

Αστροσωματιδιακή Φυσική & Κοσμική Ακτινοβολία

- *Κοσμολογία: Big-Bang, Πρώιμο Σύμπαν.*
- *Πληθωρισμός CMB.*
- *Πυρηνοσύνθεση, σκοτεινή ενέργεια-ύλη .*
- *Κοσμική Ακτινοβολία (ΚΑ): Αδρονικοί και ηλεκτρομαγνητικοί καταιωτισμοί, νετρίνα και ακτίνες γ.*
- *Μέθοδοι και διατάξεις ανίχνευσης ΚΑ: Πειράματα ανίχνευσης καταιωτισμών,*
- *Πρόσφατα Πειραματικά Αποτελέσματα: Πειράματα αδρονικών καταιωτισμών, ακτίνων γ, νετρίνων και σκοτεινής ύλης.*
- *Astroparticle Physics D. Perkins*
- *High Energy Cosmic Rays T. Stanev*
- *Cosmic Rays and Particle Physics T. Gaisser*

ΚΟΣΜΙΚΕΣ ΑΚΤΙΝΕΣ

- Ιστορική Εισαγωγή, Ανιχνευτές.
- Ενεργειακό φάσμα, σύσταση.
- Επίδραση Μαγνητικού Πεδίου
- Αντιδράσεις κοσμικών ακτίνων στην ατμόσφαιρα.
- Πηγές, Επιτάχυνση, Διάδοση.
- Ηλιακά νετρίνα, ατμοσφαιρικά νετρίνα, ταλαντώσεις νετρίνων.
- Ηλεκτρομαγνητικοί καταιονισμοί, ακτίνες γ , ανιχνευτές.
- Αδρονικοί καταιονισμοί ανιχνευτές.
- Πείραμα ICE CUBE
- Το τέλος του ενεργειακού φάσματος.

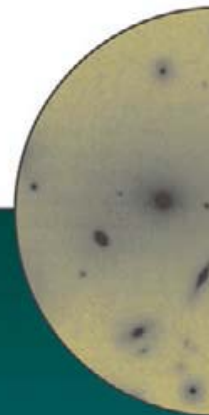
Βιβλιογραφία.

OXFORD MASTER SERIES IN PARTICLE PHYSICS,
ASTROPHYSICS, AND COSMOLOGY

SECOND EDITION

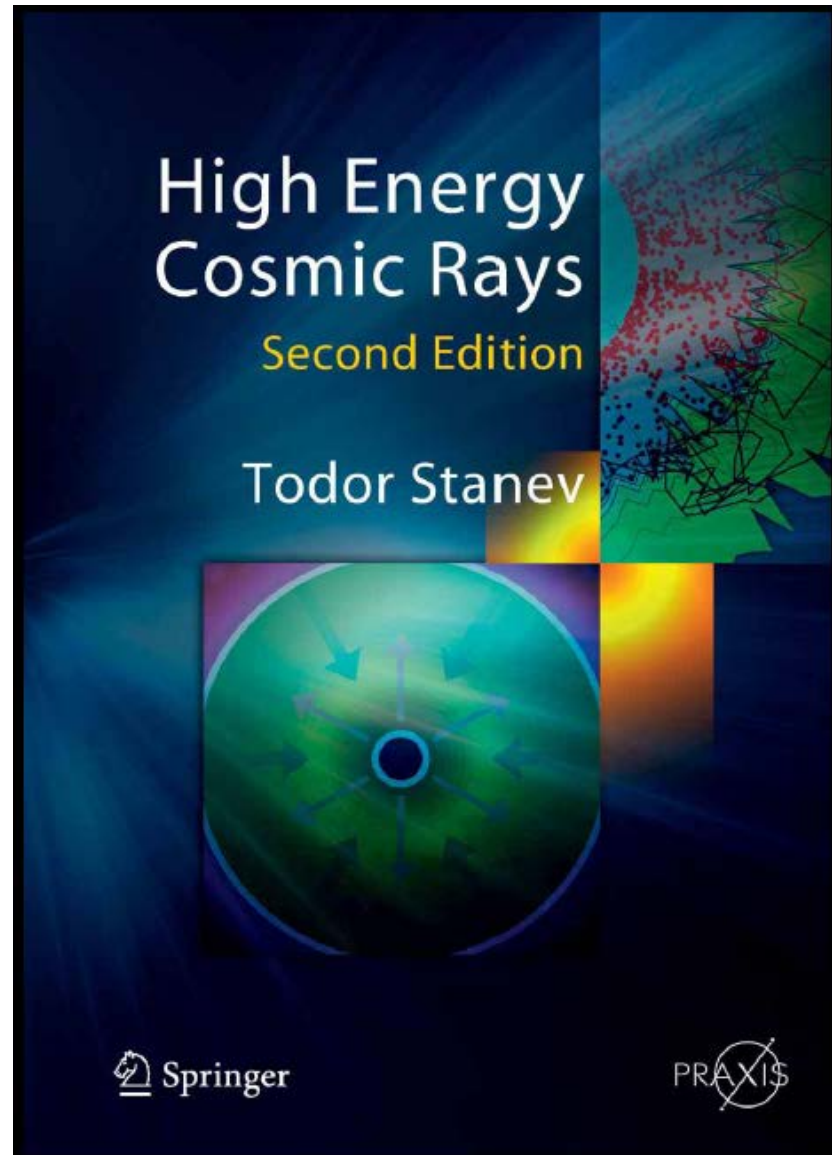
Particle Astrophysics

Donald Perkins



oxford series in condensed matter physics
solid state physics

Βιβλιογραφία.



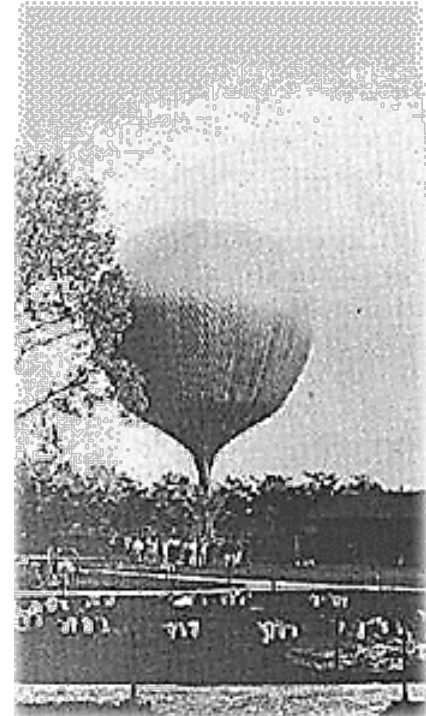
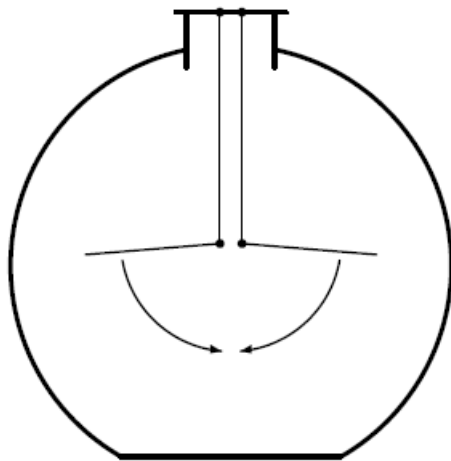
Ιστορική Βιβλιογραφία

- 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.](#)
- Cerenkov Radiation and its Applications J.V. Jelley.

ΙΣΤΟΡΙΑ

Πειράματα Hess, Kolhorster 1912 ,
1913, με ηλεκτρόμετρο.

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



Απόσπασμα από Rossi.

ticularly suitable as a radiation meter was the instrument designed by Wulf in 1909. He replaced the gold leaves with two very thin metal wires held under tension by a light quartz fiber (Fig. 1-3). When charged, the two wires would repel each other, and the separation could be measured by means of a microscope. In 1910 Wulf carried one of his electrosopes to the top of the Eiffel Tower; in 1912 Gockel used a similar instrument in a balloon ascent. Neither found what they had expected. The rate of discharge did not decrease with altitude, or at least did not decrease as fast as they had anticipated.

Απόσπασμα από Rossi.

At six o'clock on the morning of August 7, 1912, a balloon ascended from a field near the town of Aussig, in Austria. In the gondola of the balloon were three men: a navigator, a meteorologist, and a physicist. During the next $2\frac{1}{2}$ hours, the balloon rose to an altitude of 13,000 feet while drifting rapidly northward. For another hour it floated between 13,000 and 16,000 feet. At noon the balloon touched down near the German town of Pieskow, 30 miles east of Berlin and some 125 miles from Aussig.

The physicist and leader of the flight was Victor F. Hess. He had taken with him three electroscopes of the kind then being used to detect and measure the radiation emitted by radium and other radioactive substances. While his companions took care of the navigation and measured altitude and temperature, Hess watched his instruments and recorded their readings. A few months later, after a careful study of the data, he presented to the scientific community a conclusion of far-reaching significance. In the

Απόσπασμα από Rossi.

As the balloon began its ascent through the atmosphere, Hess found that the ionization became somewhat weaker at first, as indicated by a slower rate of electroscope discharge. Unquestionably, there was a radiation emanating from the earth's crust. But above 2,000 feet the trend reversed itself and the ionization began to increase gradually with altitude, as though the balloon were moving toward the source of the ionizing radiation instead of away from it. Indeed, at 16,000 feet the electroscopes were discharging about *four times faster* than they had at ground level. It was in order to explain this unexpected increase that Hess postulated a radiation falling upon the earth from somewhere beyond the atmosphere.

His assumption was certainly a bold one, and many years were to pass before it became generally accepted. First of all, other experimenters had to check the findings reported by Hess. When they did, they found that the increase of radiation strength with altitude continued well above 16,000 feet. Especially noteworthy were the daring balloon flights carried out by W. Köhlhörster of Germany between 1913 and 1919. In his flights he reached a maximum altitude of about 28,000 feet, where he found an ionizing radiation considerably stronger than that detected by Hess.

Απόσπασμα από Rossi.

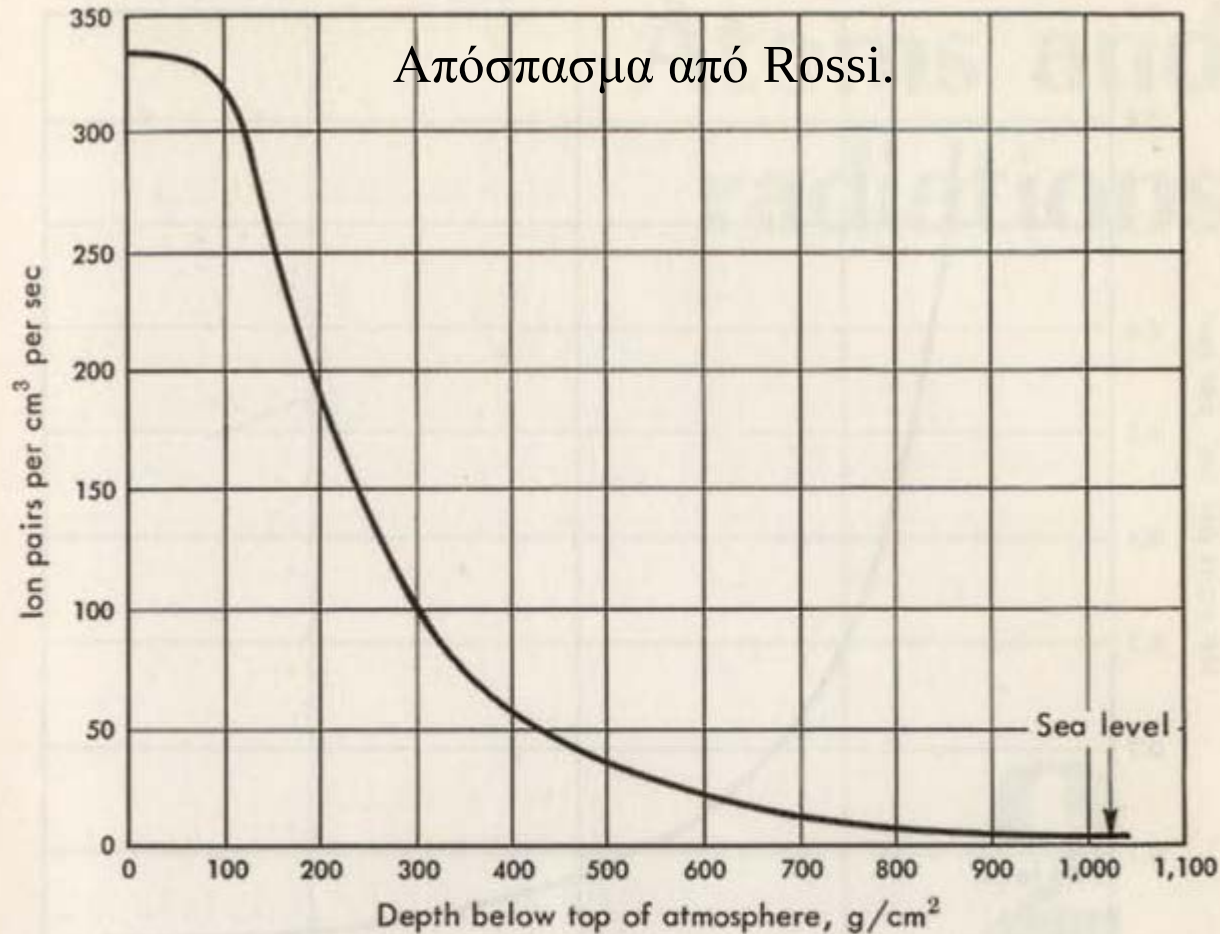


Fig. 1-5 Intensity of cosmic rays as a function of atmospheric depth, as measured by Regener and his group with balloon-borne electroscopes. The atmospheric depth plotted on the horizontal axis is the mass per unit area of the air layer above the electroscope. The vertical scale gives the number of ion pairs produced per second by cosmic rays in 1 cm³ of air at standard temperature and pressure. In these units, the cosmic-ray intensity at sea level is about 2.

