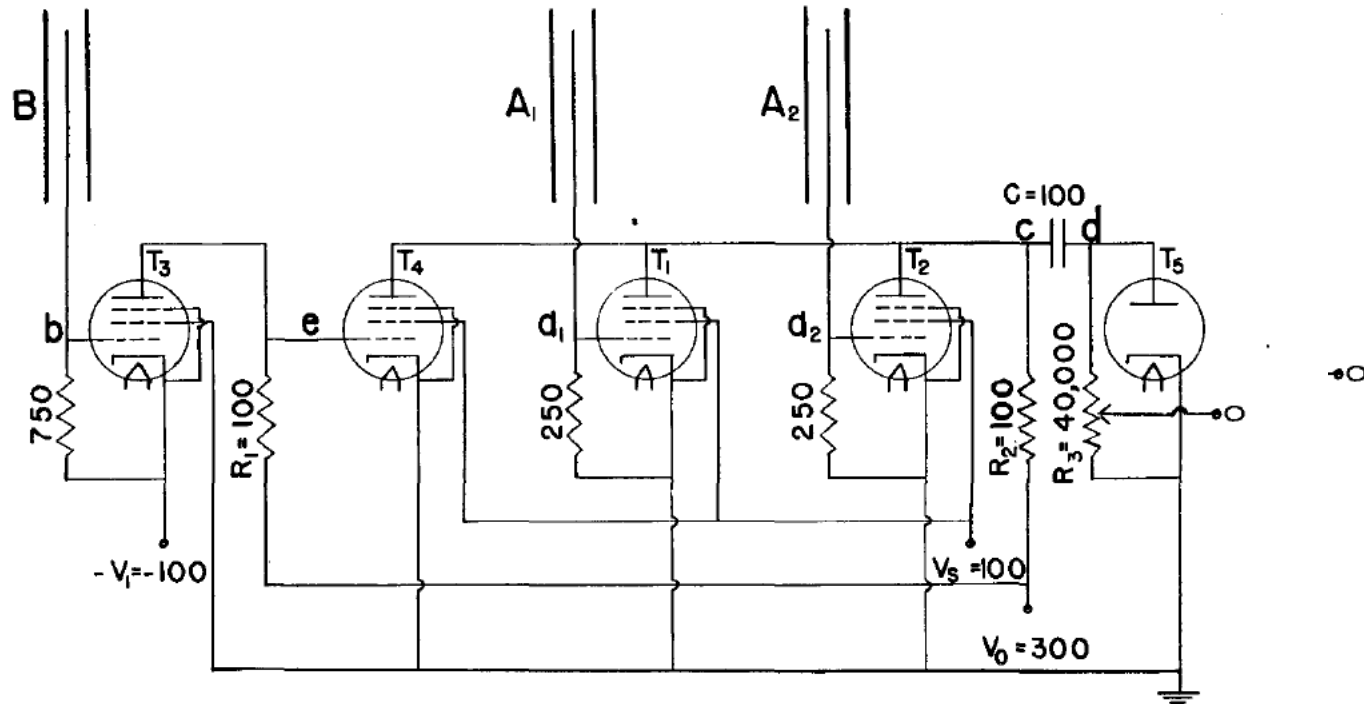
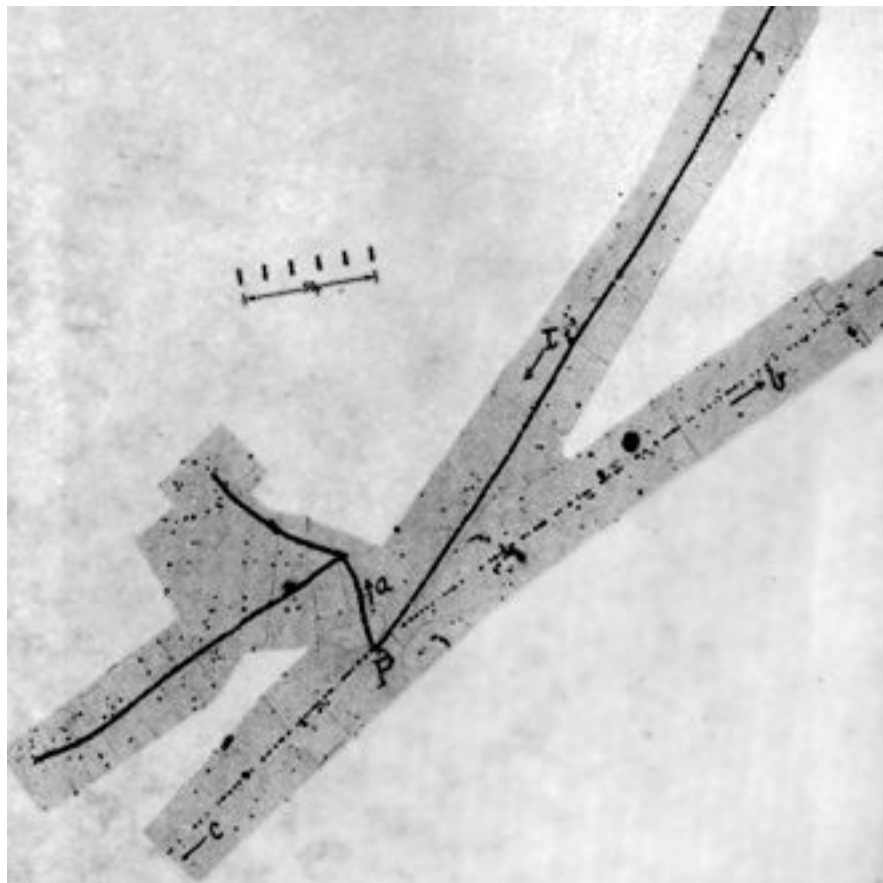


