



Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Φυσικής – Τομέας Πυρηνικής Φυσικής & Στοιχειωδών Σωματιδίων
Σταθμός Κοσμικής Ακτινοβολίας



Μάθημα Επιλογής: Αστροσωματιδιακή και Κοσμική Ακτινοβολία

<http://cosray.phys.uoa.gr>

ΥΛΗ ΚΟΣΜΙΚΗΣ

- **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**
- **ΣΥΣΤΑΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**
(ιδιότητες, πυκνότητα ,ισοτροπια, ενεργειακό φάσμα)
- **ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΙΓΙΣΜΟΙ**
(σύσταση δευτερογενούς Κ.Α. –Ιδιότητες)
- **ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΚΑ** (πηγές, επιτάχυνση σωματιδίων σε ισχυρά κρουστικά κύματα _2^{ος} Fermi, δυναμικός μηχανισμός __1^{ος} Fermi)
- **ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑ ΑΠΟ ΤΟ ΓΗΙΝΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ**
(δυναμική κοσμικού σωματιδίου στο γήινο μαγν.πεδίο_θεωρία Stormer, μαγνητική δυσκαμψία, ασυμπτωτικές τροχίες)

ΥΛΗ ΚΟΣΜΙΚΗΣ

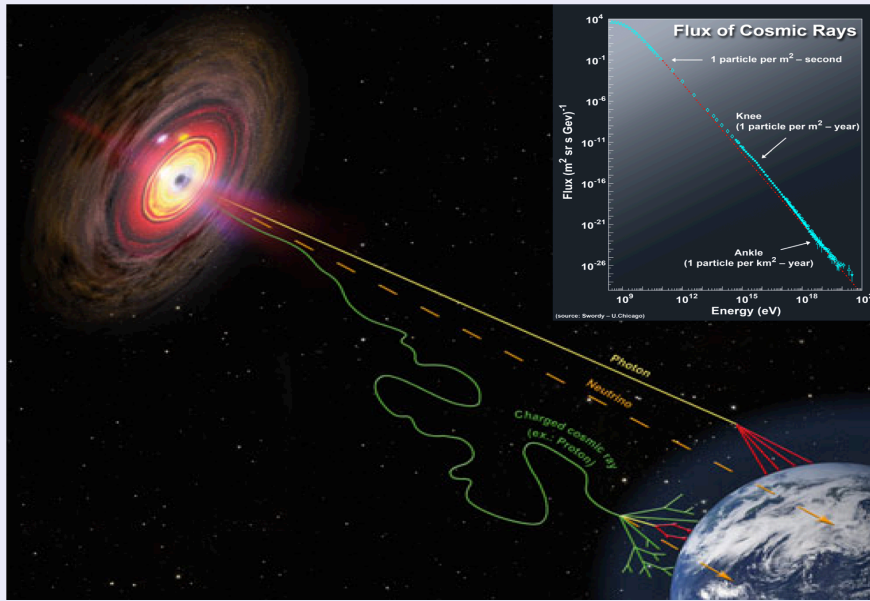
- **ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΚΑ (Ground Level Enhancements _GLE, Forbush Decreases _FD, Magnetospheric events)**
- **ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΑ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (Μετρητές Νετρονίων, Δίκτυο μετρητών)**
- **ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΡΕΥΝΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑ- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ (Προειδοποιητικά σήματα _ Precursors and GLE Alert, Δοσιμετρία, Forecasting of SPEs, Υγεία, Κλίμα)**

Κοσμική Ακτινοβολία

σωμάτια υψηλών ενεργειών (10^6 eV - 10^{21} eV)

Εξωδιάστημα + δευτερογενή παραγόμενα (γήινη ατμόφαιρα) (D.Perkins, 2003)

Σωματίδια και φωτόνια με ενέργειες τουλάχιστον κάποιες τάξεις μεγέθους > από τη μέση ενέργεια θερμικών σωματιδίων του πλάσματος υποβάθρου.(L. Dorman, 2014).



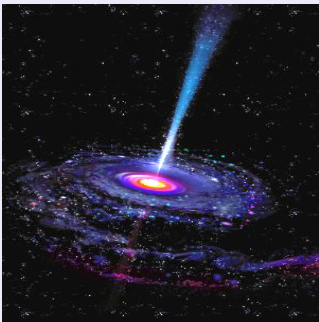
ΠΗΓΕΣ?

- εντός Γαλαξία (σταθεροι αστέρες-ηλιος, καινοφανείς και υπερnova,παλομμενοι αστέρες,αστερες νετρονίων διαστρική ύλη)
- εκτος Γαλαξία (Ενεργοι Γαλαξιακοι Πυρήνες AGN, black holes)

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Εξωγαλαξιακή CR

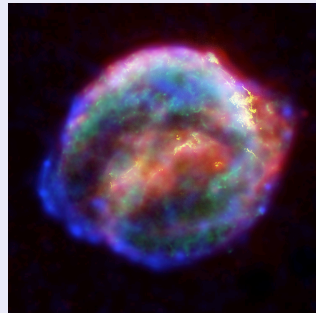
- πολύ υψηλές ενέργειες μέχρι 10^{21}eV
(radiogalaxies, quasars)



Active Galactic Nuclei (AGN), Gamma-Ray Bursts (GRB)

Γαλαξιακή CR

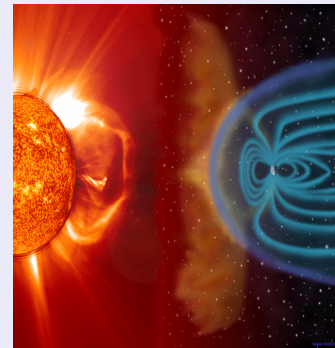
- υψηλές ενέργειες μέχρι $10^{15} - 10^{16}\text{eV}$
(supernova explosions, magnetospheres of pulsars, double stars)



SNR (Supernova Remnant)

Ηλιακή CR

- ενέργειες μέχρι 15-30 GeV



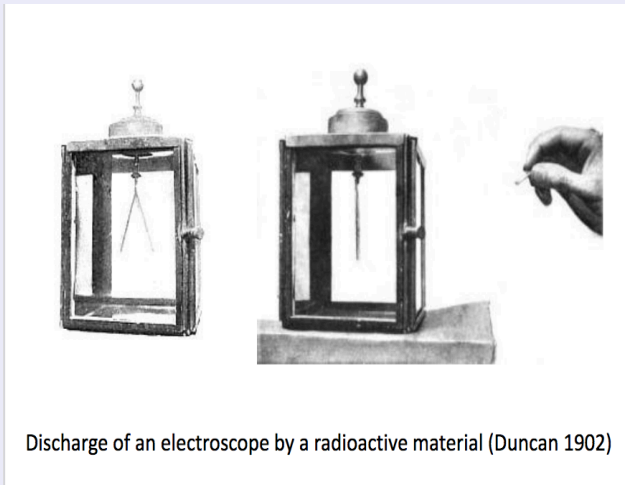
Διαπλανητική CR

- Ενέργειες 10-100MeV
(shock wave at the boundary of heliosphere and external to Earth Magnetosphere)

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

1900-1909 : Πειράματα σχετικά με τον ιονισμό και την αγωγιμότητα του αέρα (start Coulomb 1785) . Υπόθεση μονο γ-ακτινοβολία μπορεί να δημιουργήσει παρατηρησιμο ιονισμό του αέρα. (έχει εισαχθεί η α , β και γ ακτινοβολία)

Rutherford and Cooke (1903) Παρατηρήσεις με ηλεκτροσκόπιο (στρωμα μολύβδου) .Με εκπληξη διαπίστωσαν ότι ακόμη και με θωράκιση 5 τονων Pb ο ιονισμός του αέρα παραμένει 6 pairs of ions in cm^3 per second! ($U \downarrow$). Radioactive pollution of a material within the device (self radiation of the device)



Ιονισμός του αέρα - ραδιενεργή προέλευση

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

K. Kurz (1909): τρεις πιθανές πηγές παρατηρήσιμου ιονισμού:

- γ- rays απο το φλοιό της Γης
 - Ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα
 - Ακτινοβολία από το διάστημα
- rejected as improbable.

1908-1909 μεταφέρουν τη συσκευή από την επιφάνεια προς τα κάτω το κάτω μέρος ενός ορυχείου αλατιού, παρατηρούν πτώση 28% .