Απόσπασμα από Rossi.

Now, absorption measurements in the atmosphere and under water by Hess, Kohlhörster, Millikan, Regener, and others had shown the cosmic radiation to be more penetrating than any other (see Figs. 1-5 and 1-6). It was thus natural to think that cosmic rays were of greater energy than the most energetic photons found among γ rays. Some physicists, willing to trust the theory of the Compton effect in a range of energies where it had not yet been tested experimentally, estimated the energies of the hypothetical cosmic-ray photons from the shape of their absorption curve. Cosmic rays, they concluded, were a mixture of photons with energies ranging from 20 or 30 to several hundred MeV. This estimate was the basis of a most provocative suggestion put forward by Millikan in 1928. According to Millikan, cosmic rays were born of the energy released during the synthesis of heavier elements from primordial hydrogen spread throughout the universe.

Λόγω της διεισδυτικότητας των ακτίνων, υπέθεσαν ότι επρόκειτο για ακτίνες γ μεγάλης ενέργειας. Όμως οι ενέργειες που απαιτούνταν, ήταν πολύ μεγαλύτερες από αυτές που είχαν παρατηρηθεί στις πυρηνικές αντιδράσεις.

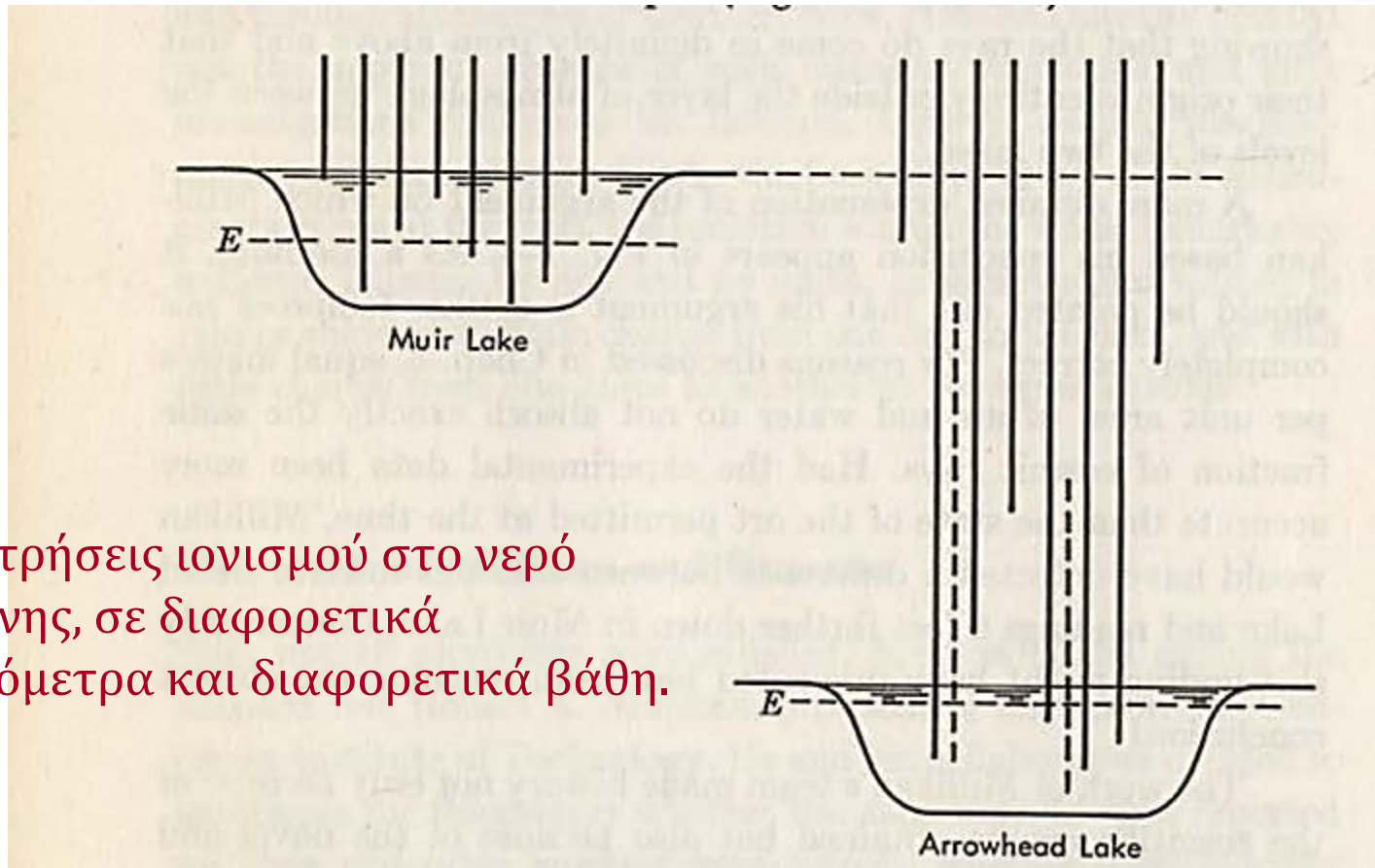
Απόσπασμα από Rossi.

Millikan noted that the actual absorption curve of cosmic rays did not correspond to any single curve thus computed. However, it could be represented by the *sum* of the absorption curves of three groups of photons with mean free paths of 300, 1,250, and 2,500 g/cm². Using Dirac's theory of the Compton effect (Klein and Nishina had not yet published theirs), Millikan arrived at energies of about 26, 110, and 220 MeV for the three respective groups of photons. He therefore concluded that cosmic radiation was for the most part a mixture of photons with those energies.

While searching for clues to the origin of the photons, which appeared to come in equal numbers from every region of the sky, Millikan was led to the following speculation: Interstellar space is filled with very dilute hydrogen gas. Conceivably, out of this gas the atoms of the heavier elements might continuously evolve by a spontaneous process of *fusion*. Once in a while, for example, four hydrogen atoms might meet and fuse to form a helium atom.

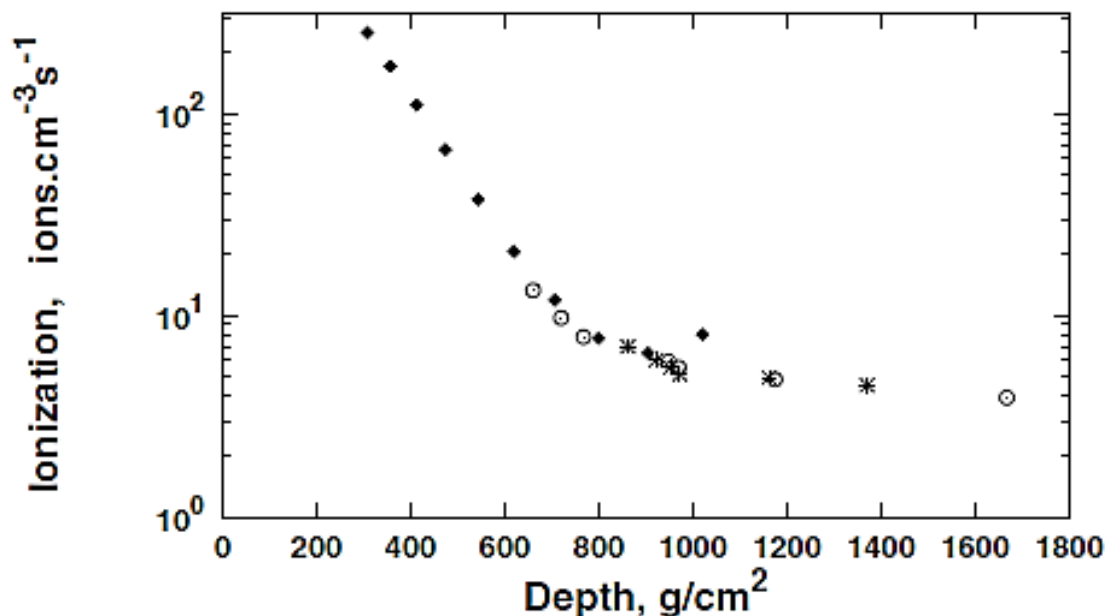
Ο Millikan υπέθεσε ότι προέρχονταν από σύντηξη πρωτονίων σε βαρείς πυρήνες στον διαστρικό χώρο. Σύντομα όμως διαψεύσθηκε από τις παρατηρήσεις που ακολούθησαν. Την συνεχή καμπύλη απορρόφησης την ερμήνευσε σαν αποτέλεσμα της σκέδασης Compton στην ατμόσφαιρα

Απόσπασμα από Rossi.



Μετρήσεις ιονισμού στο νερό
λίμνης, σε διαφορετικά
υψόμετρα και διαφορετικά βάθη.

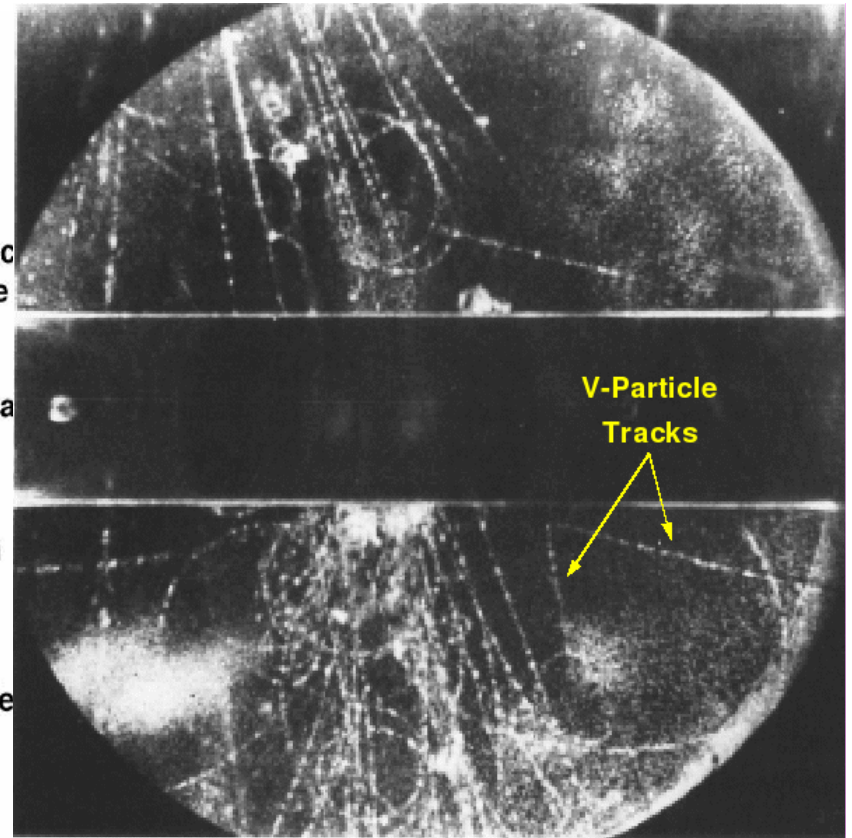
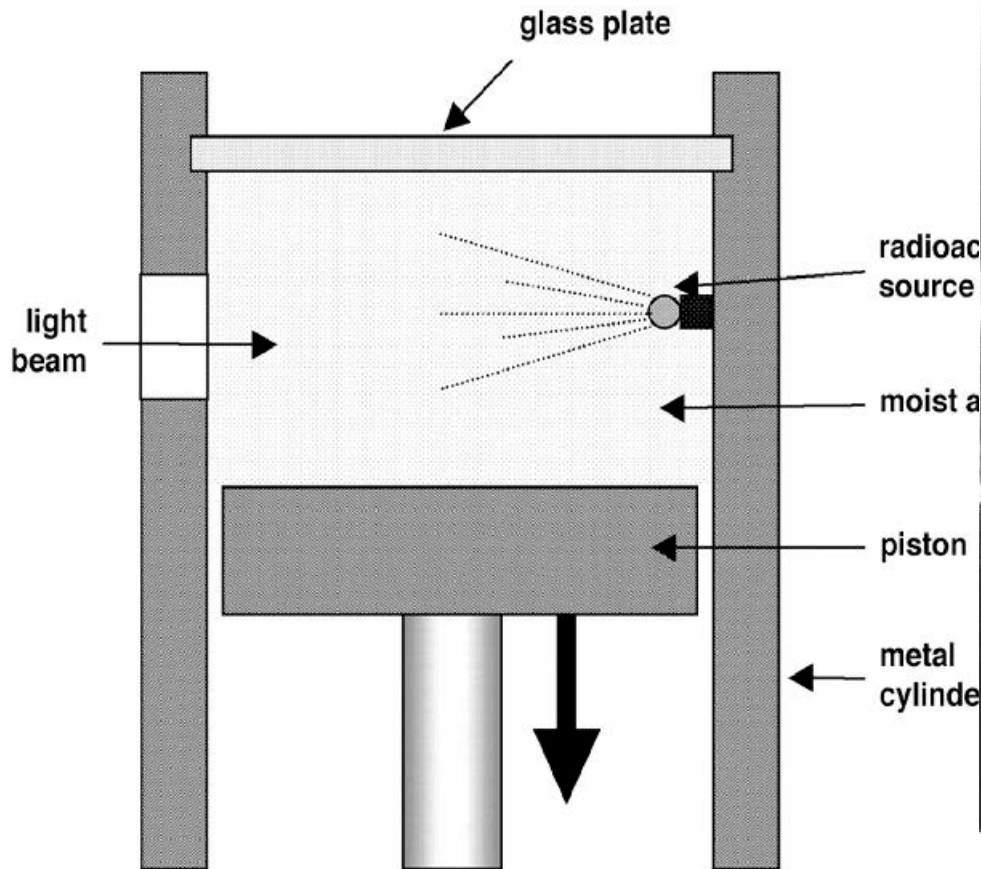
Πόσο καλές ήταν οι μετρήσεις των Hess, Kolhorster και Millikan;