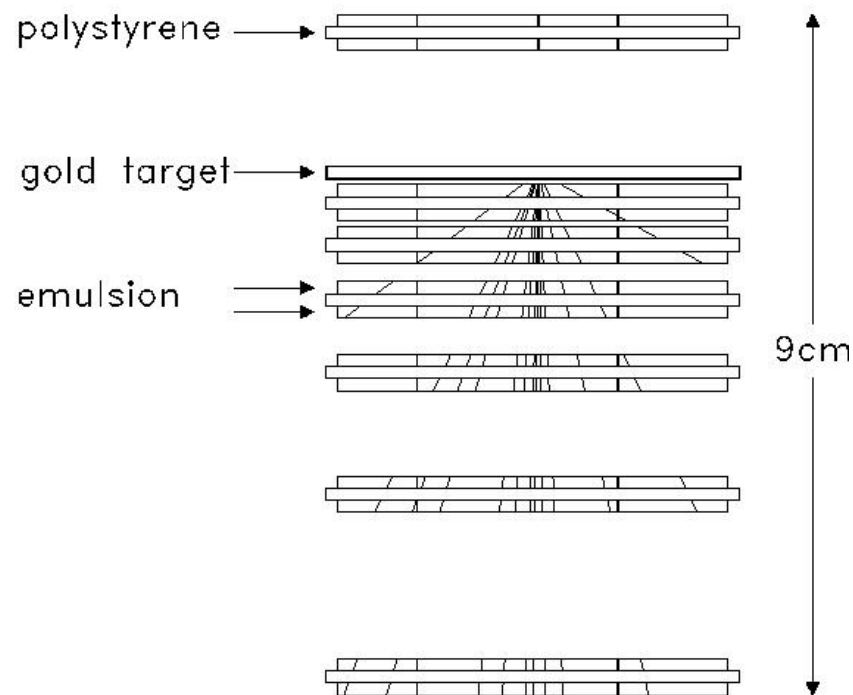
FIG. 1. "Time circuit." T_1 , T_2 , T_3 , T_4 are 6J7 tubes. Resistances are measured in 10^3 ohms, capacities in μmf , potentials in volts.

Φιλμ (nuclear emulsion).



Ένα K^+ διασπάται σε $\pi^+ \pi^+ \pi^-$

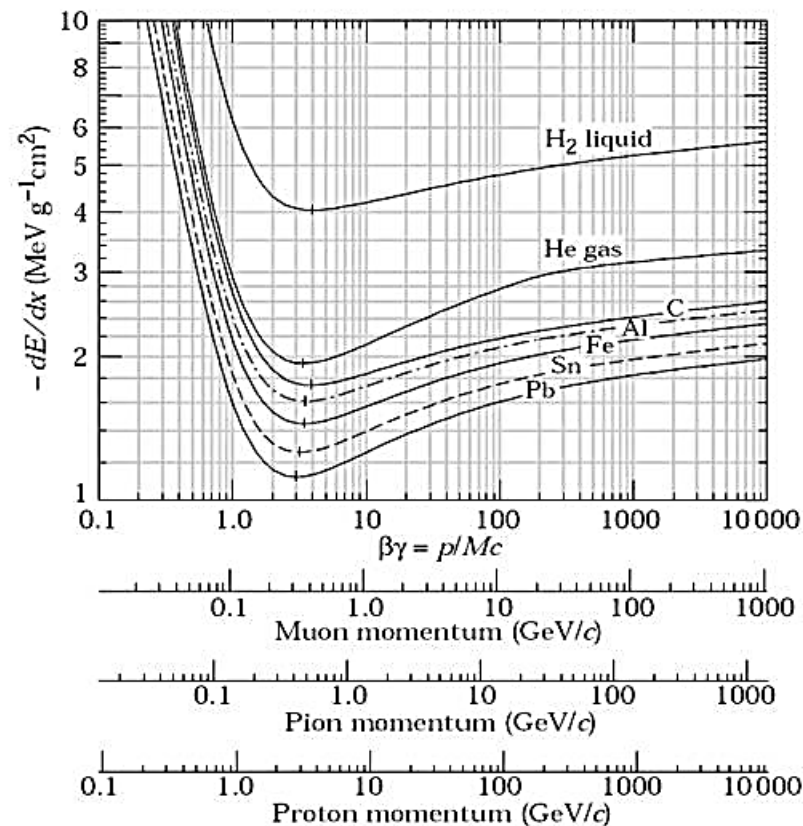
EMU01 Chamber Design



Νεώτερη κατασκευή

Απώλειες Ενέργειας

Bethe-Bloch for Different Materials



The Σωματίδια που βρέθηκαν με emulsion stack

The Discovery of new particles by using Nuclear Emulsions

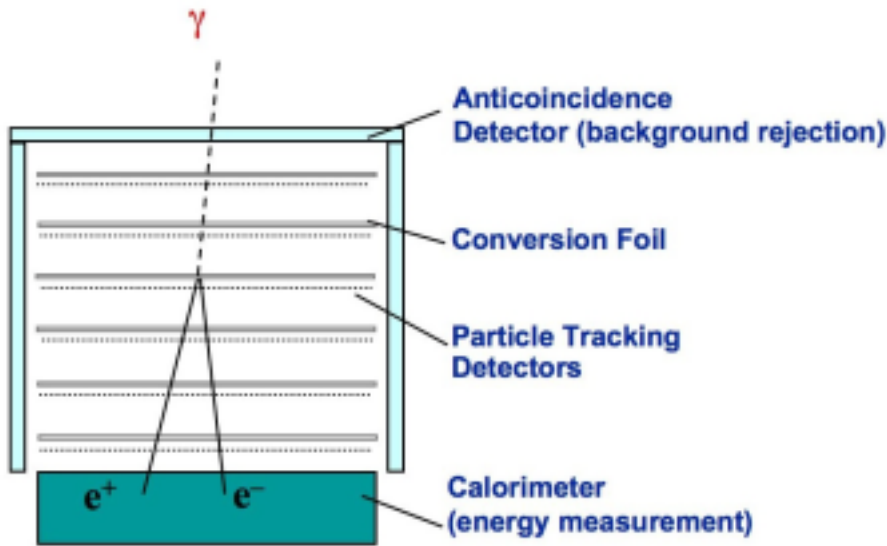
- In 1947, π^+ and π^- were discovered by Powell.
- In 1947, K^+ and K^- were discovered.
- In 1953, Σ^+ was discovered by A. Bonetti.
- In 1958, Anti Λ^0 was discovered by Baldo Ceolin.
- In 2001, ν_τ was discovered by DONut collaboration.