In agreement with the literature, the Earth is the source of the penetrating radiation and that certain waters, soils and salt deposits, are comparatively free from radioactive substances, and can therefore act as efficient screens (Eve, Rutherford)

ΚΥΡΙΑΡΧΗ ΙΔΕΑ 1909

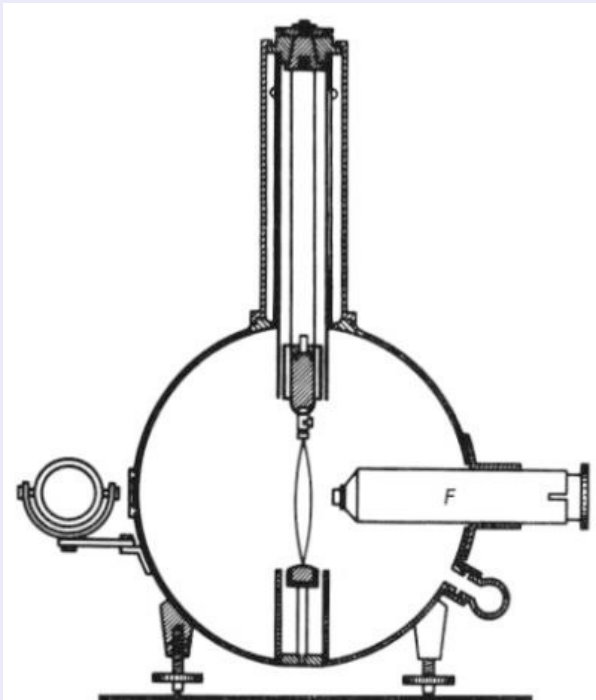
Η Γη αποτελεί την κυρια πηγή της ακτινοβολίας-γ και ορισμένα εδάφη, νερα και αποθέσεις αλάτιών είναι συγκριτικά απαλλαγμένα απο ραδιενεργές ουσίες.

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

1909 : Theodor Wulf βελτίωσε το ηλεκτροσκόπιο και το έκανε φορητό.

Πρώτη προσπάθεια να μελετήσει τη μεταβολή του ιονισμού με τη απόσταση απο το έδαφος τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα!1

Η αποφασιστική μέτρηση_ Πάσχα 1909 ταξιδι στο Παρίσι με αρκετά ηλεκτροσκόπια.



Electroscope of T. Wulf (1909). From I. Dorman (M1981).



Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

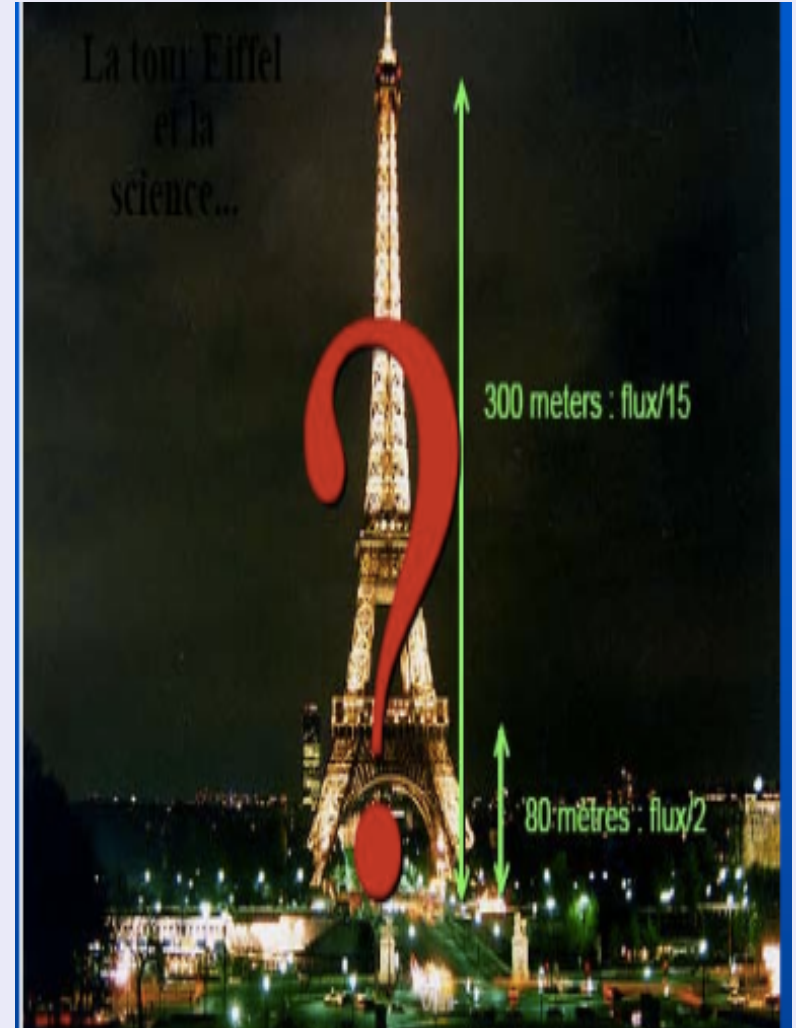
1909 : Theodor Wulf : παρατηρεί ότι ο ιονισμός πέφτει από 6 ιόντα/cm³ καθώς ανέβαινε στον πύργο του Eiffel (330 m).

Αν ήταν γ-ακτίνες που προέρχονταν από την επιφάνεια της γης και ήταν οι πιο διεισδυτικές από τις μέχρι τότε γνωστές τότε αναμένονταν εκθετική μείωση .Η πυκνότητα των ιόντων θα περιοριζόταν στο μισό στο ύψος των 80 m.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΑ !

Note: at that time people were convinced that natural radioactivity was mostly due to gamma rays

Taken as a confirmation of the dominant opinion: radioactivity came from the soil



Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

1911: **Pancini** μετρήσεις σε βουνά, στο έδαφος και θάλασσα (βυθίζοντας ένα ηλεκτροσόπιο σε 3 μετρα βάθος παρατηρεί μείωση της ακτινοβολίας κατα 20%



Το εδαφος ΔΕΝ είναι το μόνο υπεύθυνο για την ακτινοβολία



Στην ατμοσφαιρα υπάρχει μια σημαντική αιτία ιονισμού, η οποία προέρχεται απο κάποια διεισδυτική ακτινοβολία, ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ απο την άμεση δράση ραδιενεργών ουσιών στο έδαφος

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

1912: Victor Hess (1883-1964 Αυστριακός Φυσικός
Μετρήσεις με αερόστατα (7 πτήσεις 1911-1912).

- 1000m: ένταση ↓ αλλά > 1000 m ένταση ↑
- 7^η πτήση (7-8-1912): ύψος 5350 m η ένταση πολλαπλάσια!
- Ιδια ένταση ημέρα και νύχτα.
- Εξάρτηση από ατμοσφαιρικές παραμέτρους

Table 1.1. The dependence of ionization rate from the altitude. According to Hess (1912)

| Average height from the ground, m | Observable ionization rate, $\text{ion.cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ | | Average height from the ground, m | Observable ionization rate, $\text{ion.cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ | |
|-----------------------------------|---|-------------------|-----------------------------------|---|-------------------|
| | The first device | The second device | | The first device | The second device |
| 0 | 16.3 (18)* | 11.8 (20) | 1000-2000 | 15.9 (7) | 12.1 (8) |
| Up to 200 | 15.4 (13) | 11.1 (12) | 2000-3000 | 17.3 (1) | 13.3 (1) |
| 200-500 | 15.5 (6) | 10.4 (6) | 3000-4000 | 19.8 (1) | 16.5 (1) |
| 500-1000 | 15.6 (3) | 10.3 (4) | 4000-5200 | 34.4 (2) | 27.2 (2) |

* The figures in brackets mean the number of observations from which the average was obtained.

7 April 1912



To show how the ionizing radiation with height changes, V. Hess united 88 values of measurements of the ionization rate, performed at various heights during all seven flights (for each height from the several values received under various conditions, the average undertook). The data are resulted in Table 1.1.

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

- Επιβεβαίωση απο **Kolhoerlster** 9.000m 40φορες μεγαλύτερη από την επιφάνεια της θάλασσας ($80 \text{ ions/cm}^3 \text{ s}$ από $2 \text{ ions/cm}^3 \text{ s}$) !
- Συμφωνία με μετρήσεις απο θαλάμους ιονισμού
- Ο συντελεστής εξασθένησης της ακτινοβολίας υπολογίζεται $a=10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ ενώ ο αντίστοιχος της ακτινοβολίας- γ είναι $a= 4.5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$ Άρα πιο διεισδυτική απο γ της φυσικής ραδιενεργειας!

The radiation discovered was called “penetrating radiation” or “ ultra-gamma radiation” by V. Hess

1936 Nobel Prize

Ερώτημα: πρόλευση της “penetrating radiation”?

όχι από το έδαφος , εντος- εκτός ατμόσφαιρας ή απο το διαστημα?

2012: 100 years anniversary!

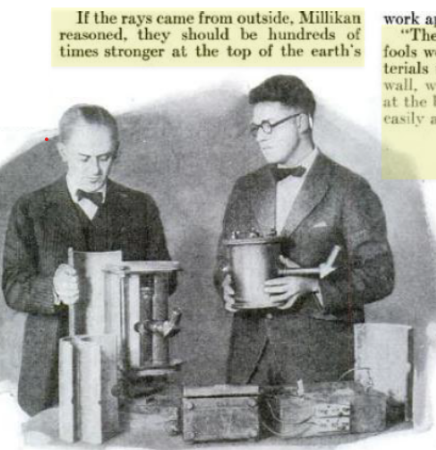


Figure 1.11. During the Nobel ceremony at December 1936 in Stockholm: Victor Hess (right) and Carl Anderson (middle) are seated beside chemistry laureate Peter Debye (Carlson, 2012). From Dorman and Dorman (2014).