Ο T. Stanev τοποθέτησε σε ένα διάγραμμα τις μετρήσεις με το ηλεκτρόμετρο των Kolhorster και Millikan, αντικατέστησε το ύψος με την μάζα που διασχίζουν τα σωματίδια.

Θάλαμος Wilson.

Θάλαμος νέφωσης (cloud Chamber).



Πρώτοι ανιχνευτές Geiger Muller 1929

The answer to the needs of cosmic-ray physicists came in 1929 with the invention, by Geiger and one of his students, W. Müller,

In their experiments, Bothe and Kohlhörster had set up two G-M counters, each connected to an electroscope, in order to observe cosmic rays. They noticed that the counters, when placed one above the other a small distance apart (Fig. 3-3), often dis-

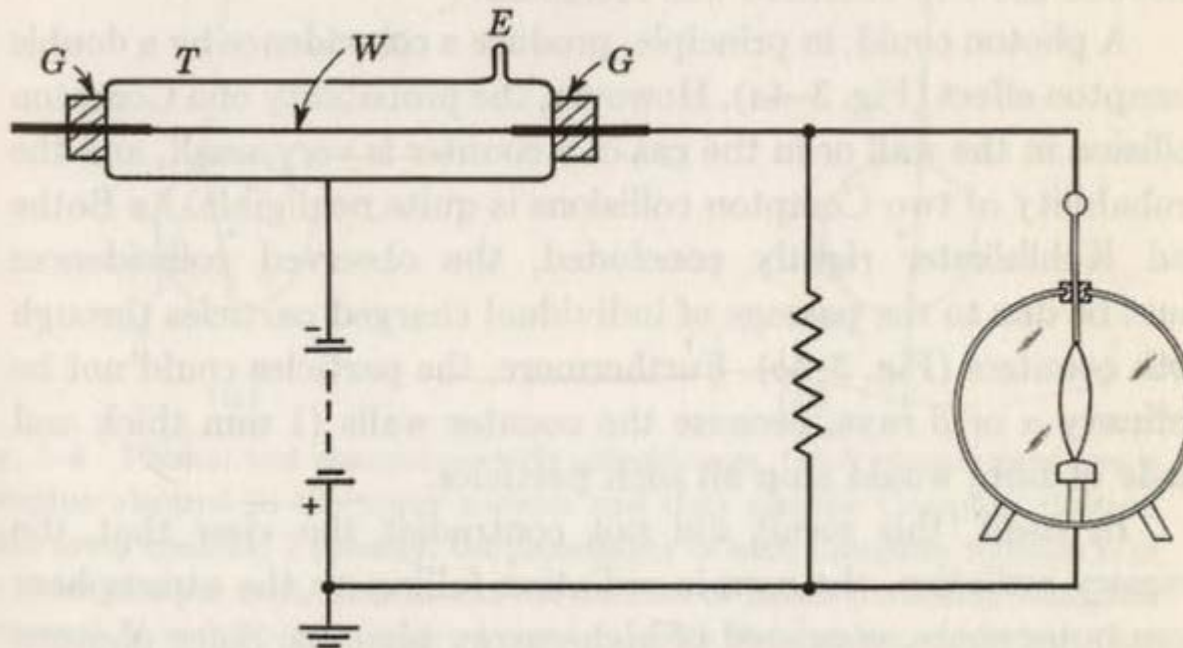


Fig. 3-2 The Geiger-Müller counter: metal tube *T*; glass insulators *G*; thin wire *W*; tube for evacuating and filling the tube *E*. Electrical connections are similar to those shown in Fig. 3-1.

Θάλαμος ιονισμού σε μαγνητικό πεδίο, υπολογισμός ορμής.

significant observations were those made in 1929 by the Russian physicist D. Skobeltzyn. Working with a cloud chamber placed in a magnetic field, Skobeltzyn had photographed the tracks of unusually energetic negative particles passing through the chamber. The curvatures of the tracks (Chap. 5) indicated particle energies much greater than those of ordinary β rays. Skobeltzyn suggested that the tracks were probably left by electrons recoiling from Compton collisions with the hypothetical cosmic-ray photons.

Skobeltzyn also pointed out the occasional appearance, in his pictures of high-energy particles, of two and in one case, three tracks in the same picture. It was possible to explain the multiple tracks by assuming that a recoil electron had undergone one or more collisions somewhere near the cloud chamber and in these collisions had ejected secondary particles of sufficient energy to penetrate the chamber wall.

Ο D. Skobeltzyn, τοποθέτησε έναν θάλαμο ιονισμού μέσα σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο και μπορούσε να υπολογίζει την ορμή των σωματιδίων. Παρατήρησε τροχιές που είχαν ορμή μεγαλύτερη από 15 MeV που δεν μπορούσαν να προέρχονται από διασπάσεις β . Επίσης παρατήρησε πολλαπλές τροχιές.

Διεσδυτικές ακτίνες, Bothe και Kolhorster. Οι ανιχνευτές μετρούν συμπτώσεις παρά την προσθήκη μεγάλου πάχους σιδήρου και μολύβδου. Τα ενεργητικά σωματίδια είναι φορτισμένα και αποκλείονται οι ακτίνες γ .

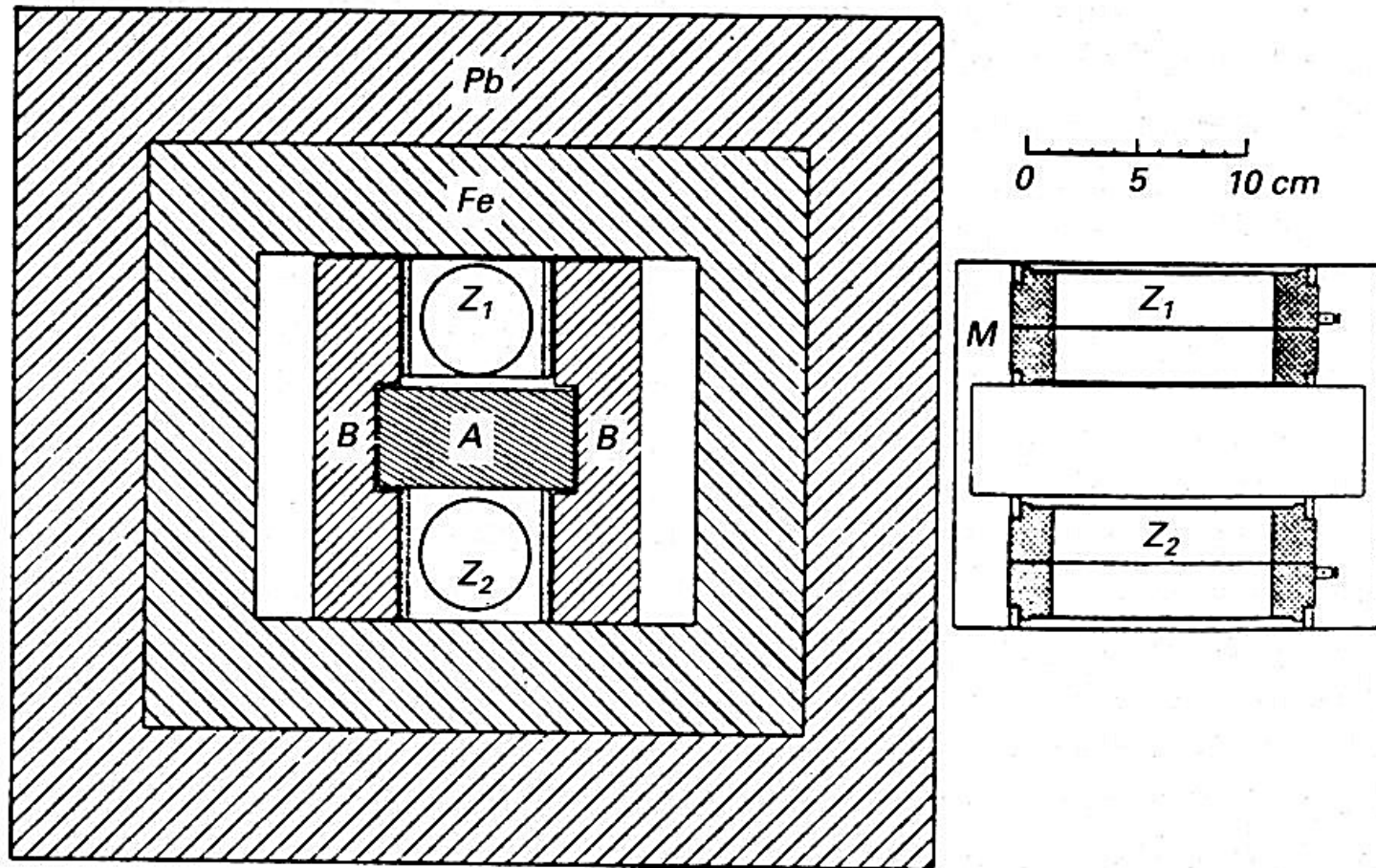
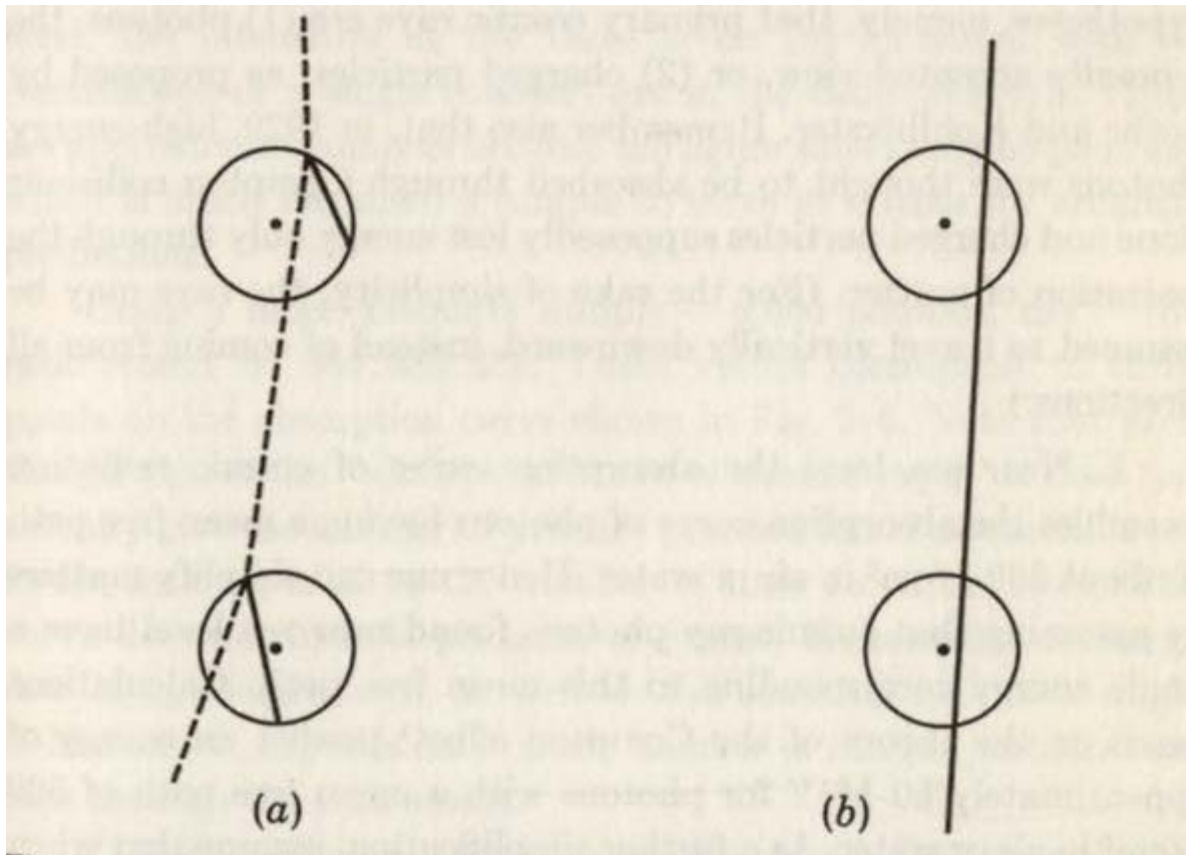