The Discovery of new particles by using Various Detectors

Particle	Instrument
π^+ and π^-	Nuclear Emulsion
π^0	Counters and Emulsion
Λ	Cloud Chamber
K^+ and K^-	Nuclear Emulsion
K^0	Cloud Chamber
Σ^+	Nuclear Emulsion
Σ^-	Cloud Chamber
Σ^0	Bubble chamber
Ξ^-	Cloud Chamber
Ξ^0	Bubble Chamber
Anti Λ^0	Nuclear Emulsion

Δορυφορικά Πειράματα

Ανιχνευτής ακτίνων γάμμα GLAST



Διαδοχικά επίπεδα transition radiation μετρούν τη θέση των φορτισμένων σωματιδίων ανιχνευτής γαλιού μολύβδου, μετρά την ολική ενέργεια του φωτονίου.



Πειράματα με αερόστατα.

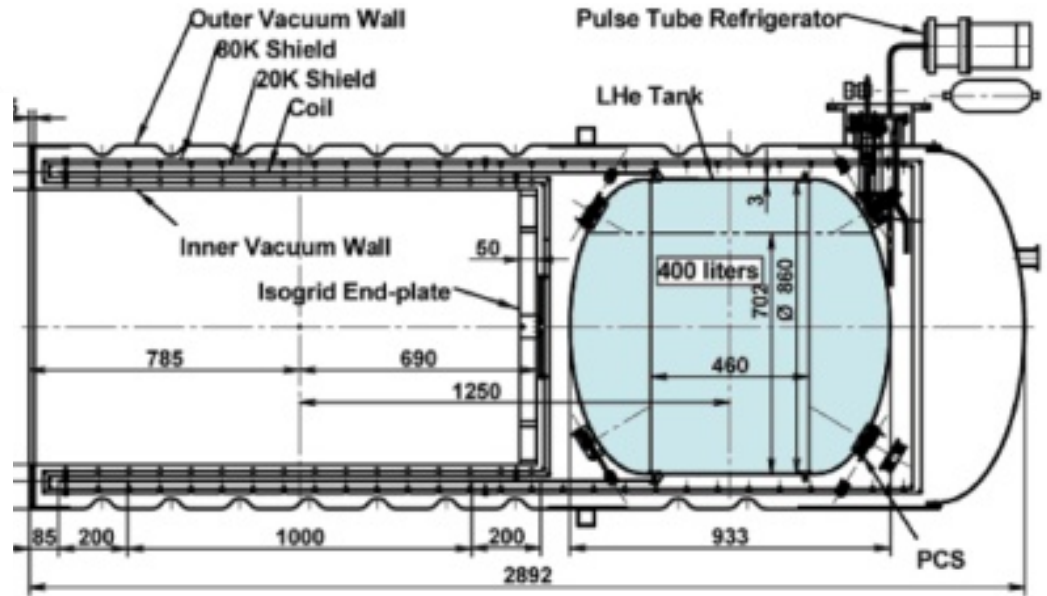
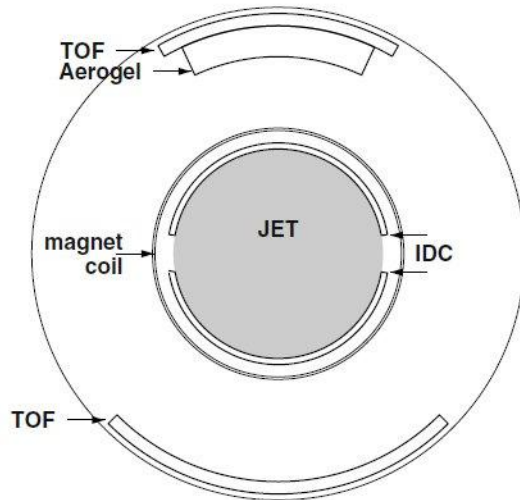
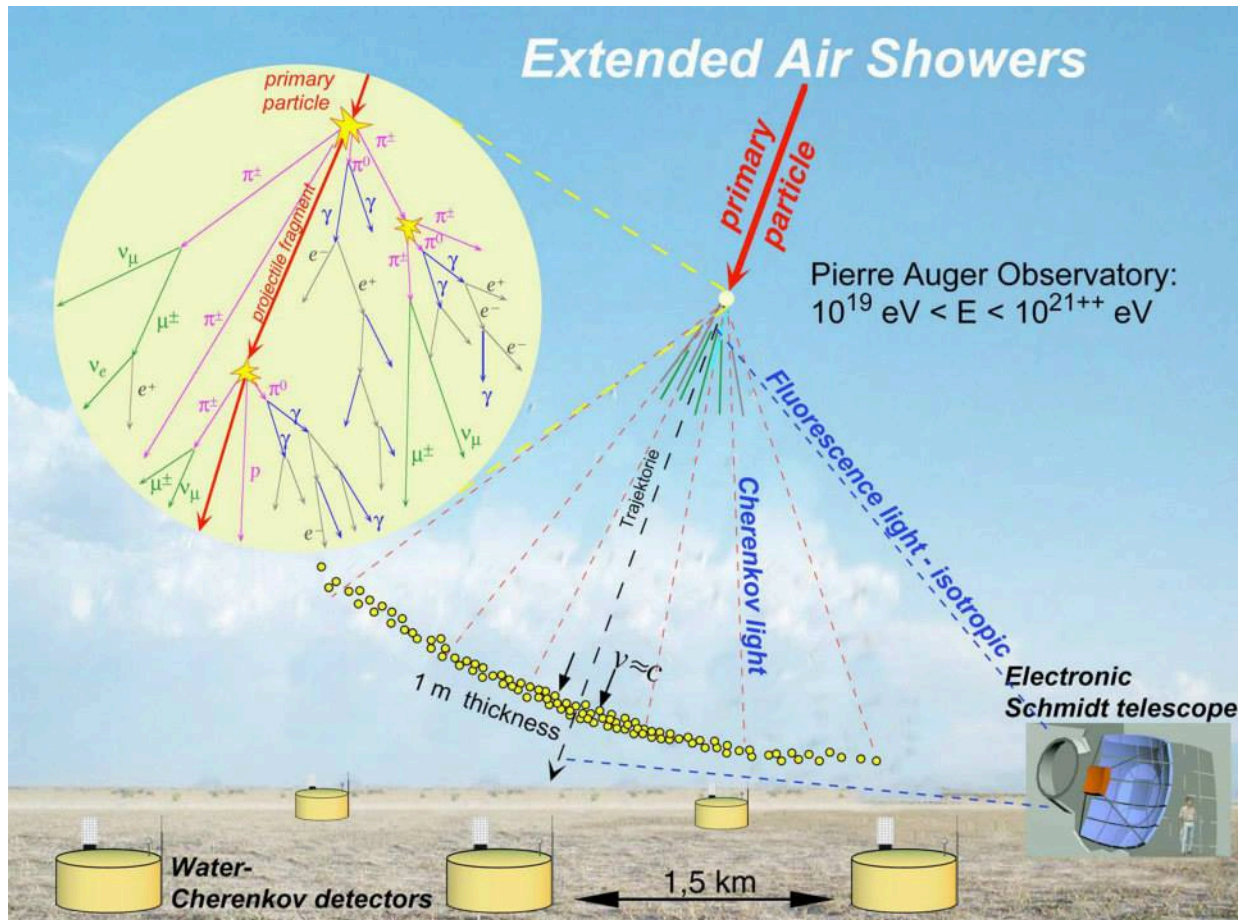