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

Απάντηση 1926: Millikan and Cameron βασιζόμενοι σε πολλά πειραματικά δεδομένα υποστήριξαν ότι πρόκειται για ακτίνες- γ πιο διεισδυτικές από αυτές της φυσικής ραδιενέργειας οι οποίες ΔΕΝ προέρχονται από την ατμοσφαιρα αλλά από το διάστημα και έδωσε το όνομα **Κοσμικές Ακτίνες_ Cosmic rays!!**

From the lips of Dr. Millikan in Washington, I heard the thrilling story of his discovery. I found him a vital, dynamic man of sixty, whose handshake crushed my fingers and whose simple word carried the assurance of authority. That story was one of years of fruitless experiment, bitter disappointment, physical hardship, and final triumph. He told of struggles up rugged mountains on two continents to find and measure the elusive rays—then of a flash of inspiration only a few weeks ago that proved the rays the actual messengers of creation.



Dr. Millikan (left) and Dr. G. Harvey Cameron with electroscopes they sank in California and Bolivia mountain lakes to detect cosmic rays. The instruments were raised and examined through the eyepiece

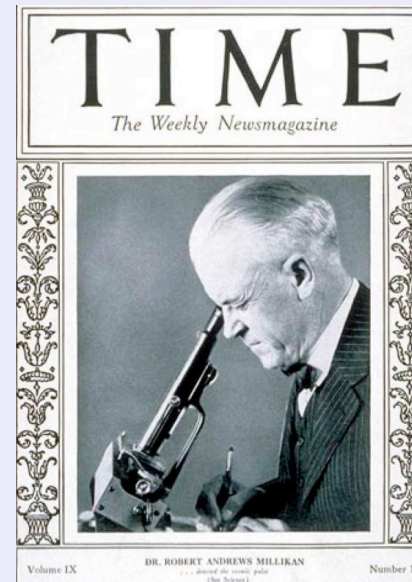
air than at the bottom. He resolved to send a sounding balloon with instruments to record them clear to the top of the atmosphere.

work apparently wasted. "Then," said Millikan, "we saw what fools we had been to carry building materials up that mountain. Why build a wall, when you can bury an electroscopes at the bottom of a mountain lake just as easily as you can hide it behind a lead screen, and the water of the lake will serve as the equivalent of many feet of lead. The next thing to do was to go at it sensibly. We would climb to the top of 15,000-foot Mount Whitney, in southern California—the highest mountain in the United States—and there, under its brow, would sink our electroscopes in the pure, snow-fed waters of Muir Lake."

With Dr. Cameron and a couple of students, Millikan toiled up Mount Whitney in August, 1925, and found the secret of the stars.

Two thousand feet from the top, they had to shoulder the boats, lumber to build rafts, and instruments their mules had carried.

Anxiously they sank their electroscopes. A cry of triumph echoed through the frosty air. There were cosmic rays—rays that pierced the water for fifty feet, downward, and then stopped!



A. De Angelis, 2012

Τμήμα Φυσικής ΕΚΠΑ
Χειμερινό Εξάμηνο, 2021-2022

Μ.Γεροντίδου, 2021-2022

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

Είδος ακτινοβολίας? Charged or neutral?

Κ.Α: γ -ακτινοβολία λόγω της υψηλής διεισδυτικότητας (οχι γνωστή η διεισδυτικότητα των σχετικιστικών φορτισμένων σωματιδίων)

Millikan: creation He atoms from atoms of H together with the generation of high energy gamma rays (in contradiction with physical laws, as this reaction can occur only at very high temperature and great density, e.g., inside the Sun and stars, but in this case γ -rays cannot go outside). About this interesting problem there was a famous public discussion between the two Nobel Prize laureates Arthur Compton and Robert Millikan, which was widely reported in many Newspapers.

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

Απάντηση **1929**: Οι Both και Kolhorster αποδεικνύουν με σειρά πειραμάτων (ανιχνευτές Geiger-Muller) ότι πρόκειται για σωματιδιακή ακτινοβολία, δηλαδή πολύ ενεργητικά σωματίδια.

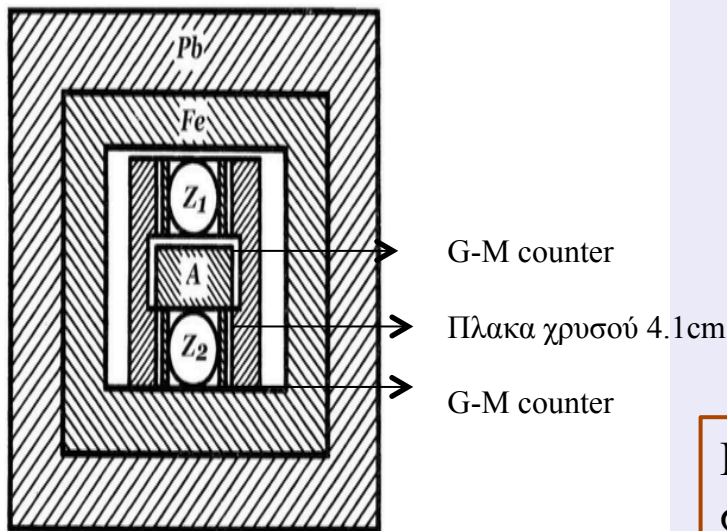


Figure 3.4. The scheme of experiments of Bothe and Kolhörster (1929). From I.V. Dorman (M1981).

Αν ήταν ακτινοβολία γ δεν θα μπορούσαν δύο δευτερογενή ηλεκτρόνια που παράγονται από τις ίδιες ακτίνες γ να χτυπήσουν ταυτόχρονα σε δύο ανιχνευτές (ταυτόχρονες αποφορτίσεις).

Πρόκειται για πολύ ενεργητικά σωματίδια, λόγω της μεγάλης διαδρομής τους στην ύλη, με ενέργειες 10^9 - 10^{10} eV.

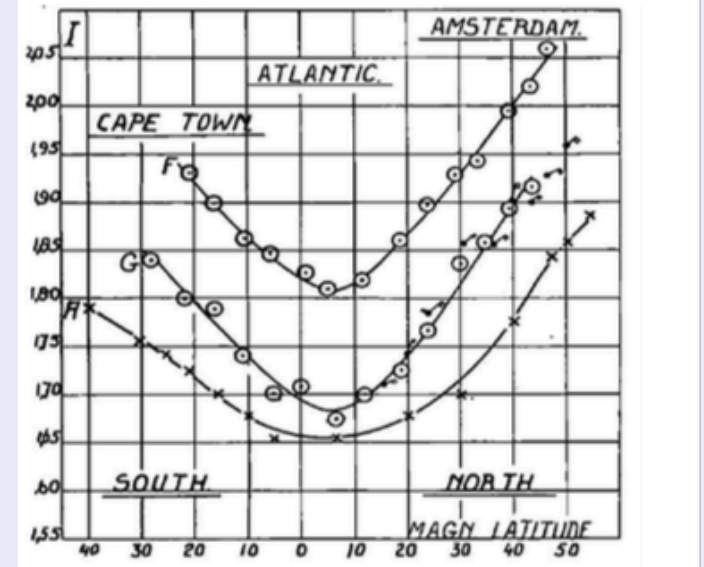
Bothe and Kolhörster (1929) for the first time came up with the idea that if CR at least partially consist of charged particles, as a result of rejecting action of a magnetic field of the Earth, the intensity of CR on poles should be much more than on the equator, i.e. there must exist a latitude effect of CR

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Έρευνας

The geomagnetic effect in CR (the CR flux depends on latitude) was discovered accidentally in 1927 by the Dutch researcher J. Clay

Clay was measuring radiation in Java; in 1927 he carried his detector in a trip from Java to Genova

Confirmed by Clay himself in 1928 (Java to Amsterdam), by Kolhörster, by Rossi, by Compton+



Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

Επιβεβαίωση Arthur Compton organized a world wide survey of the dependence of cosmic intensity on geomagnetic latitude.

Moreover, in the 1930s it was shown by investigations of West-East CR asymmetry that the majority of primary CR must be positive energetic particles. Later, in the 1940s – 1950s, it was established by direct measurements at high altitudes on balloons and rockets that, for the most part, cosmic rays are energetic protons, about 10% He nuclei, 1% more heavy nuclei, energetic neutrino, electrons, positrons, and energetic gamma rays.



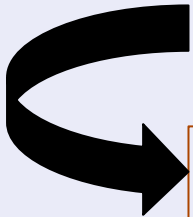
Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

Για την περίοδο 1920-1950 η κοσμική ακτινοβολία είναι μια φυσική πηγή σωματιδίων πολύ ψηλών ενεργειών που είναι αρκετά ενεργητικά για να διεισδύσουν στον πυρήνα και αυτή είναι η βασική τεχνική με την οποία ανακαλύπτονται σωματίδια μέχρι το 1950. Οι πρώτες ανακαλύψεις έρχονται από βελτιώσεις σε παλαιότερα πειράματα του Skobeltsyn με θαλάμους αερίου και ακολουθούν και πολλά άλλα.