Figure 1.5. The experimental arrangement used by Bothe and Kolhörster to demonstrate that cosmic rays are charged particles and not high energy γ -rays. Z_1 and Z_2 are Geiger-Müller detectors and A is the absorbing slab – lead and gold were used in the key experiments. (W. Bothe and W. Kolhörster (1929). *Zeitschrift für Physik*, **56**,

Σύμπτωση με ανιχνευτές GM



Πρώτες ερμηνείες συμπτώσεων με ανιχνευτές G.M.

Ανίχνευση πολλαπλών τροχιών Rossi. Από τις τριπλές συμπτώσεις συμπεράνε ότι παράγεται δευτερογενές σωματίδιο μέσα στον απορροφητή.

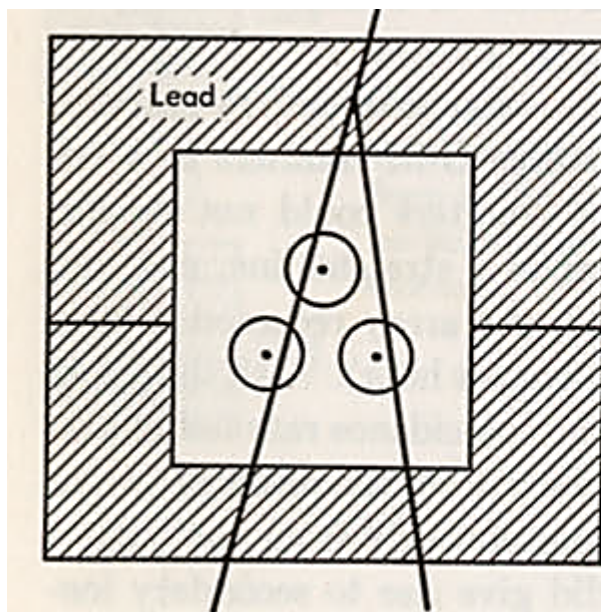


Fig. 4-3 Triangular array of G-M counters used in the first experiment demonstrating the production of secondary particles by cosmic rays. At least two charged particles emerging simultaneously from the lead are needed to produce a coincidence. One of them may be a primary particle, but the other must have been produced in the lead. (If the upper section of the lead shielding is removed, the coincidence rate falls nearly to zero.)

Πρώτοι καταιονισμοί Blackett Occhialini

Συνδυάστηκε ο θάλαμος ιονισμού με τους ανιχνευτές G.M. Οι ανιχνευτές τοποθετούνταν πάνω και κάτω από τον θάλαμο. Ο θάλαμος εκτονώνονταν όταν οι G.M. Βρίσκονταν σε σύμπτωση δηλαδή όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο διέσχιζε τον θάλαμο. Η τεχνική αυτή αύξησε τον αριθμό από ενδιαφέρουσες φωτογραφίες.

The 1933 paper in which Blackett and Occhialini described their first observations with the counter-controlled chamber marked another milestone in the history of cosmic-ray research. I shall come back to it in a later chapter. Here I wish to mention only one result. A number of pictures showed the tracks of many particles that clearly resulted from the interaction of a single high-energy cosmic ray somewhere in the vicinity of the chamber (Fig. 4-5). These groups of particles, or *showers*, were unquestionably the cause of the coincidences between counters out of line that I had observed previously.

Σωλήνες Geiger-Muller, Κύκλωμα Σύμπτωσης

66

B. ROSSI AND N. NERESON

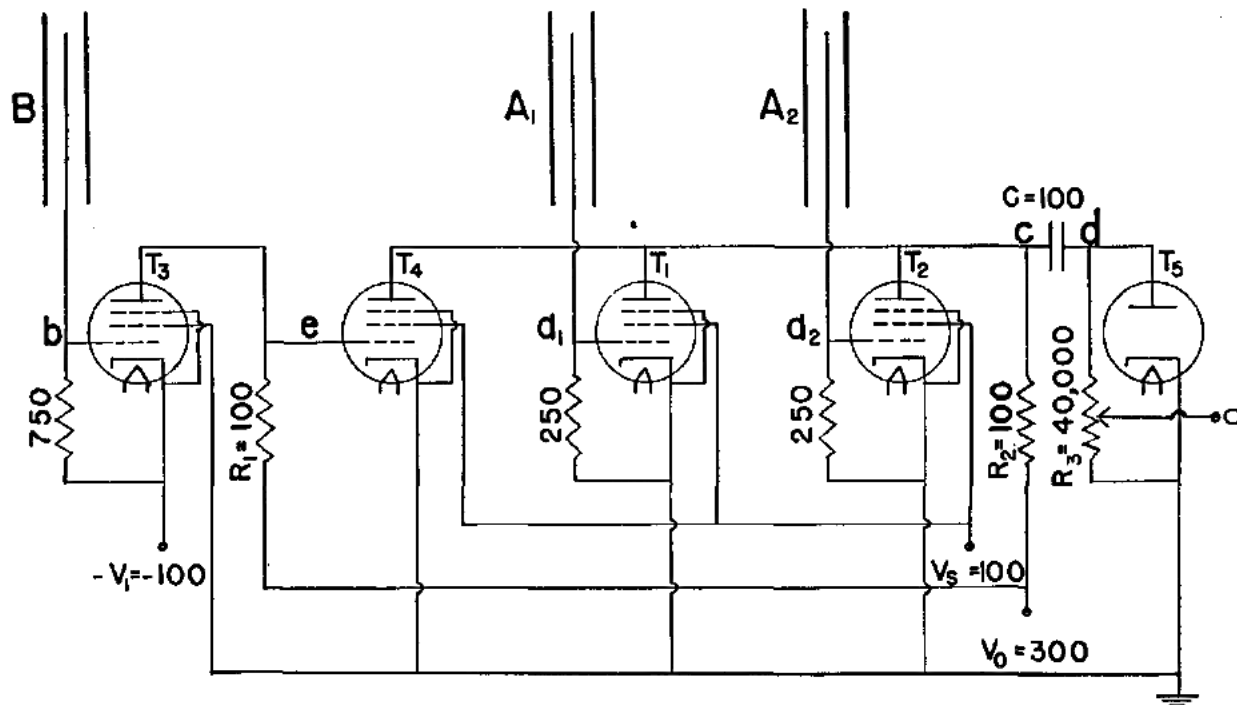


FIG. 1. "Time circuit." T_1 , T_2 , T_3 , T_4 are 6J7 tubes. Resistances are measured in 10^3 ohms, capacities in $\mu\mu\text{f}$, potentials in volts.

The discovery of the positron

Even before the discovery of showers, Carl D. Anderson, in Millikan's laboratory at the California Institute of Technology, had started an experimental program that, together with the one begun a little later by Blackett and Occhialini, was to provide a partial answer to our questions. The major result of this work was the discovery of the *positive electron*, or *positron*, and of the strange circumstances attending its birth and its disappearance.

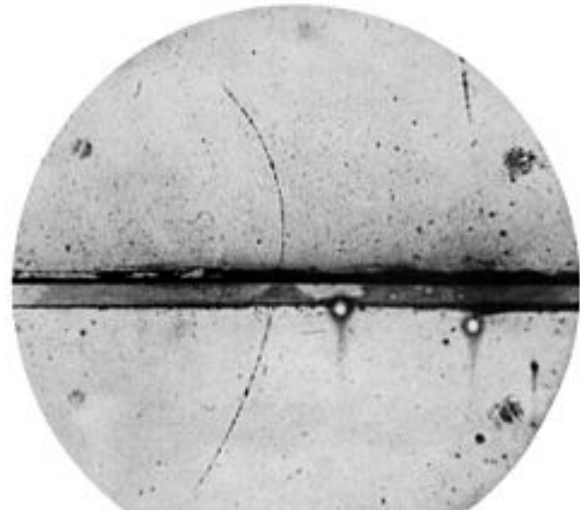
In his experiments Anderson used a cloud chamber placed in the field of a powerful electromagnet. At a maximum field strength of 24,000 gauss he was able to measure the magnetic deflection of tracks whose radius of curvature was as great as 7 meters and whose magnetic rigidity was therefore roughly 1.7×10^7 gauss·cm (that is, 24,000 gauss $\times$ 700 cm). The corresponding kinetic energies — about 5 BeV for particles with the mass of an electron and about 4 BeV for particles with the mass of a proton (Fig. 5-3) — were several hundred times greater than any energy that previous instruments had been capable of measuring. It soon became apparent that the particles of the local cosmic radiation had a wide range of energies extending well beyond 1 BeV. In addition, about half their trajectories bent to the right and half to the left. Assuming the direction of travel to be downward in every case, Anderson concluded that positively and negatively charged particles were about equally abundant in the local cosmic radiation.

Ανακαλύψεις σωματιδίων

1932 Anderson και Millikan
Ποζιτρόνιο.

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

1936 Anderson και
Neddermeyer μιονίο.



Ανακάλυψη ποζιτρονίου, μιονίου

Ποζιτρόνιο

Το 1929 ο Anderson, παρατήρησε ένα θετικό σωματίδιο με μικρή μάζα. Την ίδια εποχή οι Ochiallini & Blachett χρησιμοποιώντας το πρώτο κύκλωμα σύμπτωσης, τρίγγαραν τον θάλαμο και την κάμερα μόνον όταν οι δύο geiger είχαν σήμα, δηλαδή όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο, διαπερνούσε τους δύο μετρητές. Με το τρόπο αυτό, επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη των θετικών «ηλεκτρονίων» και το 1932 ο Anderson ανακοίνωσε ότι πρόκειται για το αντισωματίδιο των ηλεκτρονίων που πρόβλεπε η θεωρία του Dirac (1929). Οι Ochiallini & Blachett παρατήρησαν τη δημιουργία του ζεύγους ποζιτρονίου ηλεκτρονίου σύμφωνα με τη θεωρία του Dirac.

Μιόνιο

Το 1936 οι Anderson & Neddermayer ανακάλυψαν ένα νέο σωματίδιο, με μάζα ενδιάμεση του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου, το οποίο ονομάστηκε μεσοτρόνιο. Λέγεται ότι ο Anderson αναφώνησε: «Αυτό το σωματίδιο ποιος το παράγγειλε;». Αρχικά υπέθεσαν ότι πρόκειται για το σωματίδιο που πρόβλεψε ο Yukawa, για να ερμηνεύσει την ελκτική δύναμη ανάμεσα στα νουκλεόνια. Σύντομα αποδείχθηκε ότι η υπόθεση ήταν λάθος. Το σωματίδιο του Yukawa ανακαλύφθηκε το 1947 είναι το πιόνιο ενώ το μεσοτρόνιο σήμερα ονομάζεται μιόνιο.

Ερμηνεία των κοσμικών ακτίνων

Interpretation of Cosmic-Ray Phenomena, Bruno Rossi,
Reviews of Modern Physics vol. 20, n 3, 1948.