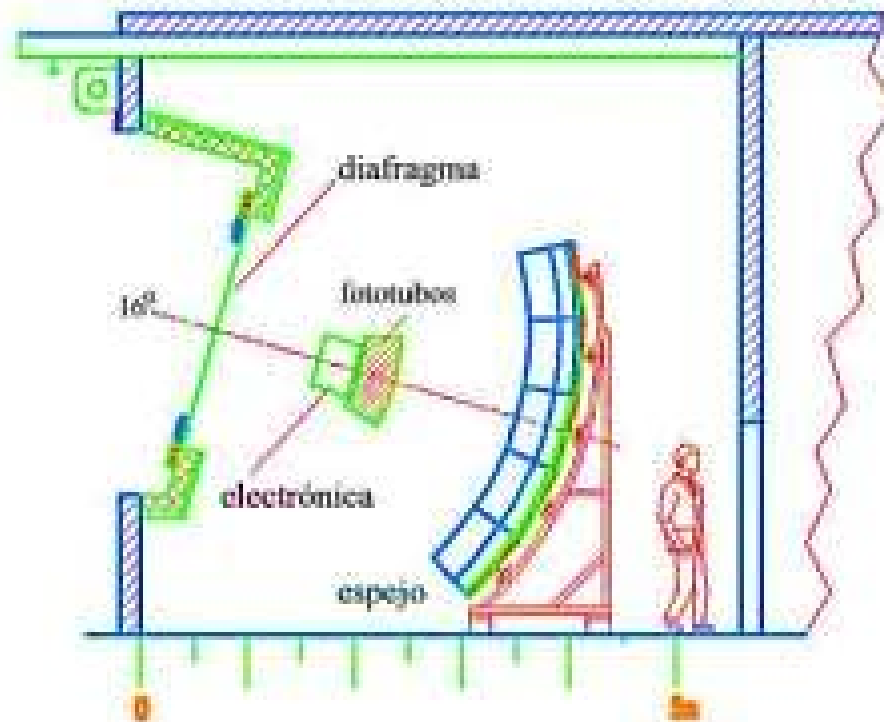
Fig. 5.3. The BESS detector (not to scale).