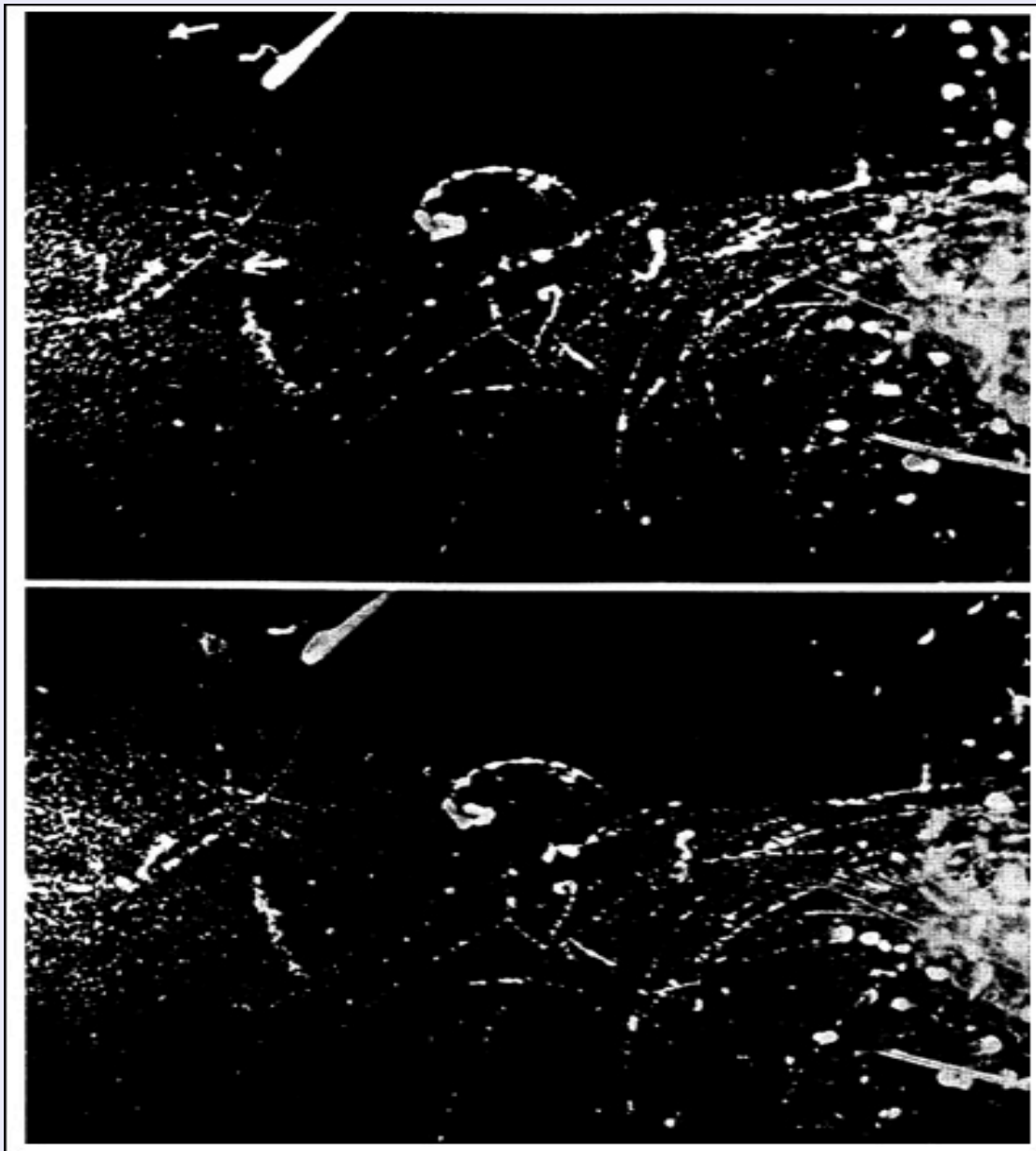
Πρώτη ευκαιρία να παρατηρήσουμε αγνώστα σωματίδια πριν φταιξουμε το CERN, Fermilab και άλλους επιταχυντές!

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

1930 :Anderson και Millikan χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνήτη δέκα φορές ισχυρότερο από αυτόν του Skobeltsyn για την παρατήρηση τροχιών σωματιδίων μέσα σε θάλαμο αερίου παρατηρούν καμπυλωμένες τροχιές σωματιδίων που είναι ίδια με τα ηλεκτρόνια αλλά έχουν αντίθετο φορτίο.



1933 Πειράματα βασισμένα σε βελτιωμένη τεχνική των Blackett-Occhialini επιβεβαιώνουν την παραπάνω ανακάλυψη. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο ότι ο θάλαμος αερίου ενεργοποιείται μόνο αφού είναι σίγουρο ότι μια κοσμική ακτίνα πέρασε. Με αυτόν τον τρόπο κατάφεραν να πάρουν μερικές πολύ καλές φωτογραφίες των “θετικών ηλεκτρονίων” (ποζιτρονίων). Η ανακάλυψη αυτή συμπίπτει χρονικά με τη θεωρία του ηλεκτρονίου του Dirac. Σε μια από τις πιο μεγάλες επεκτάσεις της κβαντικής μηχανικής, ο Dirac έδωσε τη σχετικιστική εξίσωση κύματος του ηλεκτρονίου που όχι μόνο προβλέπει το spin και τη μαγνητική ροπή αλλά την ύπαρξη επίσης ενός “αντισωματιδίου” του ηλεκτρονίου, **του ποζιτρονίου**.



Πρώτη φωτογραφική καταγραφή άφιξης σωματιδίου από τον Skobeltsyn το 1929. Το ίχνος του σωματιδίου δηλώνεται από τα δύο άσπρα βέλη στην πάνω φωτογραφία

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

1936 : Οι Anderson και Neddermeyer συνεχίζοντας τα πειράματα με θαλάμους αερίου ανακάλυψαν σωματίδια με μάζα ενδιάμεση αυτής του ηλεκτρονίου και πρωτονίου. Τα σωματίδια αυτά τα ονομάζουν “mesotrons” και τοποθετούν τη μάζα τους στα $200 m_e$. Η ανακάλυψη αυτή συμπίπτει με τη θεωρία του Yukawa για τις ισχυρές δυνάμεις που υποχρεώνουν πρωτόνια και νετρόνια να συνυπάρχουν στον πυρήνα. Οι δυνάμεις αυτές κατανοούνται μέσω ανταλλαγής σωματιδίων μάζας περίπου $250m_e$. Έτσι τα “mesotrons” φαίνεται να ταυτίζονται με τα σωματίδια του Yukawa. Όμως τα “mesotrons” έχουν μικρή αλληλεπίδραση με τον πυρήνα στο θάλαμο, όταν τα σωματίδια ανταλλαγής αναμένονται να έχουν ισχυρή αλληλεπίδραση. Σήμερα ξέρουμε ότι μιλάμε για δύο διαφορετικά σωματίδια. Τα **μ-μεσόνια (μιόνια)** των Anderson και Neddermeyer και τα **π-μεσόνια (πιόνια)** του Yukawa.

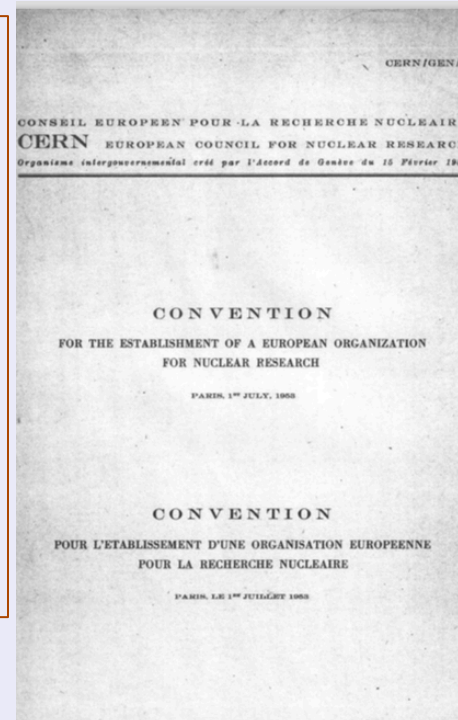
Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

1947 Αρχίζει η ανακάλυψη μια νέας σειράς σωματιδίων γνωστής σαν παράξενα σωματίδια καθώς τα πειράματα επαναλαμβάνονται σε μεγαλύτερα ύψη με μεγαλύτερες ροές κοσμικής ακτινοβολίας. Ανακαλύπτονται ουδέτερα και φορτισμένα παράξενα σωματίδια. Τα περισσότερα από αυτά έχουν μάζα σχεδόν το μισό της μάζας του πρωτονίου. Αναφέρονται **σαν καόνια (k^+ , k^- , k^0)**. Τα ουδέτερα σωματίδια με μάζα μεγαλύτερη αυτής του πρωτονίου αναφέρονται σαν σωματίδια λάμδα (Λ), με χρόνο ζωής 10^{-8} - 10^{-10} sec που είναι πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος από τη χρονοκλίμακα των ισχυρών αντιδράσεων.

1952 Στα πυρηνικά γαλακτώματα (emulsions) που είναι φωτογραφικές πλάκες ευαίσθητες σε φορτισμένα σωματίδια και πιο πυκνές από το αέριο του θαλάμου Wilson, οπότε η πιθανότητα αλληλεπίδρασης είναι μεγαλύτερη, ανακαλύπτονται πόνια (**π^- , π^+**), **Ξ^- και Σ** .