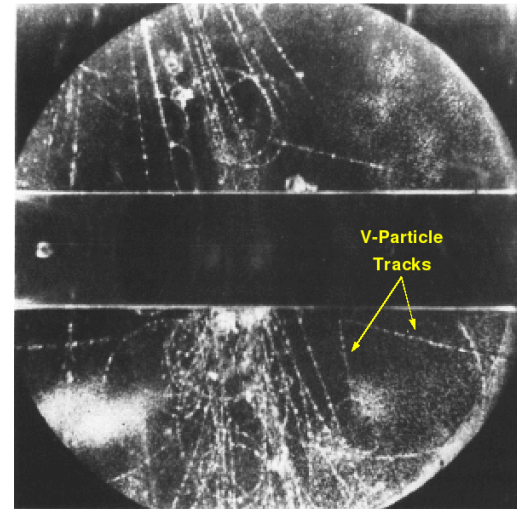
Ανακαλύψεις σωματιδίων

1947 Blackett K^+ , K^-
, K^0 Λ

1947 Powell

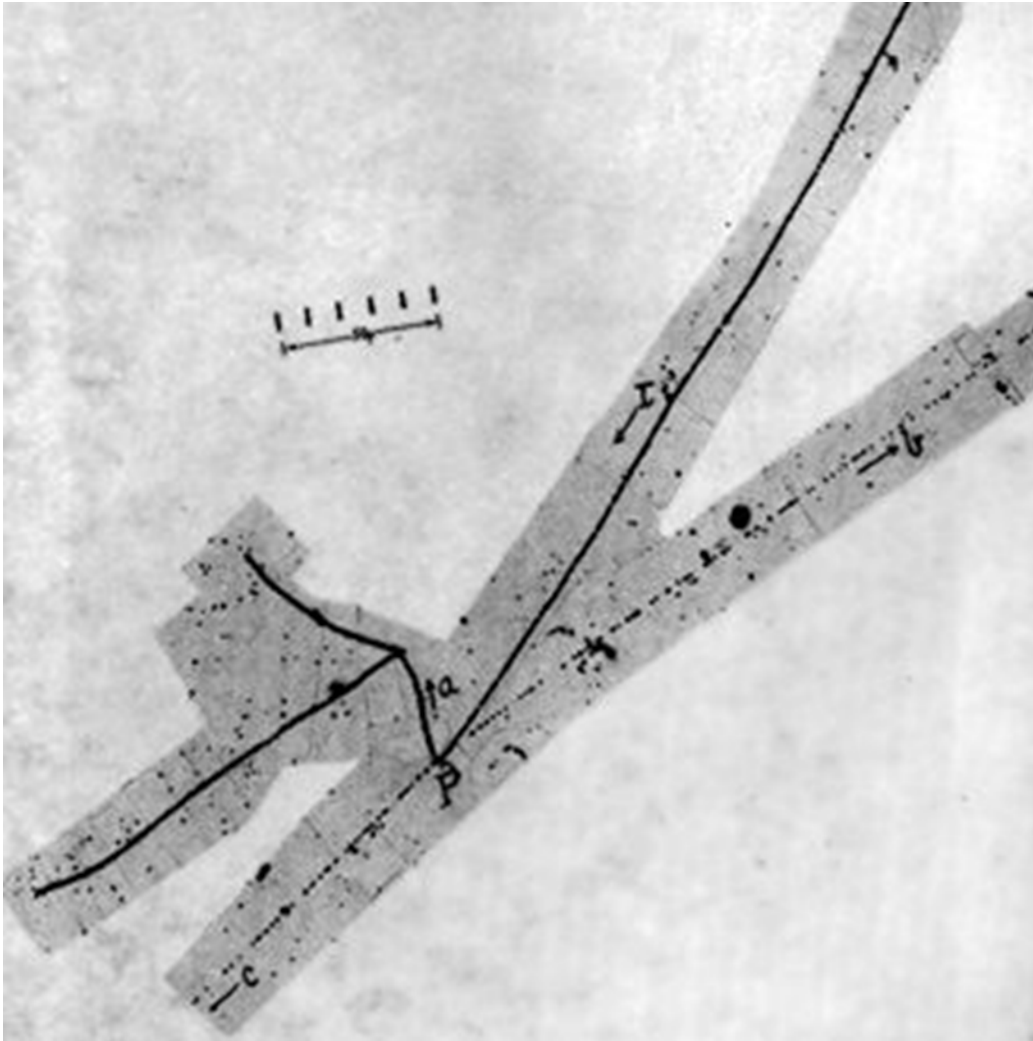
φορτισμένα πιόνια π^+
και π^-

1947 Occhialini Conversi
Διάσπαση πιονίου.



Διάσπαση $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ από τη διάλεξη του C. Powell



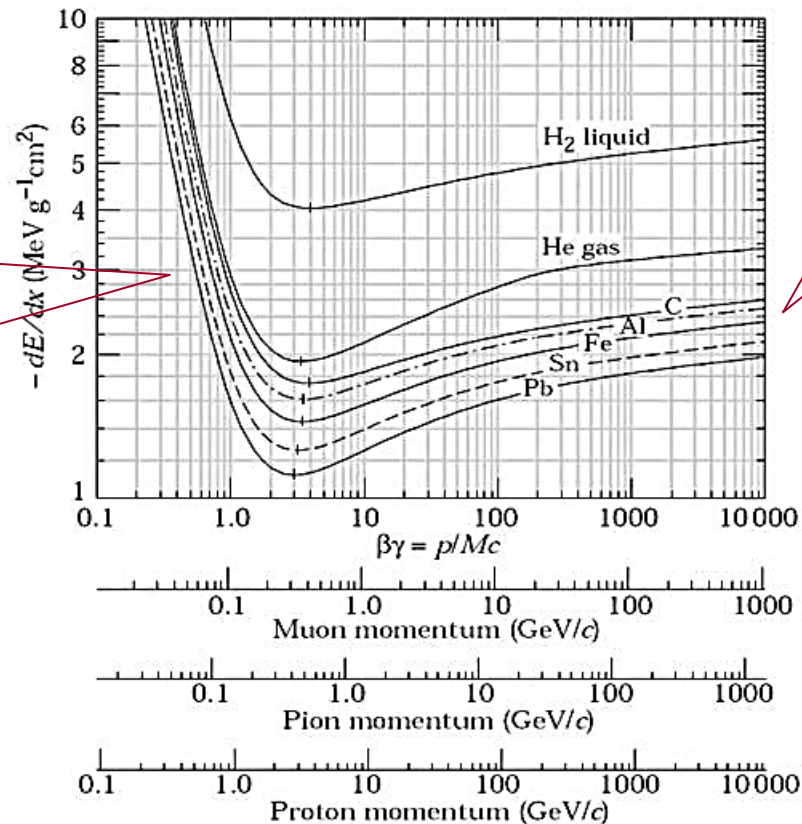


Ένα K^+ διασπάται σε $\pi^+ \pi^+ \pi^-$

Απώλειες Ενέργειας

Bethe-Bloch for Different Materials

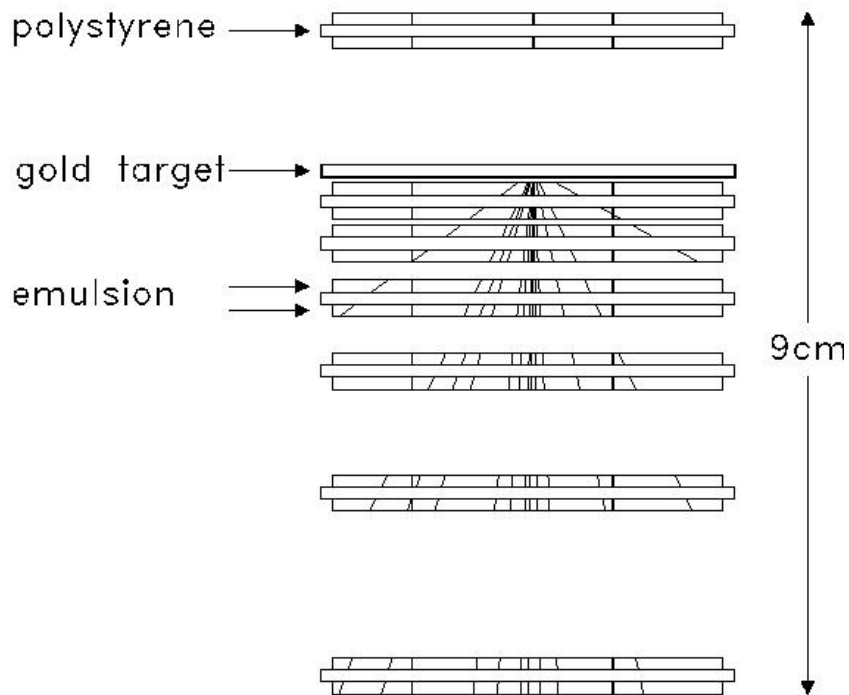
Η απώλεια λόγω ιονισμού
ελαττώνεται όσο
αυξάνεται η ταχύτητα



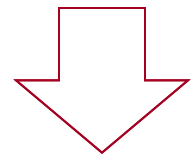
Υλικό

Φιλμ (nuclear emulsion).

EMU01 Chamber Design



Νεώτερη κατασκευή



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

Ανιχνευτές σε αερόστατα και δορυφόρους

Βραβεία Nobel

The Nobel Prize in Physics 1936

- Victor F. Hess
- Carl D. Anderson (ποζιτρόνιο)

•The Nobel Prize in Physics 1950

- Cecil Powell (πιόνιο)
- **The Nobel Prize in Physics 1954**
- Max Born
- Walther Bothe (κύκλωμα σύμπτωσης)

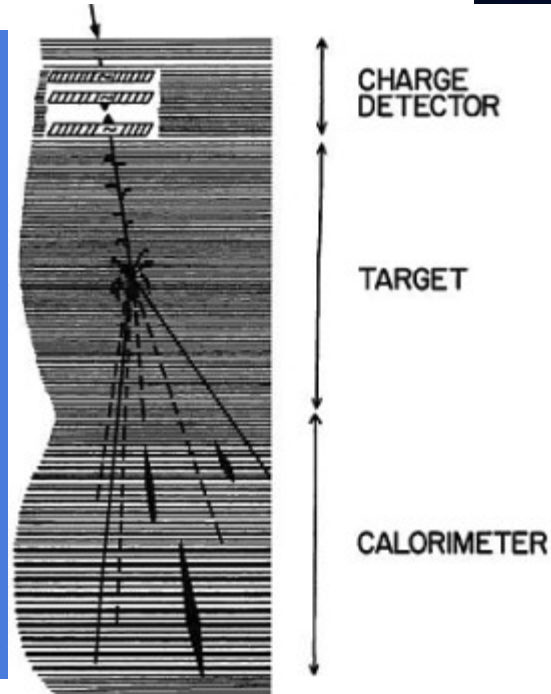
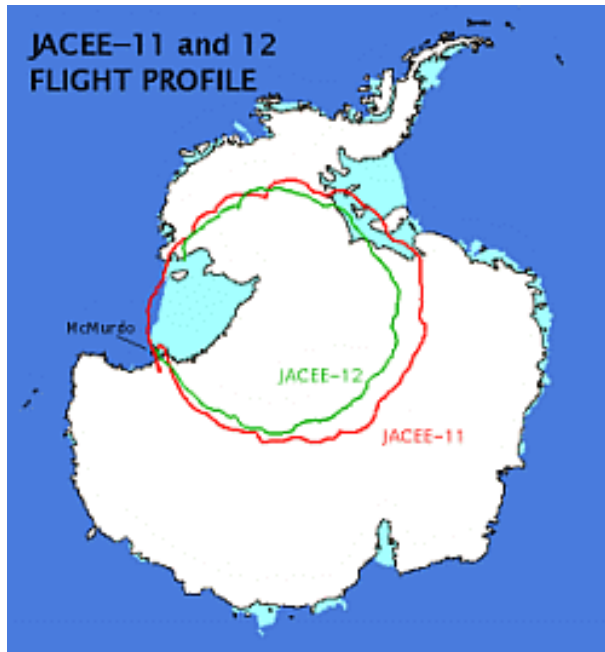
Νεώτερες ανακαλύψεις

- Από το 1958 αναπτύχθηκαν οι επιταχυντές και η σωματιδιακή φυσική γίνεται σε πειράματα επιταχυντών.
- Μετά το 1980, αναθερμαίνεται το ενδιαφέρον στις κοσμικές ακτίνες με τη στροφή στα πειράματα νετρίνων και ακτίνων γ πολύ μεγάλης ενέργειας.
- Το ενδιαφέρον των κοσμικών ακτίνων μετατοπίστηκε στον προσδιορισμό της προέλευσης, της επιτάχυνσης και την κοσμολογικά φαινόμενα