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

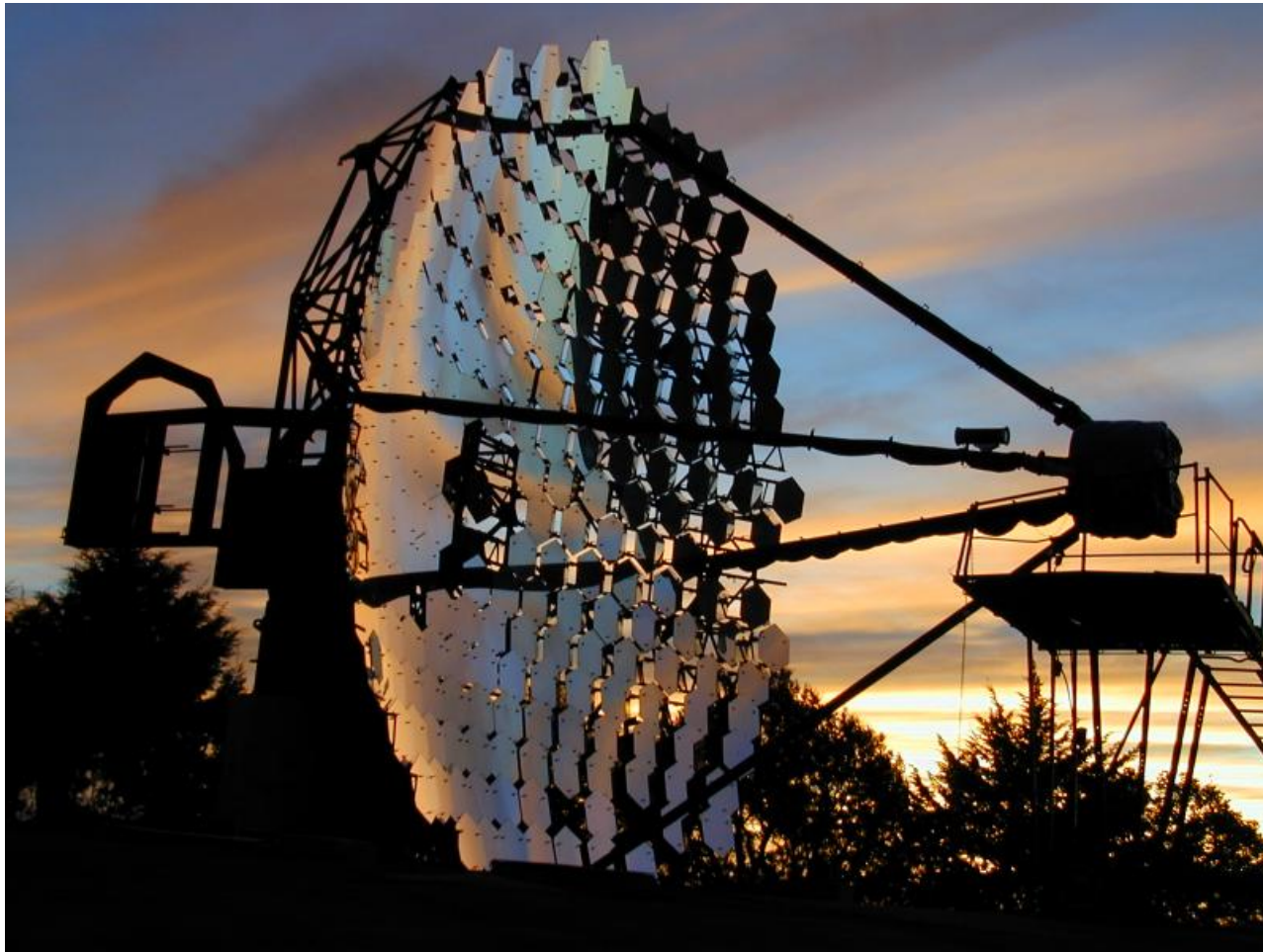


Πειράματα Καταιονισμών Υψηλής Ενέργειας





Καταιονισμοί Ακτίνων γ Υψηλής Ενέργειας

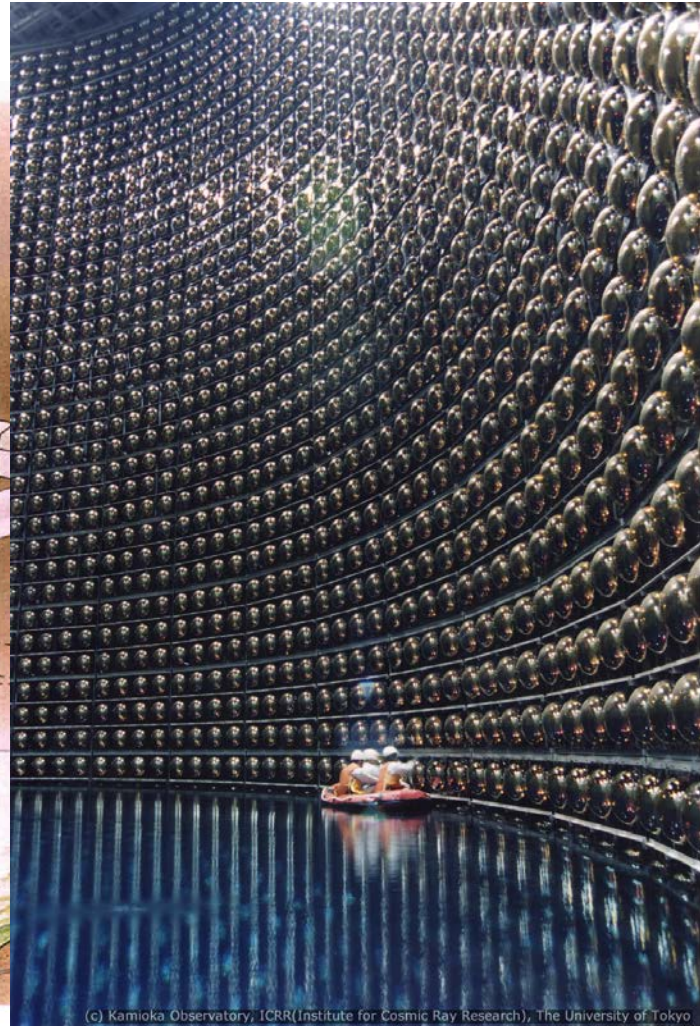
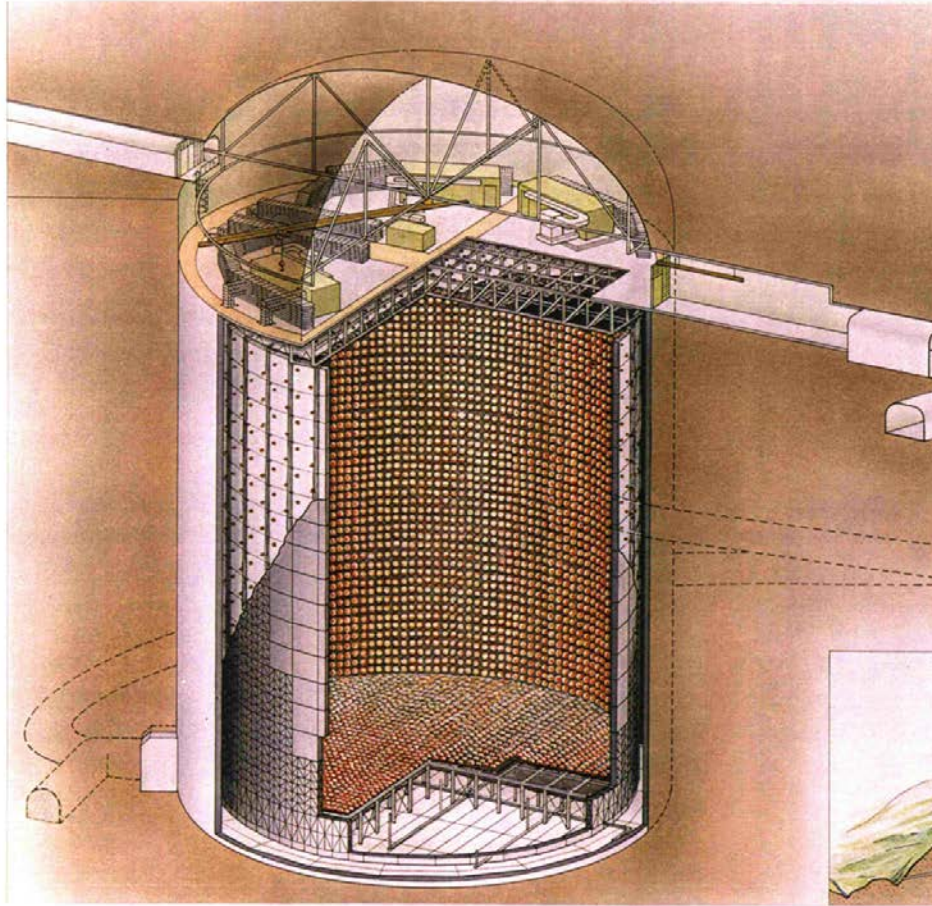