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

1953 Προχωρεί η ανάπτυξη της τεχνολογίας των επιταχυντών, ώστε ενέργειες συγκρίσιμες με αυτές των ΚΑ να παράγονται στο εργαστήριο. Έτσι έχουμε δέσμες σωματιδίων γνωστής πια ενέργειας να κατευθύνονται σε στόχους. Το ενδιαφέρον στις κοσμικές ακτίνες στράφηκε στα προβλήματα της προέλευσης και της διάδοσης τους προς τη Γη.



1953: research on cosmic rays is in CERN's constitution

3. The basic programme of the Organization shall comprise:

(...)

- (c) The organization and sponsoring of international co-operation in nuclear research, including co-operation outside the Laboratory. This co-operation may include in particular:
- (i) work in the field of theoretical nuclear physics;
 - (ii) the promotion of contacts between, and the interchange of, scientists, the dissemination of information, and the provision of advanced training for research workers;
 - (iii) collaboration with and advising of national research institutions;
 - (iv) work in the field of cosmic rays.

Legacy from G-stack

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Έρευνας

1960 Ανιχνευτές σωματιδίων ΚΑ τοποθετούνται σε δορυφόρους και δίνουν πληροφορίες για την ΚΑ χαμηλών ενεργειών, καθώς η παρατήρηση για ψηλότερες ενέργειες γίνεται από το έδαφος μέσω των δευτερογενών σωματιδίων που παράγονται και φθάνουν στην επιφάνεια της Γης.

Jones et al. (1967) κατασκεύασε 3 συστήματα ανίχνευσης φορτίου και διαφορικού φασματος γαλαξιακών και ηλιακών ΚΑ., περιλαμβανομένων πρωτονίων και βαρύτερων πυρήνων (μεχρι ασβέστιο) στην ενεργειακή περιοχή from about 4 MeV/nucleon to more than 1000 MeV/nucleon στο δορυφόρο **OGO-5**. Ο ανιχνευτής σωματιδίων για τις υψηλες ενέργειες περιείχε 2 scintillation counters and ένας Cherenkov counter για μετρηση του φορτίου και ενεργειας σωματιδίων στις περιοχές 50-220, 220-1000 and >1000 MeV/nucleon.

| Date | Particle | Source of radiation | Instrument used | Specific observation made |
|------|--|--|-----------------------------------|--|
| 1900 | | | | |
| 1930 | | | | |
| 1931 | | | | |
| 1932 | $\bar{\nu}_e (\nu_e)$ | nuclear reactor | liquid scintillator | Capture by proton |
| 1933 | ν_μ | accelerator | spark chamber | Production of μ and not e |
| 1934 | | | | |
| 1935 | e^- | discharge tube | fluorescent screen | Ratio e/m |
| 1936 | e^+ | cosmic rays | cloud chamber | Charge, mass |
| 1937 | μ^+, μ^- | cosmic rays | cloud chamber | Absence of radiation loss in Pb; decay at rest; mass |
| 1938 | | | | |
| 1939 | π^+ | cosmic rays | nuclear emulsion | $\pi - \mu$ decay at rest |
| 1940 | π^- | cosmic rays | nuclear emulsion | Nuclear interaction at rest |
| 1941 | | | | |
| 1942 | π^0 | accelerator | counters | Decay into γ -rays |
| 1943 | K^+ | cosmic rays | nuclear emulsion | $K_{\pi 3}$ decay |
| 1944 | K^- | cosmic rays | nuclear emulsion | Nuclear interaction at rest |
| 1945 | | | | |
| 1946 | K^0 | cosmic rays | cloud chamber | Decay into $\pi^+\pi^-$ in flight |
| 1947 | | | | |
| 1948 | η | accelerator | bubble chamber | Total mass of decay products |
| 1949 | | | | |
| 1950 | p | discharge tube | spectroscopes; mass spectrometers | Charges and masses of ions |
| 1951 | | | | |
| 1952 | \bar{p} | accelerator | Cerenkov counter | e/m measured; annihilation |
| 1953 | | | | |
| 1954 | n | radioactivity | ionization chamber | Mass from elastic collisions |
| 1955 | | | | |
| 1956 | \bar{n} | accelerator | counters | Annihilation |
| 1957 | Λ | cosmic rays | cloud chamber | Decay to $p\pi^-$ in flight |
| 1958 | $\bar{\Lambda}$ | accelerator | nuclear emulsion | Decay to $\bar{p}\pi^+$ in flight |
| 1959 | Σ^+ | cosmic rays | nuclear emulsion | Decay at rest |
| 1960 | Σ^- | accelerator | diffusion chamber | Decay to $n\pi^-$ in flight |
| 1961 | Σ^0 | accelerator | bubble chamber | Decay to γ in flight |
| 1962 | Ξ^- | cosmic rays | cloud chamber | Decay to $\Lambda\pi^-$ in flight |
| 1963 | Ξ^0 | accelerator | bubble chamber | Decay to $\Lambda\pi^0$ in flight |
| 1964 | Ω^- | accelerator | bubble chamber | Decay to $\Xi^0\pi^-$ in flight |
| 1965 | Very many "resonance" particles with lifetimes $\sim 10^{-23}$ to 10^{-19} s | | | |
| 1966 | | accelerator | bubble chambers | Total mass of decay products |
| 1967 | "Fireballs" | cosmic rays | nuclear emulsion | Angles of meson emission |
| | Quarks? | not found with accelerators; being sought in cosmic rays | | Charge $\frac{1}{3}$ or $\frac{2}{3}e$ |

Δορυφορικές Μετρήσεις

Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics)_PAMELA

PAMELA. According to Piccardi et al. (1999), the PAMELA telescope will be aloft for at least 3 years in a polar orbit at about 700 km altitude. The main goals of the PAMELA experiment are the measurement of the antiproton and positron fluxes in CR, with large statistics in an energy range between 100 MeV and 150 GeV, and search for anti-nuclei, up to 30 GeV/n, with a sensitivity better than 10^{-7} in the \bar{H}/He ratio (Simon, 2003; Ambriola et al., 2003). PAMELA will also study phenomena connected with Solar and Earth physics (Casolino and Mikhailov, 2003). The PAMELA telescope consists of a magnetic spectrometer, a TRD detector, an imaging electromagnetic calorimeter and a TOF system including anticoincidence detectors (see Figure 22.3).

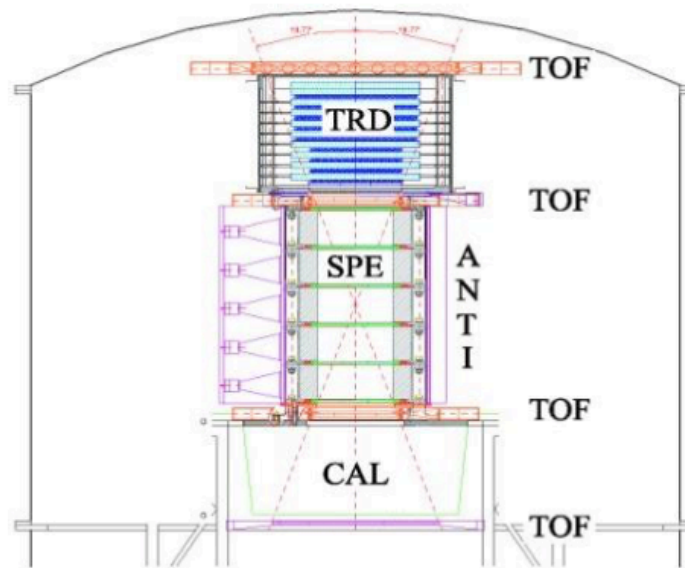


Figure 22.3. The PAMELA telescope (Piccardi et al., 1999). The main detectors are: transition radiation detector (TRD), permanent magnet spectrometer equipped with silicon micro strip detector (SPE) and a silicon/tungsten calorimeter (CAL). There are also a time of flight detector (TOF) and an anticoincidence system (ANTI) made by plastic scintillators.

15 June 2006
End 2016

Wizard collaboration, which includes Russia, Italy, Germany and Sweden and has been involved in many satellite and balloon-based cosmic ray experiments such as Fermi-GLAST.

Δορυφορικές Μετρήσεις

2011

International Space Station (ISS).

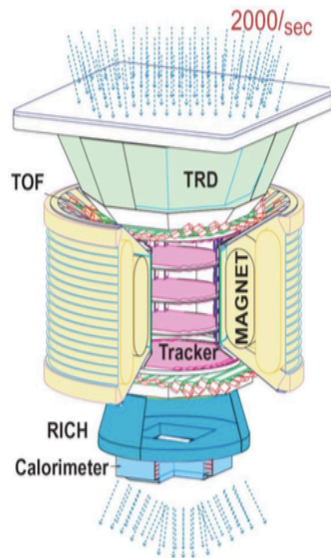


Figure 22.6. The Alpha Magnetic Spectrometer, AMS-02 (Gentile, 2003). The detector components are. Transition Radiation Detector (TRD), Time-of-flight Scintillators (TOF), Silicon Tracker (Tracker), Ring Imaging Cherenkov detector (RICH), lead/plastic fiber calorimeter (ECAL), the anticoincidence counters are located in the inner side in the magnet. The arrows represent the acceptance of CR particles, $\sim 2000 \text{ s}^{-1}$.

