

Μάθημα Επιλογής:
Αστροσωματιδιακή και Κοσμική Ακτινοβολία

http://cosray.phys.uoa.gr

ΥΛΗ ΚΟΣΜΙΚΗΣ

- **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**
- **ΓΑΛΑΞΙΑΚΗ ΚΟΣΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ_ΣΥΣΤΑΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ (πηγές, προέλευση, ιδιότητες, πυκνοτητα ,ισοτροπια, ενεργειακό φάσμα)**
- **ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΚΑΤΑΙΓΙΣΜΟΙ (σύσταση δευτερογενούς Κ.Α. –Ιδιότητες)**
- **ΔΙΑΠΛΑΝΗΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ_ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΚΑ (επιδραση ηλιοσφαιρας στη διαμώρφωση Κ.Α., επιτάχυνση σωματιδίων σε ισχυρά κρουστικά κύματα _2ος Fermi, δυναμικος μηχανισμός __1ος Fermi)**
- **ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑ ΑΠΟ ΤΟ ΓΗΙΝΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ (δυναμική κοσμικου σωματιδιου στο γηινο μαγν.πεδίο_θεωρία Stormer, μαγνητική δυσκαμψία, ασυμπτωτκές 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)**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

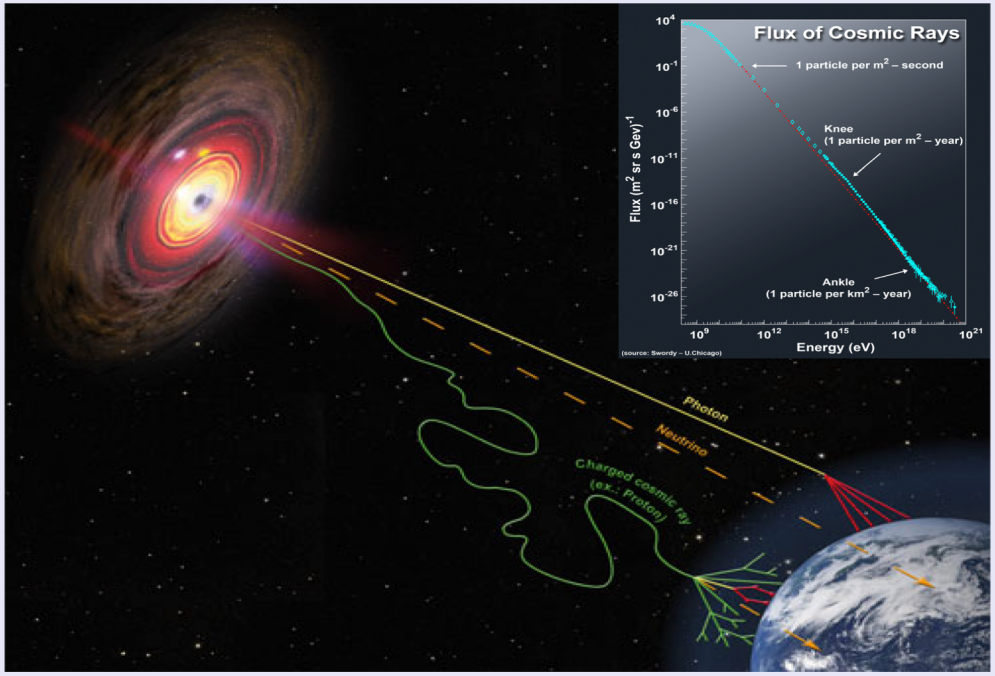
1) **Particle Astrophysics**, *Donald Perkins, ,Oxford University Press, 2003*
2) **Cosmic rays and Particle Physics,** *Gaisser, Engel and Resconi, Gampbridge University Press , 2016*
3) **Cosmic Rays in the Earth's atmosphere and underground** *, L. Dorman, Kluver Academic Publishers, ,2004*
4) *Κοσμική Ακτινοβολία, Ε. Μαυρομιχαλακη, 2005 (Σύγγραμμα από ΕΥΔΟΞΟΣ)*

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 ταξεις μεγέθους > από τη μέση ενέργεια θερμικών σωματιδίων του πλάσματος υποβάθρου.(L. Dorman, 2014).