VERITAS



Πειράματα Νετρίνων

SUPER KAMIOKANDE



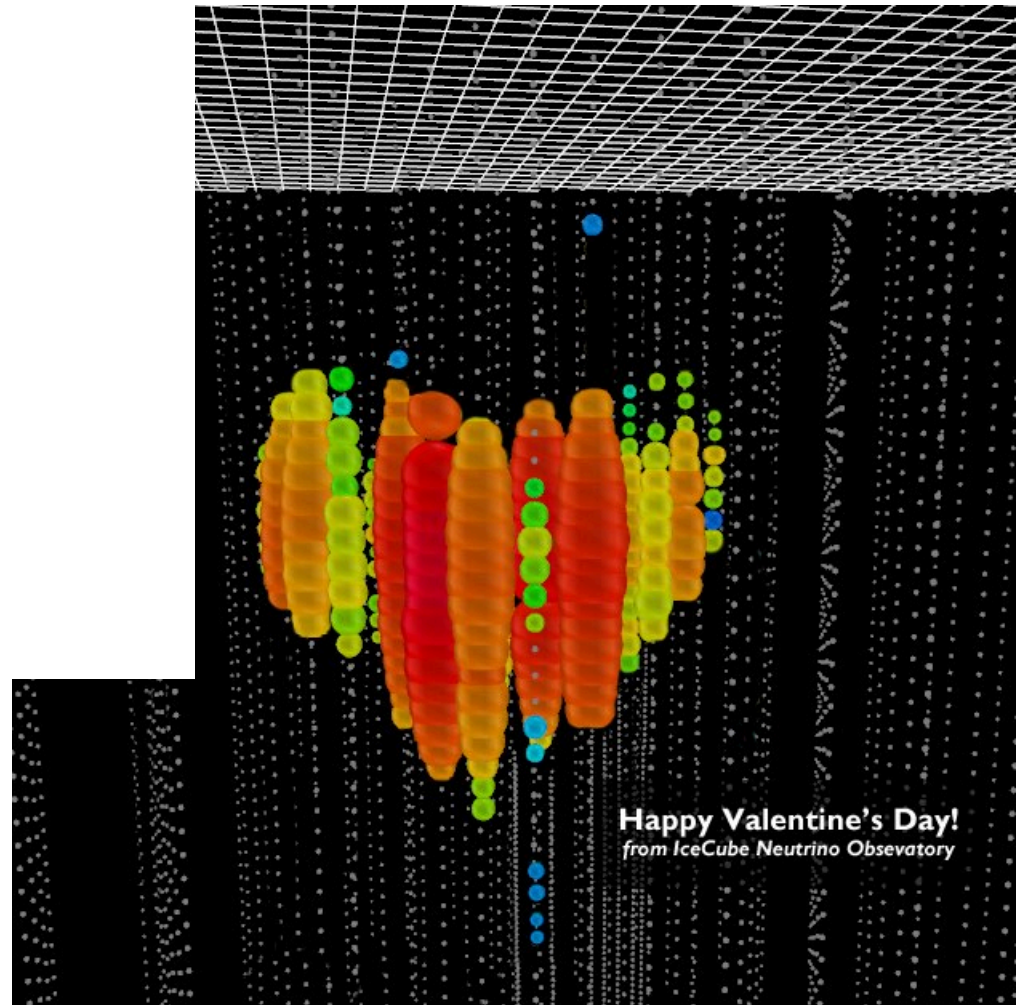
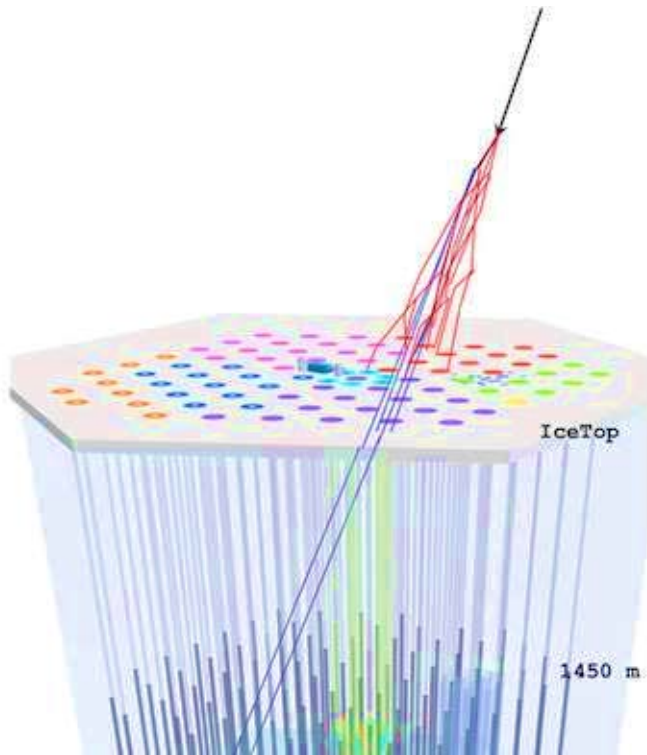
(c) Kamioka Observatory, ICRR(Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo

SUPERKAMIOKANDE

(c) Kamioka Observatory, ICRR(Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo
INSTITUTE FOR COSMIC RAY RESEARCH UNIVERSITY OF TOKYO

NIKKEN SEKKEI
planning, architecture, engineering

ICE CUBE



Περίληψη μαθήματος

Ιστορική εισαγωγή

Ηλεκτρόμετρα, εκφόρτιση ηλεκτρομέτρων. Στις αρχές του 20 ου αιώνα γίνονται πειράματα με ηλεκτρόμετρα παρατήρησαν ότι εκφορτίζονταν με σταθερό ρυθμό. Η υπόθεση ήταν ότι η ακφόρτιση, οφείλονταν στη ραδιενέργεια του εδάφους. Το σημαντικότερο πείραμα ήταν η μέτρηση του ιονισμού στην ατμόσφαιρα, ανεβάζοντας ένα ηλεκτρόμετρο σε μεγάλο ύψος σ' ένα αερόστατο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πυκνότητα των ιόντων αυξάνεται με το ύψος. Ο Hess συμπέρανε ότι ο ιονισμός οφείλετο σε ακτινοβολία πολύ πιο διεισδυτική από τις γνωστές ακτίνες γ. Τα πειράματα αυτά απέδειξαν την ύπαρξη της κοσμικής ακτινοβολίας και ο Hess θεωρείται ο θεμελιωτής του πεδίου.