Alpha Magnetic Spectrometer



Measures in fine detail cosmic rays $< \text{some } 10^{11} \text{ eV}$: dark matter, antimatter, exotic particles

Launched May 16, 2011



Επίγειες Μετρήσεις

WORLD-WIDE NETWORK OF IONIZATION CHAMBERS

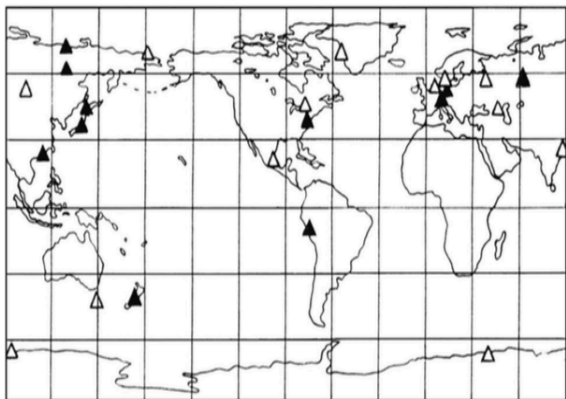
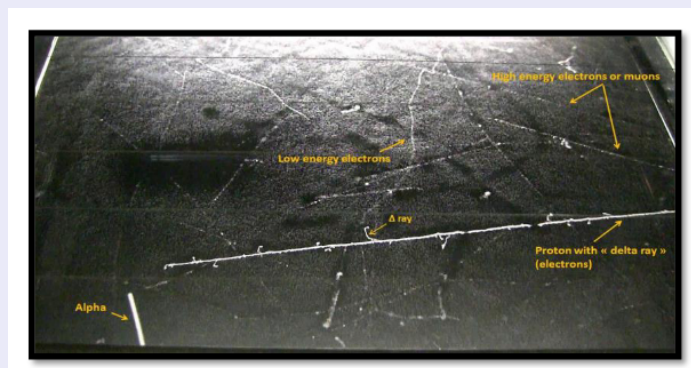


Figure 16.3. Global distribution of ionization chambers shielded by 10.7 cm Pb with compensation. Black triangles, chambers operating in 1975, white triangles, chambers operating before 1972. From Dorman, M1975a.

Λίγοι συνεχίζουν σήμερα, άλλες τεχνικές.

Θαλαμοί ιονισμού—απλοί ανιχνευτές αερίων _μετρηση μέσω ιονισμού



Αναγνώριση τροχιών σωματιδίων

Ανιχνευτές Cherenkov: Τα σχετικιστικά ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια που παράγονται στον ατμοσφαιρικό καταγισμό προκαλούν εκπομπή **ακτινοβολίας Cherenkov** στο ορατό όταν διαδίδονται μέσα σε μέσο με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή του φωτός. Οι σειρές ανιχνευτών Cherenkov συλλέγουν αυτούς τους παλμούς φωτός από ένα πολύ μεγάλο όγκο (χιλιάδες κυβικά χιλιόμετρα). Μια παρόμοια τεχνική χρησιμοποιείται επίσης προκειμένου να μελετηθούν τα νετρίνα όταν παλμοί φωτός Cherenkov παράγονται στο νερό (π.χ Deep Underwater Muon And Neutrino Detector (DUMAND)) ή στον πάγο (e.g. IceCube Neutrino Observatory or Antarctic Muon And Neutrino Detector Array (AMANDA)).

Επίγειες Μετρήσεις

WORLD-WIDE MUON TELESCOPE NETWORK

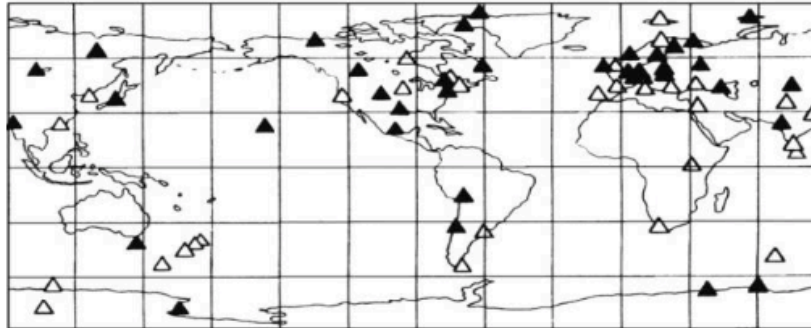


Figure 17.7. Planetary distribution of ground based muon telescopes. Black triangles – operating in 1975, white triangles – operating before 1972. From Dorman, M1975a.

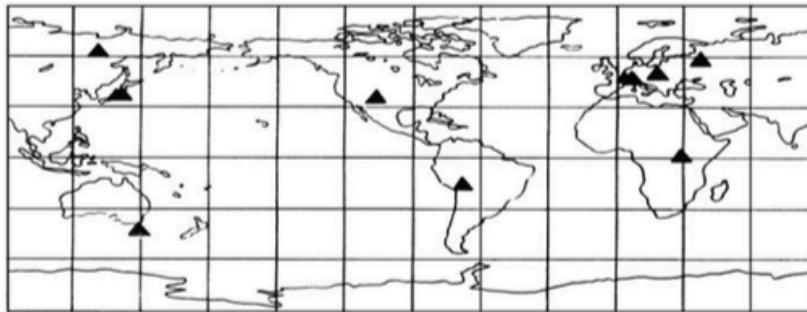


Figure 17.8. Planetary distribution of underground muon telescopes. Black triangles – operating in 1975. From Dorman, M1975a.

→ επιγειαί

Πρωταρχικοί πυρήνες κοσμικής ακτινοβολίας με ενέργεια >4 GeV έχουν την απαιτούμενη ενέργεια προκειμένου να διεισδύσουν στην ατμόσφαιρα. Η ανίχνευση των μιονίων γίνεται εφικτή, για παράδειγμα, με την χρήση του απαριθμητή Geiger-Müller ή του απαριθμητή σπινθηρισμών.

→ υπόγειαί

Επίγειες Μετρήσεις

WORLD-WIDE SOLAR NEUTRON TELESCOPE NETWORK

Table 19.1. The first SNT worldwide network. According to Tsuchiya et al. (2001a,b)

| Location | Height [g/cm ²] | Longitude | Latitude | Area [m ²] | Start of observations |
|--------------------------|-----------------------------|-----------|----------|------------------------|-----------------------|
| Switzerland (Gornergrat) | 700 | 7.8°E | 46.0°N | 4 | January 1998 |
| Armenia (Aragats) | 700 | 40.5°E | 44.2°N | 4 | June 1997 |
| Tibet (Yangbajing) | 600 | 90.5°E | 30.0° N | 9 | September 1998 |
| Japan (Mt. Norikura) | 730 | 137.5°E | 36.1°N | 1 | October 1990 |
| | | | | 64 | October 1996 |
| USA (Mauna Kea) | 610 | 203.7°E | 19.8°N | 8 | April 1997 |
| Bolivia (Mt. Chacaltaya) | 540 | 292°E | 16.2°S | 4 | September 1992 |

All SNT developed in Japan have a target layer, which consists of a thick scintillator or wood. Incoming neutrons are converted into protons by nuclear interactions in the target. Recoil protons, which undergo a charge exchange process, tend to be scattered in the direction of incident neutrons, almost conserving the energy of the incident neutrons.

Επίγειες Μετρήσεις

EXPERIMENTS ULTRA HIGH ENERGY COSMIC RAYS

Pierre Auger Observatory greatest recent EAS Project.