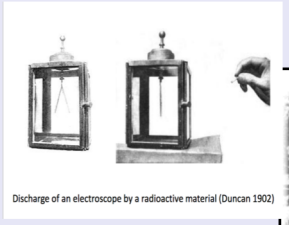


ΠΗΓΕΣ?

-εντός Γαλαξία (σταθεροι αστέρες-ηλιος, καινοφανείς και supernova,παλομμενοι αστέρες,αστερες νετρονίων διαστρική ύλη)

-εκτός Γαλαξία (Ενεργοι Γαλαξιακοι Πυρήνες AGN, black holes)

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας



Theodor Wolf



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

↓

Γήινη Ραδιενεργή προέλευση

Το 1912 ο V. Hess ηλεκτρόσκόπιο στην ατμόσφαιρα ανακάλυψε ότι ο ιονισμός μειωνόταν μέχρι και ~ 1000m (μη συμβατό με εκθετική μείωση), ενώ > 1000m αυξανόταν με το ύψος (5000m πολλαπλάσια)

↓

Προέλευση εξωγήινη

Παρόμοιος ατμοσφαιρικός καταιγισμός τόσο κατά τη νύκτα όσο και την ημέρα

↓

Δεν οφείλεται στον Ήλιο

↓

Cosmic Rays (όχι γ-rays / “penetrating radiation” or “ ultra-gamma radiation” radiation)

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

Average height from the ground, m	Observable ionization rate, ion.cm^{-3}s^{-1}		Average height from the ground, m	Observable ionization rate, ion.cm^{-3}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.

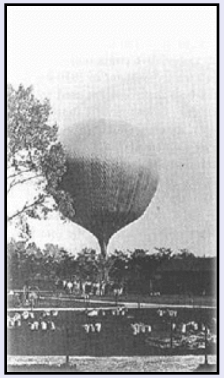
Πρώτες Μετρήσεις

Ο συντελεστης εξασθένισης της ακτινοβολίας υπολογιζεται $a=10^{-5}$ cm^{-1} ενώ ο αντίστοιχος της ακτινοβολίας-γ είναι $a= 4.5\ 10^{5}$ cm^{-1} Αρα πιο διεισδυτική απο γ της φυσικής ραδιενεργειας!

→

Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας







Charged or neutral?

↓

G-M: energetic particle radiation (πρόκειται για σωματιδιακή ακτινοβολία)

↓

Επιβεβαιωση C.R.T: world wide survey of the dependence of cosmic intensity on geomagnetic latitude.

↓

West-East CR asymmetry that the majority of primary CR must be positive energetic particles