Το όνομα «κοσμική ακτινοβολία» δόθηκε αργότερα από τον Millikan. Το 1929 εφευρέθηκαν ο θάλαμος ιονισμού και ο ανιχνευτής Geiger Miller που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα κοσμικών ακτίνων για πολλά χρόνια και οδήγησαν στην ανακάλυψη νέων σωματιδίων. Μέχρι την κατασκευή των επιταχυντών τα πειράματα κοσμικών ακτίνων οδήγησαν στην ανακάλυψη νέων σωματιδίων.

Το 1930 με έναν πρωτόγονο σύστημα σύμπτωσης αποτελούμενο από δυο σωλήνες G-M οι Bothe Kolhster απέδειξαν ότι οι ΚΑ αποτελούνταν από φορτισμένα σωματίδια μεγάλης διειδυτικής ικανότητας. Την ίδια χρονιά οι Anderson και Millikan παρατήρησαν σωματίδιο με θετικό φορτίο και μάζα ίση με του ηλεκτρονίου το οποίο αντιστοιχούσε στο ποζιτρόνιο που πρόβλεπε η θεωρία που παρουσίασε ο Dirac λίγους μήνες πριν. Το 1933 ο Ochialini κατασκεύασε το πρώτο ηλεκτρονικό κύκλωμα σύμπτωσης, και η εκτόνωση του θαλάμου ιονισμού γίνονταν όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο περνούσε από τους δύο G-M συγχρόνως. Ο Ochialini επιβεβαίωσε την ύπαρξη του ποζιτρονίου και επιπλέον φωτογράφησε καταιονισμούς σωματιδίων που δημιουργούνταν στα τοιχώματα του θαλάμου.

Η επόμενη μεγάλη ανακάλυψη ήρθε το 1936 από Anderson και Neddermeyer που ανακάλυψαν φορτισμένο σωματίδιο με μάζα περίπου $200m_e$ και ονομάστηκε μεσοτρόνιο. Η ανακάλυψη συνέπεσε με την θεωρία του Yukawa για τις πυρηνικές δυνάμεις και έγινε η υπόθεση ότι το σωματίδιο ήταν ο φορέας της πυρηνικής αλληλεπίδρασης. Σύντομα αποδείχθηκε ότι το σωματίδιο αυτό δεν είχε εμφανείς πυρηνικές αντιδράσεις. Όπως καταλαβαίνετε πρόκειται για το γνωστό μόνιο. Μετά τον πόλεμο με την ίδια τεχνική επαναλήφθηκαν τα πειράματα σε μεγάλο υψόμετρο και έδωσαν νέα σωματίδια τα K^+ , K^- , K^0 και επιπλέον ένα σωματίδιο με μάζα μεγαλύτερη από το πρωτόνιο το Λ . Ο χρόνος ζωής τους ήταν σχετικά μεγάλος. Τα σωματίδια αυτά ονομάστηκαν «παράξενα».

Μια άλλη τεχνική ανέπτυξε ο Powell ήταν τα φωτογραφικά φιλμ που ήταν ευαίσθητα στην ακτινοβολία. Τα φιλμ είχαν υλικό μεγάλου ατομικού βάρους και ήταν ευαίσθητα στην ακτινοβολία UV που παράγεται κατά τον ιονισμό που δημιουργεί ένα φορτισμένο σωματίδιο. Τα ίχνη των φορτισμένων σωματιδίων, εξετάζονται με μικροσκόπιο και από το πάχος τους μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα των σωματιδίων. Χρησιμοποιώντας μία στοίβα από φιλμ έχουμε τρισδιάστατη αναπαράσταση της αντίδρασης και αποπλέον μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια των σωματιδίων που παράγονται από το μήκος της τροχιάς μέχρι να απορροφηθούν.

Από τις μετρήσεις αυτές ο Powell ανακάλυψε το 1947 τα φορτισμένα πιόνια π^+ και π^- που αντιστοιχούσαν στο σωματίδιο που πρόβλεπε η θεωρία του Yukawa.

Στο φιλμ φαίνεται το σωματίδιο π το οποίο παράγει ένα μύονιο το οποίο στη συνέχεια διασπάται σε ηλεκτρόνιο. (προφανώς χρειάζεται και κάποιο άλλο σωματίδιο το οποίο δεν ιονίζει για να διατηρείται η ορμή). Δύο ακόμη σωματίδια ανακαλύφθηκαν στις κοσμικές ακτίνες τα Ξ^- και το Σ το 1953. Από το 1953 αναπτύχθηκαν οι επιταχυντές και η σωματιδιακή φυσική γίνεται σε πειράματα επιταχυντών.

Το ενδιαφέρον των κοσμικών ακτίνων μετατοπίστηκε στον προσδιορισμό της προέλευσης, της επιτάχυνσης και την κοσμολογικά φαινόμενα.

Όργανα, ανιχνευτές για τις μετρήσεις κοσμικών ακτίνων .

Όταν ο Hess ξεκίνησε τα πειράματα του είχε στη διάθεση του μόνον τα ηλεκτρόμετρα. Το ηλεκτρόμετρο, όπως γνωρίζετε αποτελείται από δύο λεπτά μεταλλικά φύλλα τα οποία απωθούνται όταν φορτιστούν.

Ο θάλαμος νέφωσης, εφευρέθηκε από τον C.T.R Wilson γύρω στο 1910 και χρησιμοποιούνταν για την μελέτη των πυρηνικών ακτινοβολιών. Ο θάλαμος νέφωσης ήταν μια ενδιαφέρουσα κατασκευή : Ήταν ένας θάλαμος με γυάλινα τοιχώματα και το εσωτερικό γέμιζαν κεκορεσμένοι ατμοί αλκοόλης. Με ένα απλό έμβολο προκαλούνταν αδιαβατική ψύξη των ατμών. Οι ατμοί στη θερμοκρασία αυτή πρέπει να υγροποιηθούν αλλά για να συμβεί υγροποίηση, πρέπει να υπάρχουν «κέντρα» όπου συγκεντρώνονται τα άτομα και σχηματίζονται σταγονίδια. Τα φορτισμένα σωματίδια που διασχίζουν τον θάλαμο δημιουργούν ζεύγη ιόντων κατά μήκος της διαδρομής τους. Τα ιόντα λειτουργούν σαν κέντρα υγροποίησης και η τροχιά του σωματιδίου εμφανίζεται σαν γραμμή από σταγονίδια. Μια κάμερα συγχρονισμένη με το έμβολο, φωτογραφίζει τον θάλαμο. Η πυκνότητα των ιχνών είναι ανάλογη του ιονισμού που έχει προκαλέσει το σωματίδιο και οποίος εξαρτάται από τη ταχύτητα του σωματιδίου. Ο θάλαμος τοποθετούνταν μέσα σε μαγνητικό πεδίο και από την καμπύλωση της τροχιάς υπολογίζεται η ορμή του σωματιδίου. Ο συνδυασμός των μετρήσεων μας δίνει τη μάζα του σώματος.