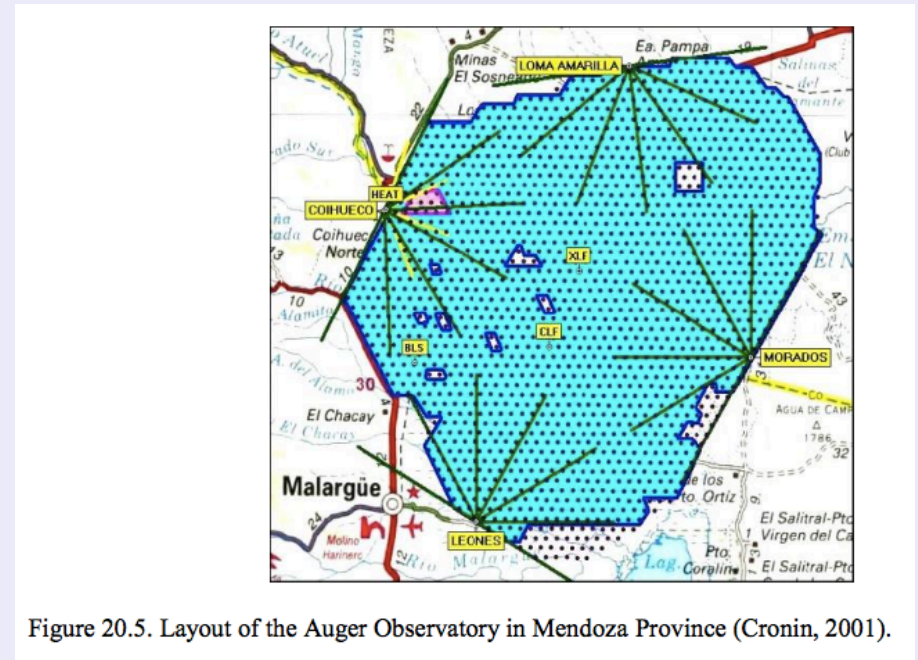
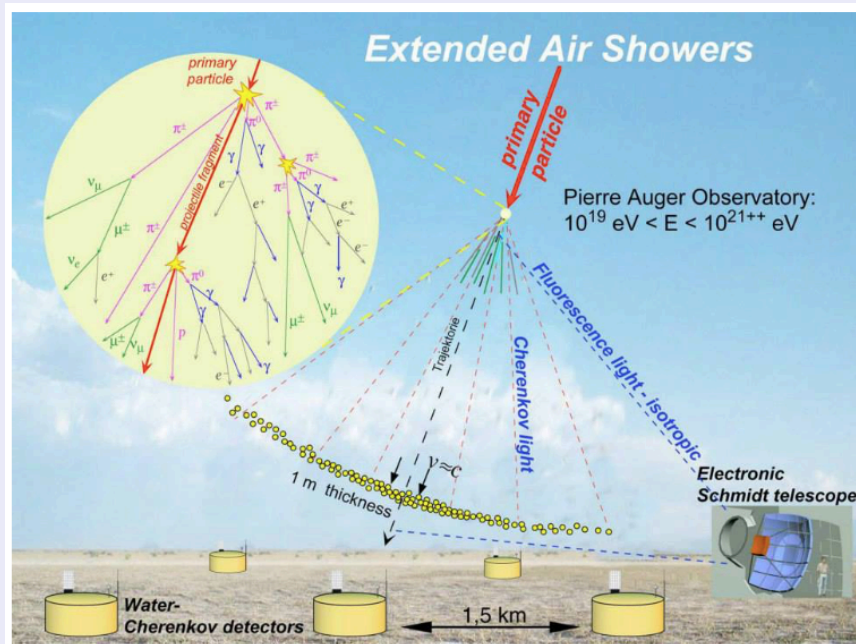


Figure 20.5. Layout of the Auger Observatory in Mendoza Province (Cronin, 2001).

The flux of CR is about $1/\text{km}^2/\text{century}/\text{sr}$ above 10^{20} eV so a large detection area of $3,000 \text{ km}^2$ has been chosen for each Observatory

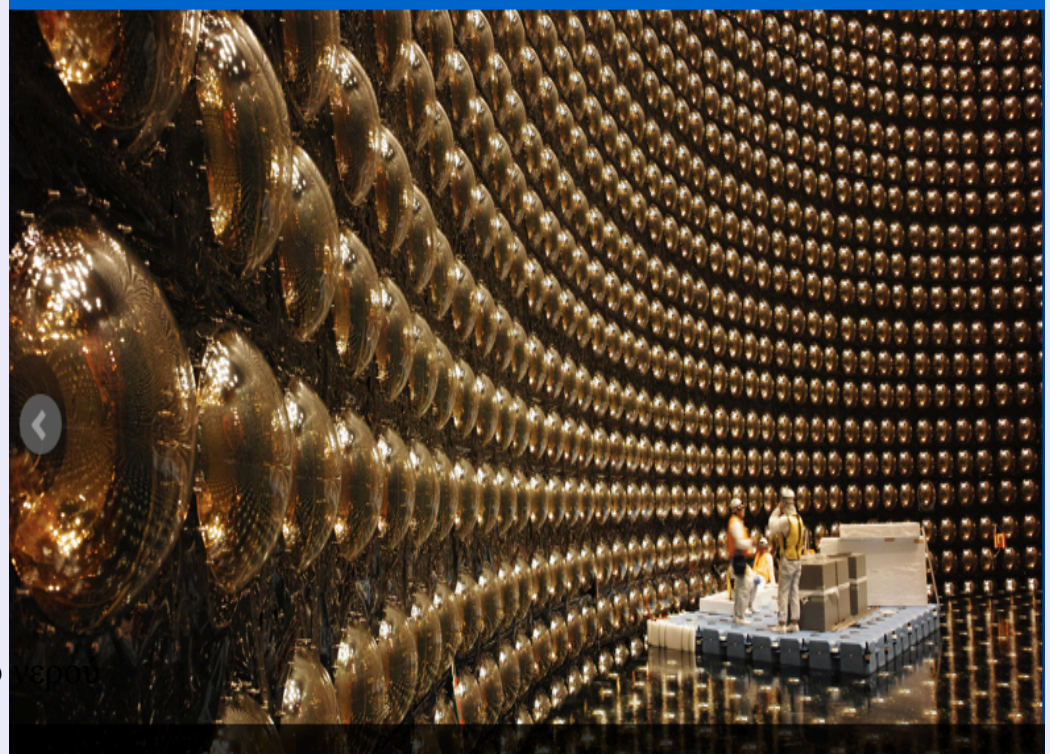
Επίγειες Μετρήσεις

NEUTRINO EXPERIMENTS

Super-Kamioka Neutrino Detection Experiment,

εγκατεστημένος χίλια μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, στο ορυχείο Μοζούμι. Σχεδιάστηκε για την ανίχνευση νετρίνων υψηλής ενέργειας και τη μελέτη τόσο των ηλιακών, όσο και των ατμοσφαιρικών νετρίνων.

κυλινδρική δεξαμενή με 50 χιλιάδες τόνους καθαρού 13 χιλιάδες Cherenkov



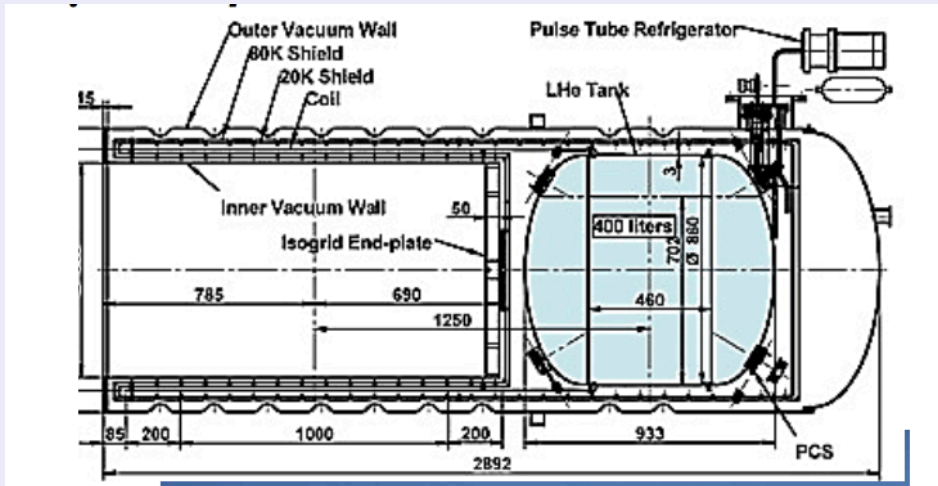
K2K is an international collaboration of physicists, organized to study the properties of the subatomic particles called neutrinos

Επίγειες Μετρήσεις

Ανιχνευτές σε Ballons

Τα σύγχρονα μπαλόνια μεταφέρουν ανιχνευτές σε ύψη 40-70 km.

BESS (Balloon Borne Experiment with Superconducting Solenoidal Spectrometer)



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.

Σ' αυτά τα μεγάλα ύψη, η ατμόσφαιρα πάνω από το μπαλόνι είναι αμελητέα για την Κοσμική Ακτινοβολία, κι επομένως οι ανιχνευτές που φέρουν τα μπαλόνια παρατηρούν απ' ευθείας τα πρωταρχικά σωματίδια της Κοσμικής Ακτινοβολίας. Υπ' αυτήν την έννοια μοιάζουν με τους δορυφόρους χαμηλής τροχιάς, αλλά είναι πολύ πιο φτηνοί και πιο εύκολος ο χειρισμός τους.



NEUTRON MONITOR NETWORK

Despite their decades of tradition, ground based neutron monitors (NMs) remain the state-of-the-art instrumentation for measuring Cosmic Rays.