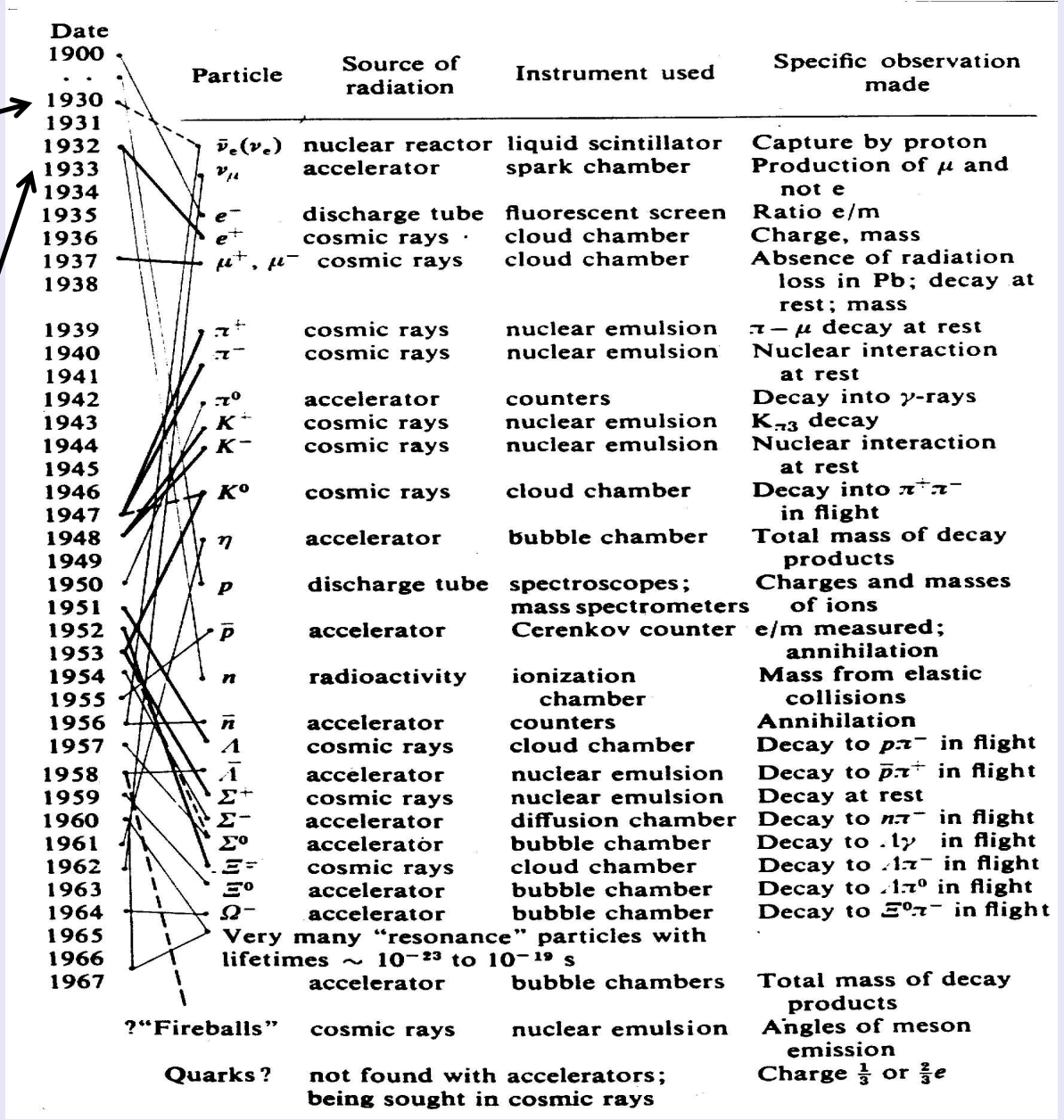
Ανακάλυψη των Κοσμικών Ακτίνων – Ανάπτυξη της Ερευνας

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.

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

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.

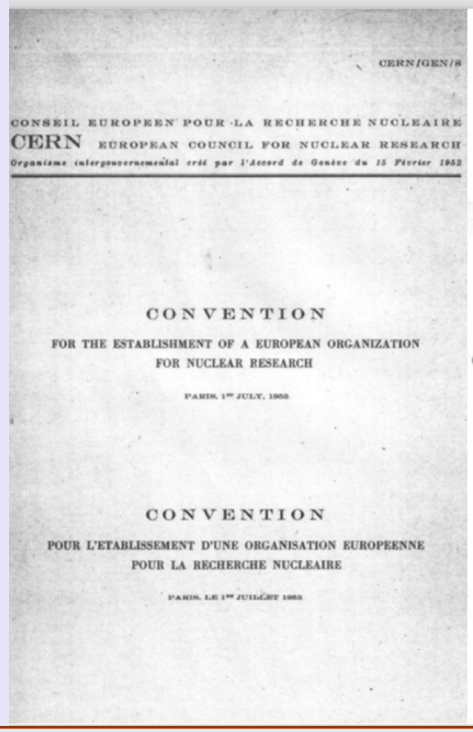
1933 Πειράματα βασισμένα σε βελτιωμένη τεχνική των Blackett-Occhialini επιβεβαιώνουν την παραπάνω ανακάλυψη. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο ότι ο θάλαμος αερίου ενεργοποιείται μόνο αφού είναι σίγουρο ότι μια κοσμική ακτίνα πέρασε. Με αυτόν τον τρόπο κατάφεραν να πάρουν μερικές πολύ καλές φωτογραφίες των "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**.