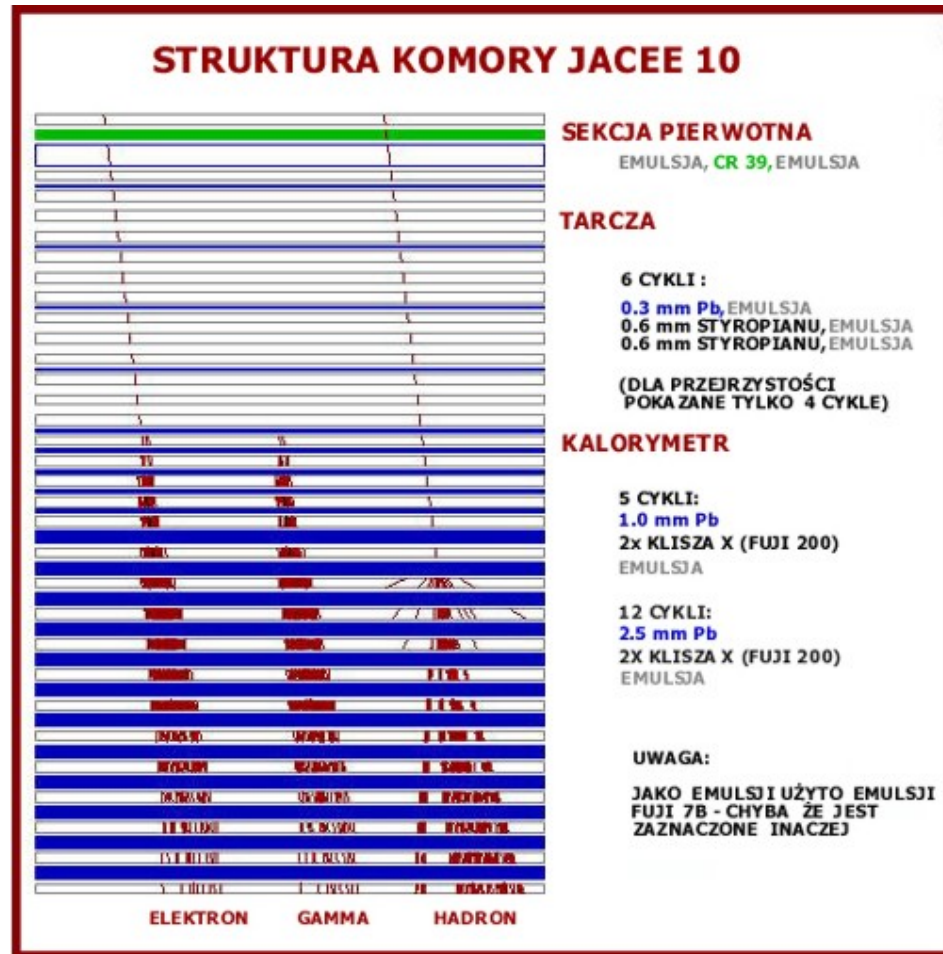
Σημαντικές ανακαλύψεις στο πεδίο των κοσμικών ακτίνων:

- Γιγάντιοι καταιωνισμοί (Extensive Air Showers).
- Ηλιακά νετρίνα.
- Νετρίνα από τον υπερκαινοφανή SN1987.
- Ταλαντώσεις ατμοσφαιρικών νετρίνων.
Ταλαντώσεις ηλιακών νετρίνων.

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.

Πειράματα με αερόστατα. BESS

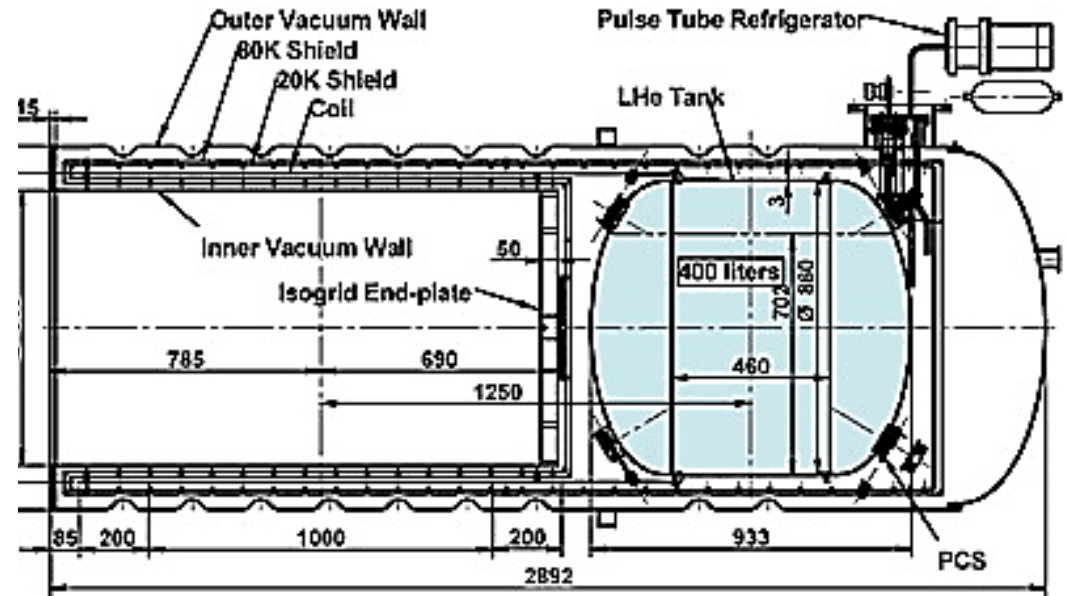
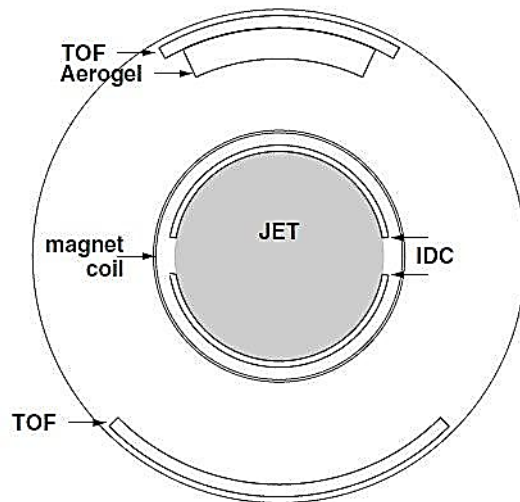
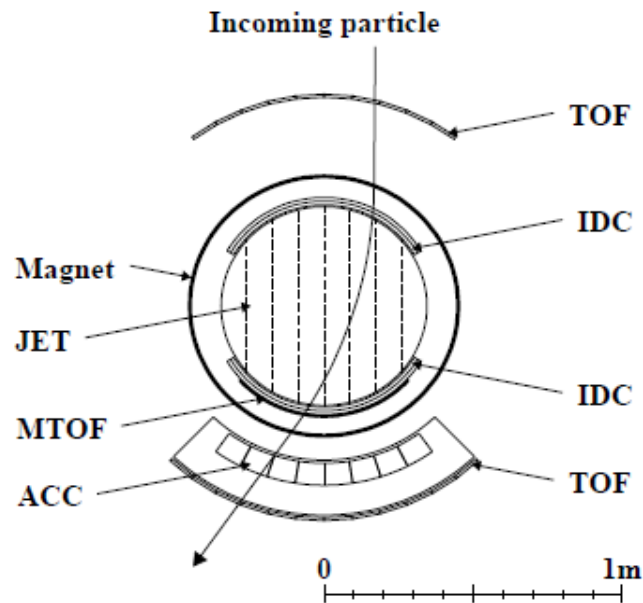


Fig. 5.3. The BESS detector (not to scale).

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



Διατομή ανιχνευτή BESS



TOF scintillator hodoscope

Supeconductive coil

IDC inner drift chamber

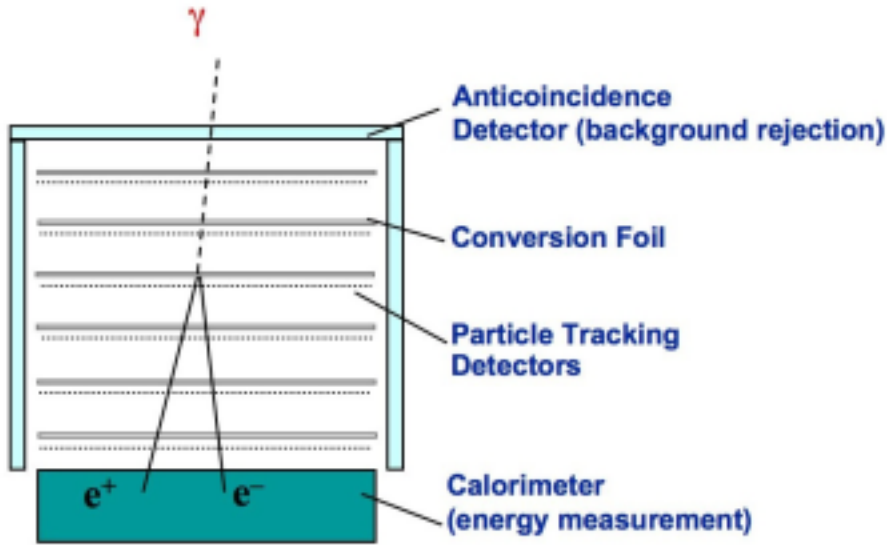
MTOF middle time of flight
(hodoscope)

ACC aerogel cerencov counter

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

Δορυφορικά Πειράματα

Ανιχνευτής ακτίνων γάμμα GLAST



Διαδοχικά επίπεδα silicon strip μετρούν τη θέση των φορτισμένων σωματιδίων ανιχνευτής CsI, μετρά την ολική ενέργεια του φωτονίου.



PAMELA

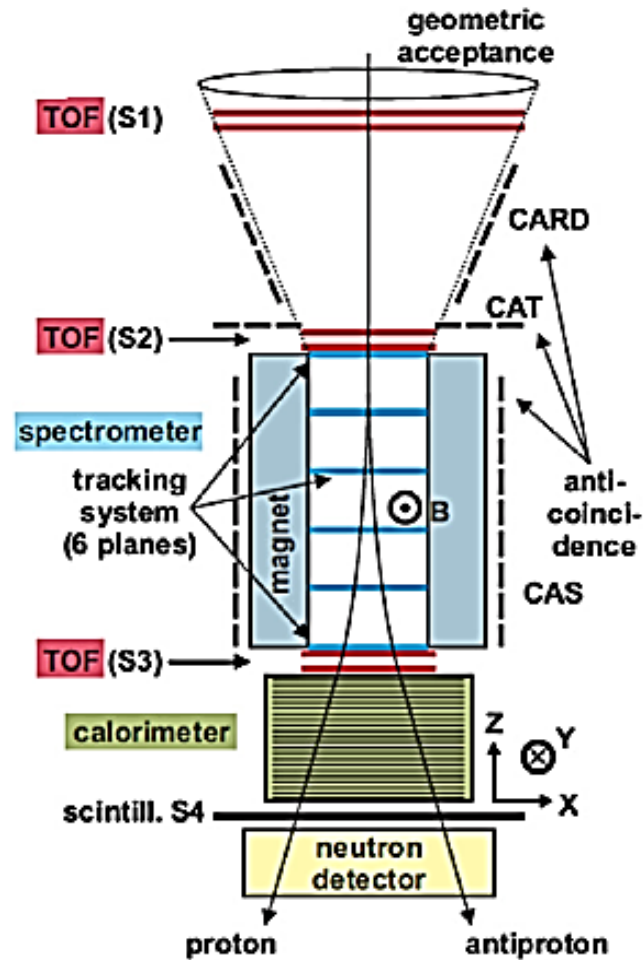
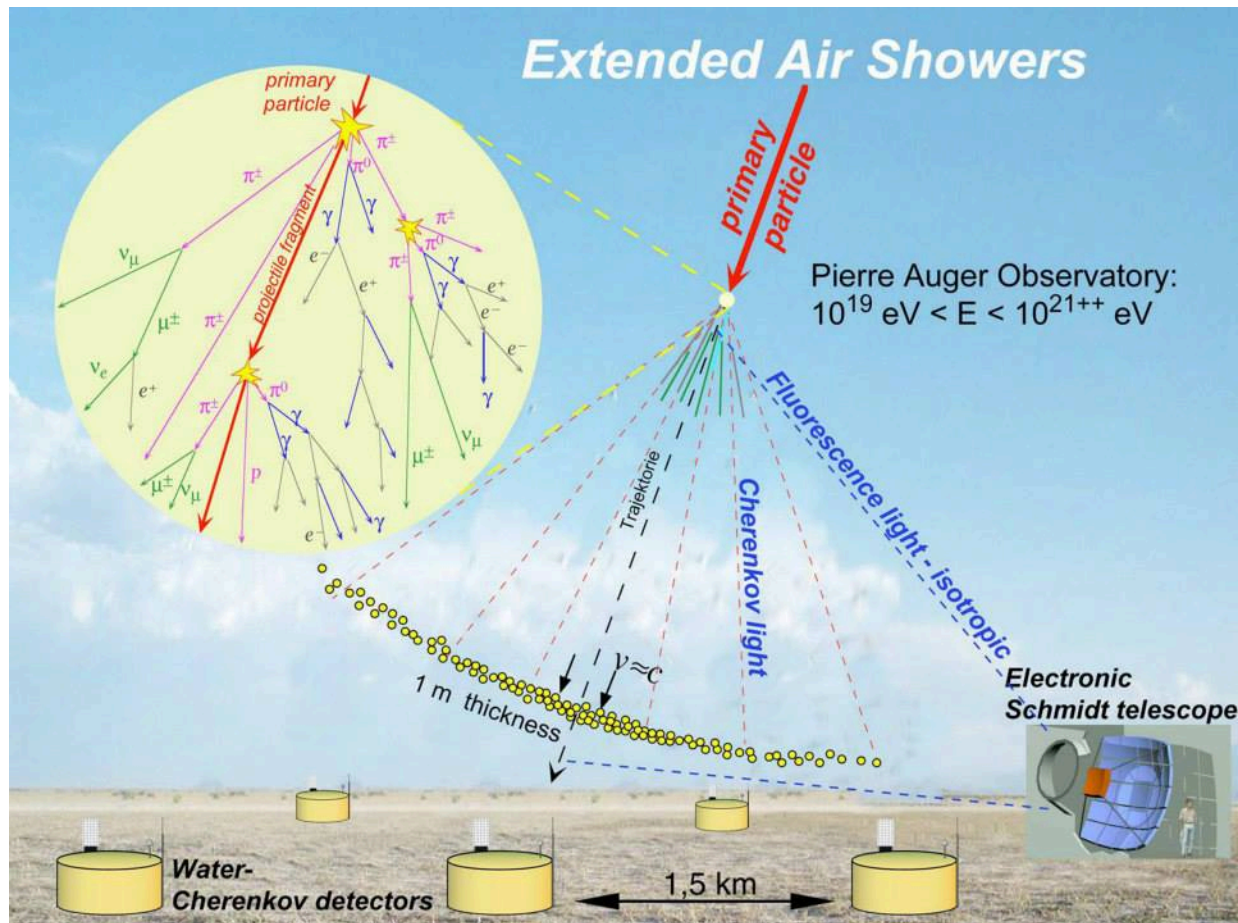