Ο Ochialini, κατασκεύασε το πρώτο κύκλωμα σύμπτωσης για να φωτογραφίζει μόνον όταν περνούσε φορτισμένο σωματίδιο. Χρησιμοποίησε δύο ανιχνευτές Geiger Miller , έναν πάνω και έναν κάτω από τον θάλαμο και ο θάλαμος εκτονώνονταν όταν οι δύο γκάιγκερ είχαν ταυτόχρονα σήμα. Με τον τρόπο αυτό αύξησε το ποσοστό των εικόνων που είχαν γεγονότα.

Παράλληλα αναπτύχθηκε η τεχνολογία των μετρήσεων με φιλμ. Το βασικό συστατικό είναι το στρώμα ιωδιούχου αργύρου στην επιφάνεια του φιλμ. Το φορτισμένο σωματίδιο ιονίζει και διασπάται το μόριο του AgI . Το φιλμ επεξεργάζεται όπως στις φωτογραφίες. Οι τροχιές εμφανίζονται σαν διαδοχικά σημάδια. Το φιλμ έχει τα εξής σημαντικά χαρακτηριστικά:

Ο ιονισμός είναι ανάλογος του φορτίου και μετρώντας την πυκνότητα της γραμμής, μπορούμε να υπολογίσουμε το φορτίο του πυρήνα που την δημιούργησε. Τα φιλμ έχουν μεγάλη επιφανειακή πυκνότητα και έτσι αυξάνεται η πιθανότητα να αντιδράσει ένα σωματίδιο. Η αντίδραση εμφανίζεται σαν αστέρι που δημιουργείται από τις τροχιές των προϊόντων. Επίσης λόγω της μεγάλης πυκνότητας τα δευτερογενή σταματούν μέσα στη μάζα του φιλμ και υπολογίζουμε τη ενέργεια τους από την εμβέλεια.

Τα φιλμ τοποθετούνται σε δέματα από διαδοχικά στρώματα . Έτσι οι τομές σε διαδοχικά στρώματα μας δίνουν τρισδιάστατη εικόνα για την αντίδραση. Τα φιλμ

διαβάζονται με μικροσκόπιο.

Τα πακέτα με το φιλμ ανεβάζονται με αερόστατο σε μεγάλο ύψος και μετά την επιστροφή του αερόστατου επεξεργάζονται. Με την μέθοδο του φιλμ μπορέσαμε να προσδιορίσουμε την σύσταση των κοσμικών ακτίνων. Όμως η διάκριση αυτή περιορίζεται σε ενέργειες μικρότερες από 10 GeV, διότι ο παραγόμενος ιονισμός ελαττώνεται με την ταχύτητα και οι ζώνες ιονισμού επικαλύπτονται. Επίσης για την απορρόφηση σωματιδίων.

Το αερόστατο υπήρξε από την αρχή ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο διότι μεταφέρει τα όργανα στα όρια της ατμόσφαιρας και ουσιαστικά καταγράφει τις ακτίνες κοντά στο διάστημα. Μειονεκτήματα έχει ότι το ύψος που ταξιδεύει δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από την θερμοκρασία του αέρα, έχει σημαντική πιθανότητα να καταστραφεί. Σήμερα πτήσεις αερόστατων γίνονται κυρίως στην Ανταρκτική όπου η θερμοκρασία και τα ρεύματα αέρα είναι σταθερά. Ένα αερόστατο στην ανταρκτική επιστρέφει στην περιοχή ανόδου μετά από 15 περίπου ημέρες.

Οι ευνοϊκότερες συνθήκες μέτρησης είναι προφανώς στο διάστημα. Μεγάλη ώθηση στη φυσική των κοσμικών ακτινοβολιών έχει δώσει η διαστημική τεχνολογία που επιτρέπει την τοποθέτηση σε τροχιά δορυφόρων μεγάλης μάζας. Με τους δορυφόρους μπορούμε να ανιχνεύσουμε ακτινοβολίες που απορροφώνται από την ατμόσφαιρα όπως : Υπέρυθρες, υπεριώδεις, ακτίνες X , ακτίνες γ μικρής και μεγάλης ενέργειας καθώς τα φορτισμένα σωματίδια.

Εξέλιξη της μεθόδου με φιλμ για μέτρηση καταιονισμών. οι συσκευές ονομάζονται καλορίμετρα με φιλμ. Στα διαδοχικά στρώματα του φιλμ παρεμβάλλονται πλάκες από βαρύ μέταλλο, συνήθως μόλυβδο για να αυξήσουν την πιθανότητα αντίδρασης ενός πρωτονίου και μετρήσουν τις παραγόμενες δευτερογενείς τροχιές. Στη συνέχεια παρεμβάλλεται υλικό μικρής πυκνότητας που επιτρέπει στα δευτερογενή να τον διασχίσουν χωρίς να αντιδράσουν ενώ στη βάση υπάρχει μεγάλη μάζα υλικού που λειτουργεί σαν αδρονικό καλορίμετρο. Το καλορίμετρο σαρώνεται ηλεκτρονικά με ακρίβεια 10μ. Με τις συσκευές αυτές είναι δυνατός ο προσδιορισμός του A με ακρίβεια 0,2 της μονάδας .

Τα πειράματα που γίνονταν σε μεγάλο υψόμετρο, έδωσαν πληροφορίες για τις αντιδράσεις των πρωτογενών στην ατμόσφαιρα. (Γεγονότα Κένταυρος)
Παρόμοιες διατάξεις έχουν χρησιμοποιηθεί και σε περάματα σε επιταχυντές διότι η μέθοδος έχει μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση της θέσης.