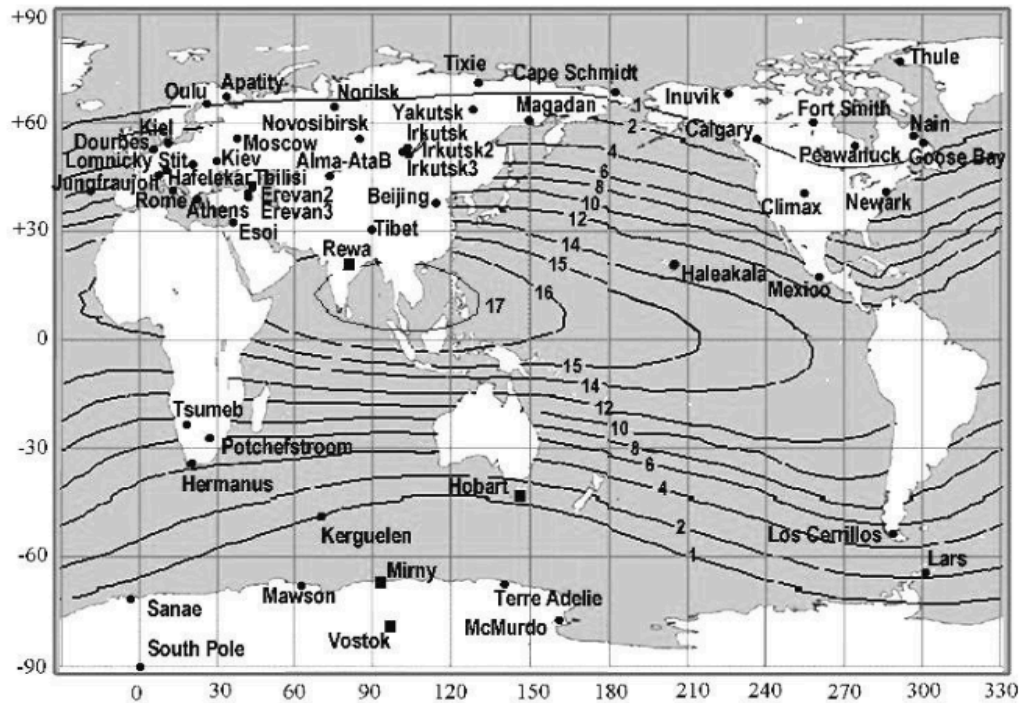


Figure 18.2. The planetary distribution of neutron monitors of both types at 2002 (Belov and Eroshenko, 2002). Also shown curves of cutoff rigidities (in GV).

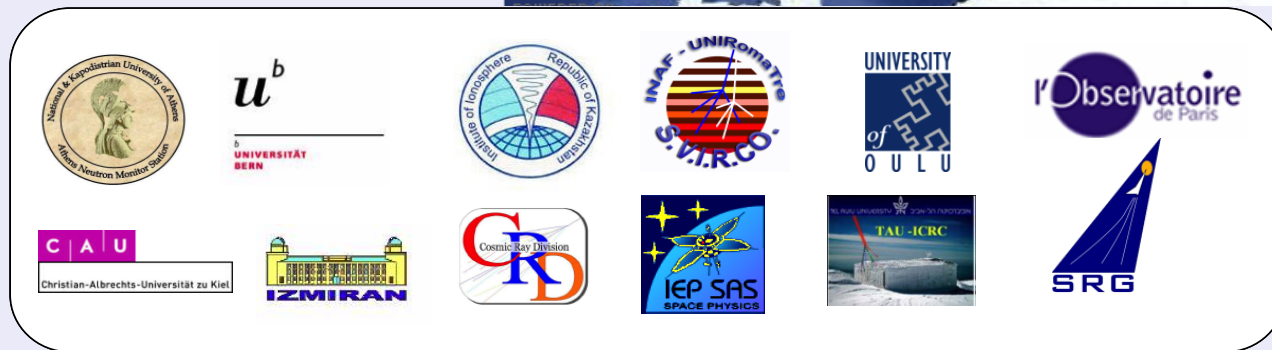
75 χρόνια συνεχών
μετρήσεων

1997 τεχνολογία
πραγματικού
χρόνου.

Διεθνής Βάση υψηλής ανάλυσης δεδομένων Μετρητών Νετρονίων High Resolution Neutron Monitor Database (NMDB)

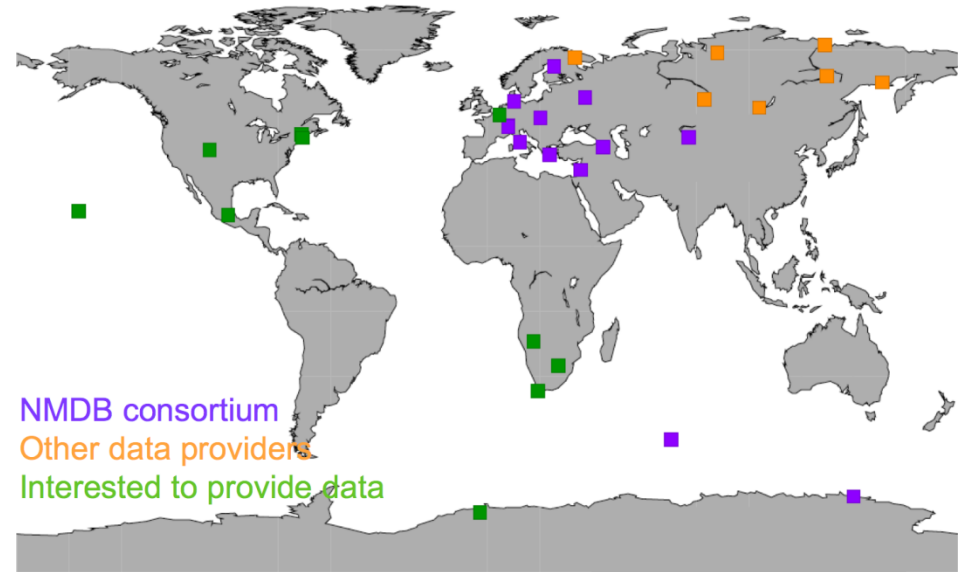
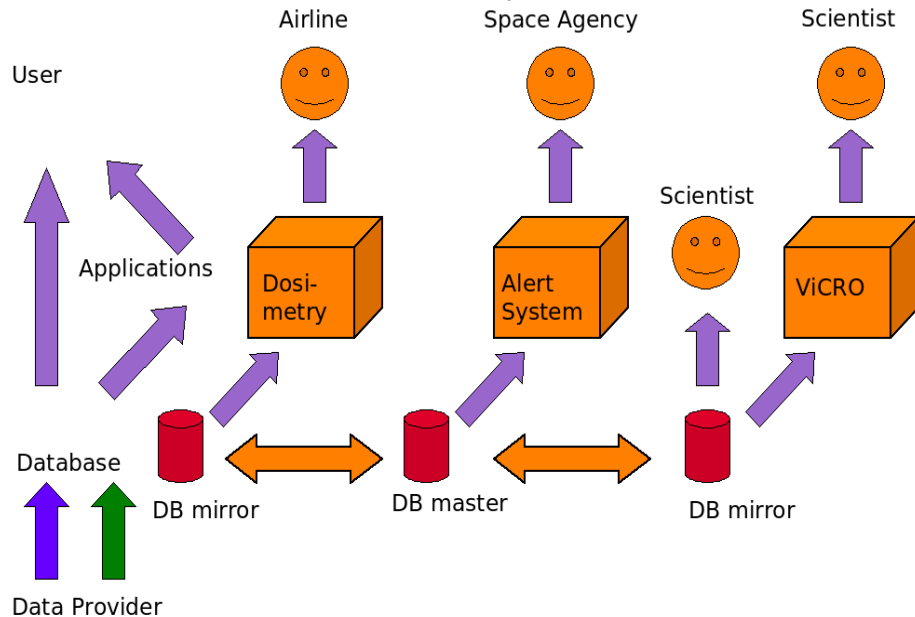
<http://www.nmdb.eu>

- 12 χώρες
- 28 σταθμοί Κ.Α. σε πραγματικό χρόνο



Neutron Monitor Database (NMDB)

Schematic concept of NMDB



<http://www.nmdb.eu>



- 50 stations
- 22 in quasi real-time mode

ΠΙΘΑΝΟΙ ΧΡΗΣΤΕΣ

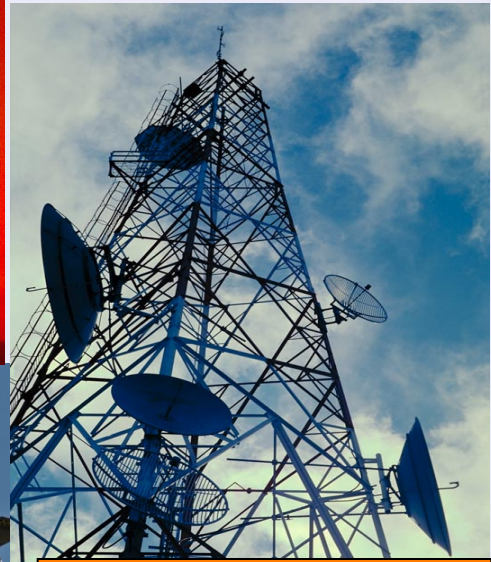


Power Supply



Airway Co

Air Force

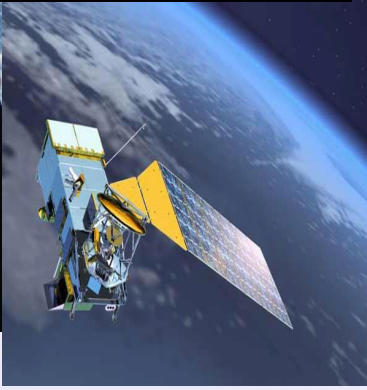


Telecommunications



Space Agencies

Satellite Operation Centers



Scientists



Whoever interested