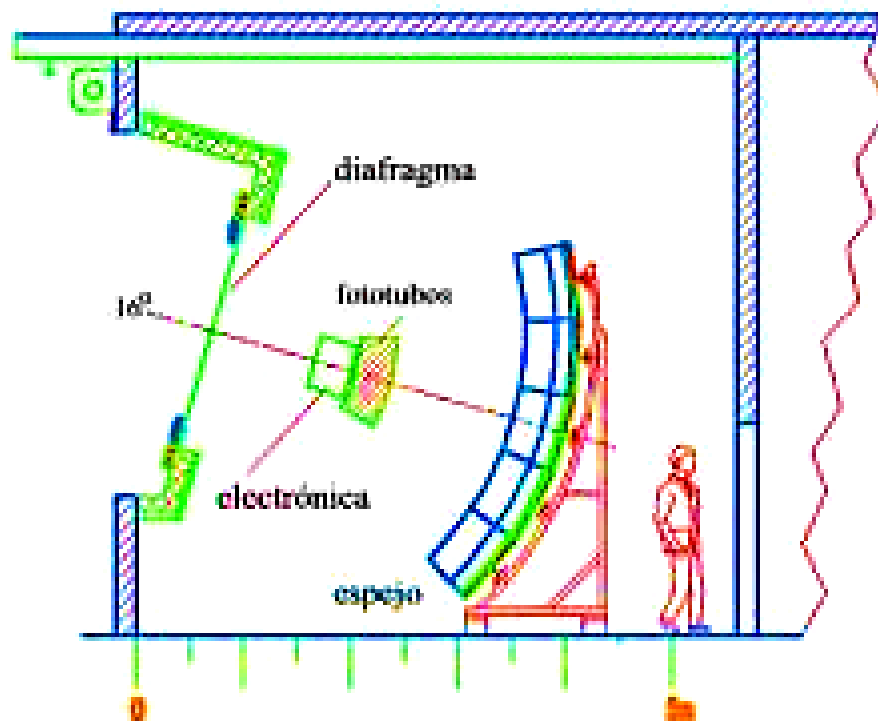
Fig. 1. A sketch of the PAMELA telescope. The method of discrimination between particle and antiparticle with the magnetic spectrometer is illustrated. The main direction of the magnetic field B inside the spectrometer is also shown.

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.

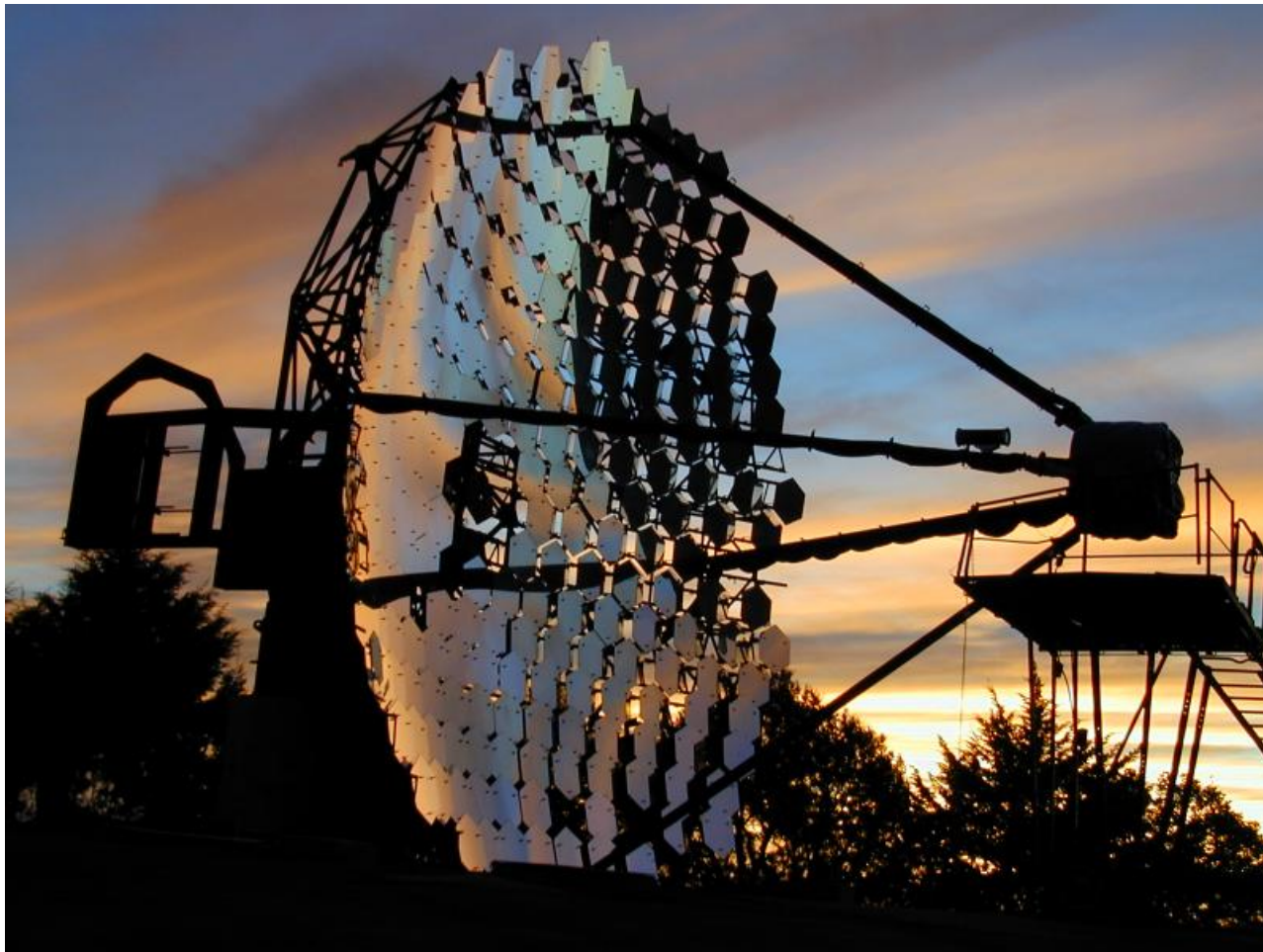
Πειράματα Καταιονισμών Υψηλής Ενέργειας



Auger unit



Καταιονισμοί Ακτίνων γ Υψηλής Ενέργειας

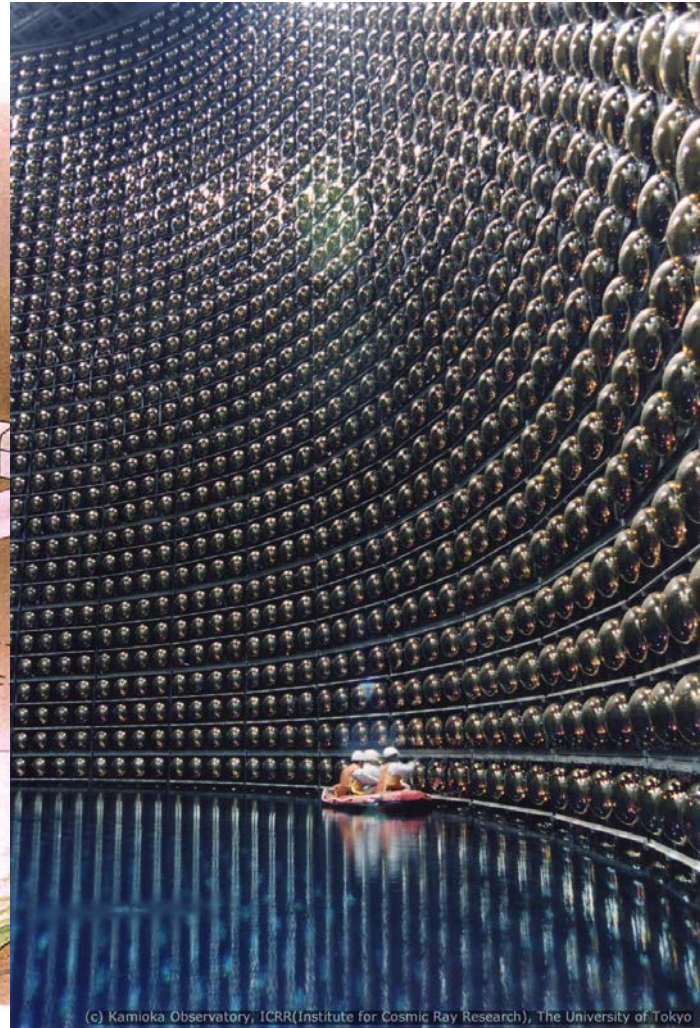
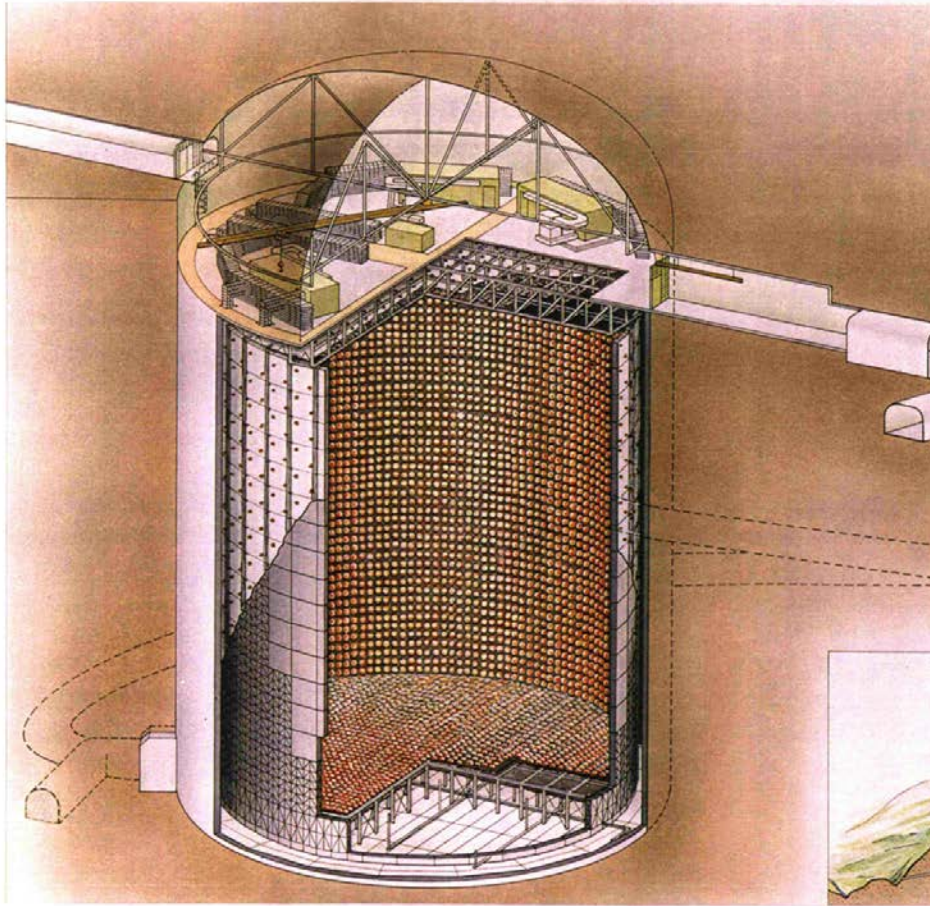


VERITAS



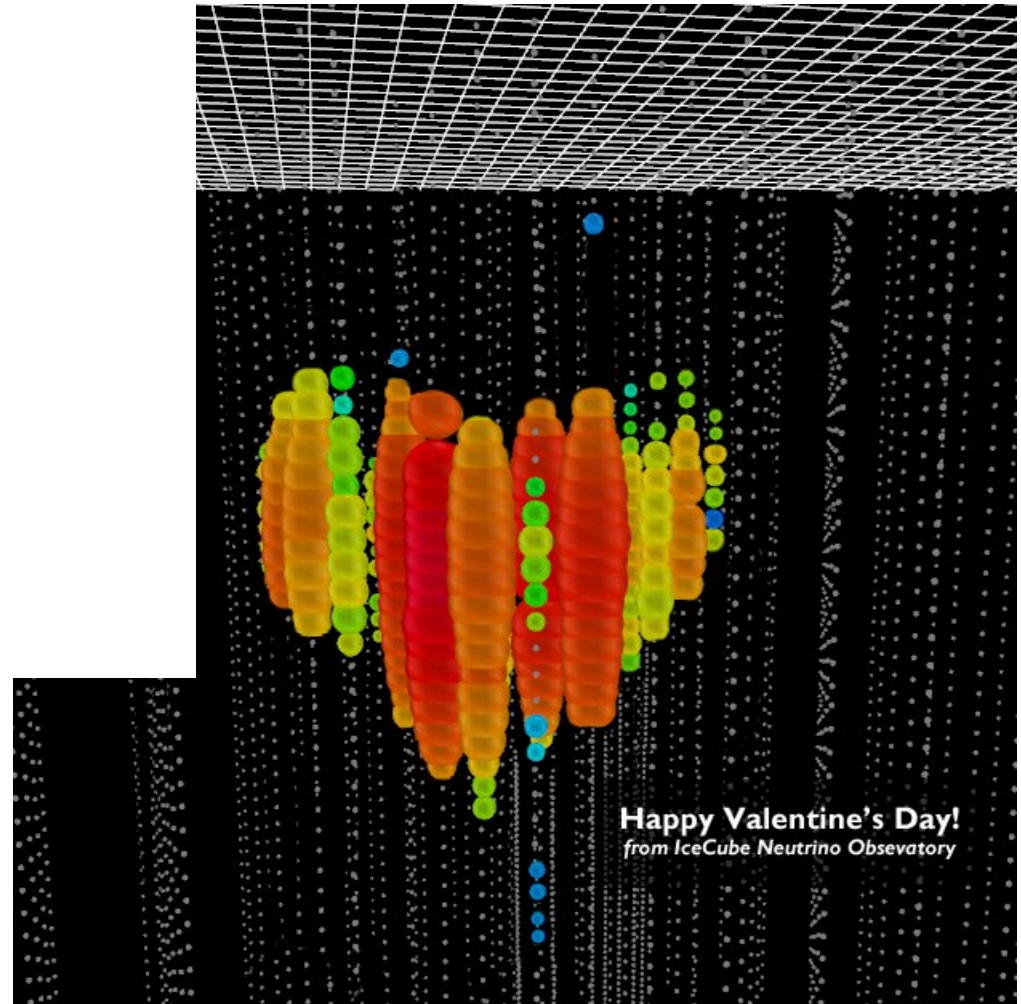
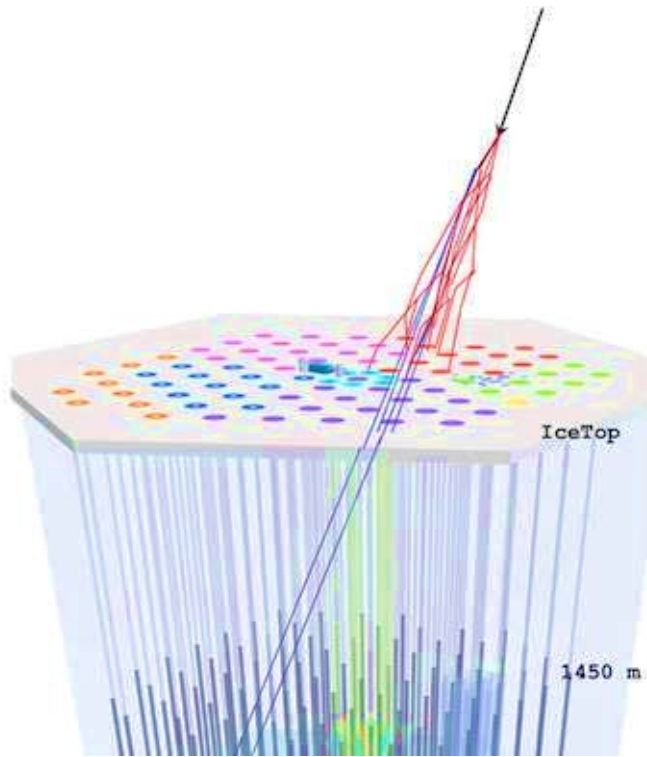
Πειράματα Νετρίνων

SUPER KAMIOKANDE

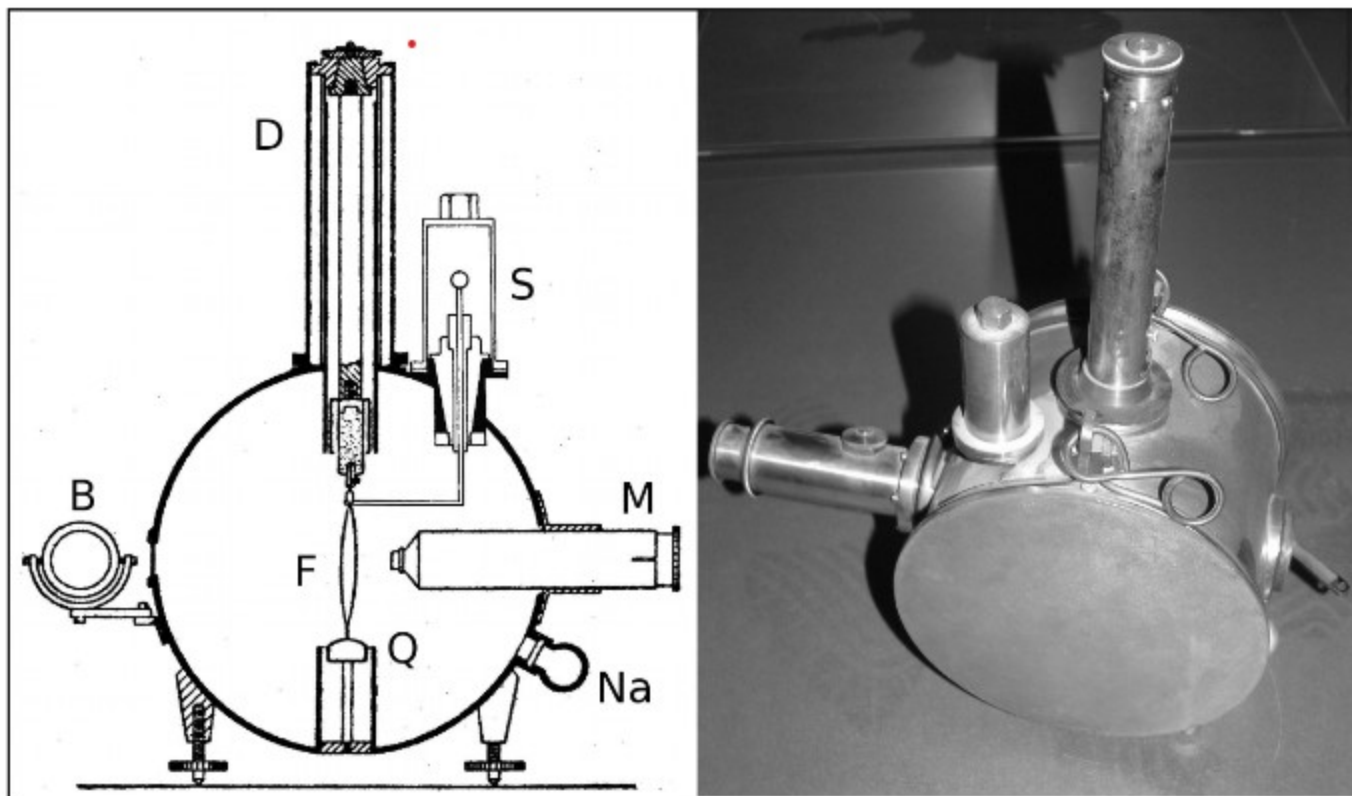


(c) Kamioka Observatory, ICRR(Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo

ICE CUBE



Ηλεκτρόμετρο Wulf, που χρησιμοποίησε ο Hess



Μετρήσεις στην «γόνδολα» του αερόστατου!

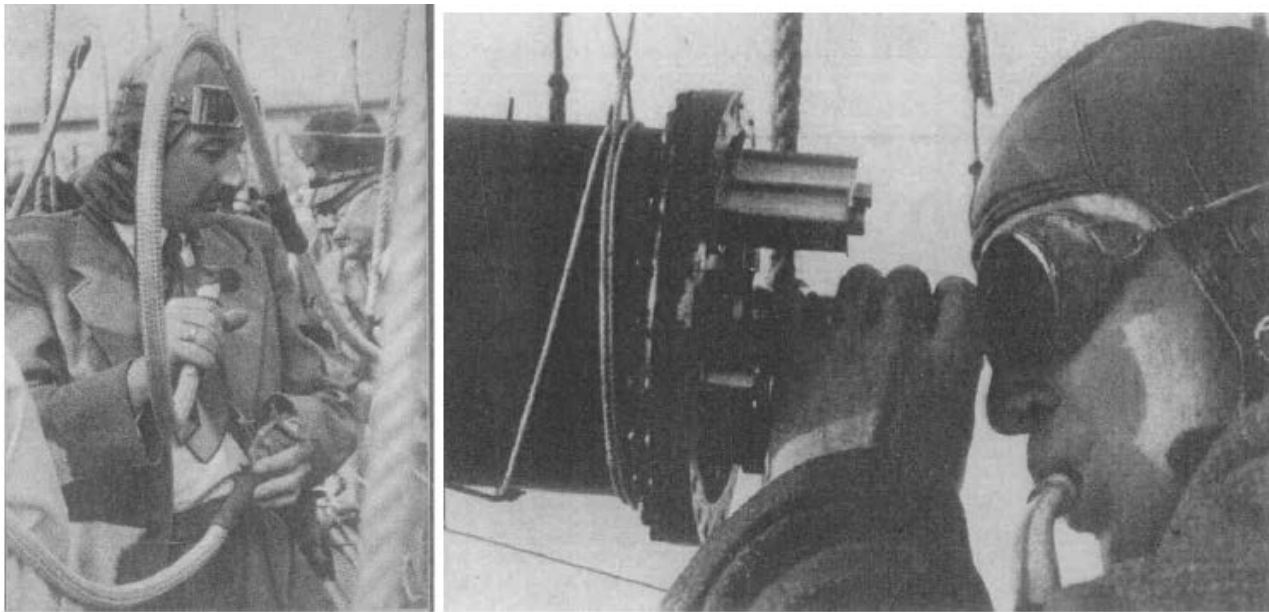


FIGURE 2. Dr. M. Schrenk (*left*) with a breathing apparatus in the balloon gondola and V. Masuch, reading an electrometer (*right*), preparing for their balloon launch on May 13th, 1934 [10].

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 έμβολο προκαλούνταν υποπίεση με αποτέλεσμα την 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..



Emulsions VS Photographic films

- Main differences with respect to standard photographic films:
 1. The ratio of silver halide to gelatine ~ 8x larger in nuclear emulsions
 2. Emulsions are ~ 10 up to 100 times thicker
 3. Developed silver grains are smaller and more uniform