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 $\Lambda\gamma$ 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			
1966	lifetimes $\sim 10^{-23}$ to 10^{-19} s			
1967		accelerator	bubble chambers	Total mass of decay products
	?"Fireballs"	cosmic rays	nuclear emulsion	Angles of meson emission
	Quarks?	not found with accelerators; being sought in cosmic rays		Charge $\frac{1}{3}$ or $\frac{2}{3}e$

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.



CERN/GEN/8

CONSEIL EUROPEEN POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE
CERN EUROPEAN COUNCIL FOR NUCLEAR RESEARCH
Organisme intergouvernemental créé par l'Accord de Genève du 15 Février 1952

CONVENTION
FOR THE ESTABLISHMENT OF A EUROPEAN ORGANIZATION
FOR NUCLEAR RESEARCH

PARIS, 1ST JULY, 1953

CONVENTION
POUR L'ETABLISSEMENT D'UNE ORGANISATION EUROPEENNE
POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE

PARIS, LE 1ER JUILLET 1953

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.

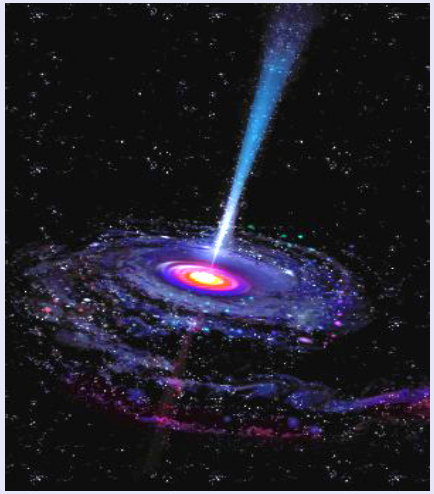
Legacy from G-stack

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.

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Εξωγαλαξιακή CR

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



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

Dominant particles: Protons and heavy ions (>EeV)

AGNs, GRBs

Πρότυπα αστροφυσικής επιτάχυνσης

•Ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες (AGN): Η ύλη που πέφτει προς μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα τροφοδοτεί ισχυρά μαγνητικά πεδία και σχετικιστικούς πίδακες, όπου επιταχύνονται σωματίδια.

•Εκρήξεις ακτίνων γ (GRBs): Οι σχετικιστικές εκροές τους μπορούν να επιταχύνουν πρωτόνια και βαρύτερους πυρήνες σε εξαιρετικά υψηλές ενέργειες.

•Μαγνητόσφαιρες μαύρων τρυπών και άστρων νετρονίων: Ισχυρά ηλεκτρικά πεδία μπορούν να επιταχύνουν σωματίδια απευθείας.

•Συστάδες γαλαξιών: Τα μεγάλης κλίμακας κρουστικά κύματα κατά τη δημιουργία και συγχώνευση συστάδων μπορούν να επιταχύνουν κοσμικές ακτίνες.

Πρότυπα μηχανισμών διάσπασης πολύ βαρέων σωματιδίων (top-down)

Σύμφωνα με αυτά, οι κοσμικές ακτίνες δεν αποκτούν την ενέργειά τους κυρίως μέσω συμβατικής επιτάχυνσης, αλλά παράγονται από τη διάσπαση ή την εξαΰλωση εξαιρετικά βαρέων υποθετικών σωματιδίων, όπως και από υποθετικά κοσμικά τοπολογικά ελαττώματα. Τα πρότυπα αυτά είναι πιο υποθετικά και δεν έχουν επιβεβαιωθεί πειραματικά.
https://doi.org/10.1051/epjconf/202328304001

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

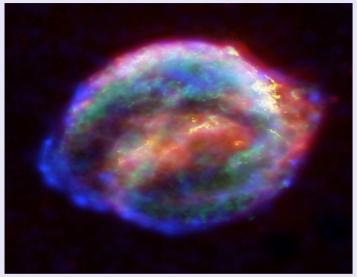
Γαλαξιακή CR

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

Protons (86%)
a-particles (11%)
Z >> (1%)
e^- (2%)
Positrons and antiprotons
γ-rays, neutrinos and antineutrinos *(Perkins, 2003)*

Πρότυπο πάλσαρ και ανέμων πάλσαρ
Τα πάλσαρ είναι ταχέως περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων με ισχυρά μαγνητικά πεδία.
•Η περιστροφική τους ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια σχετικιστικών σωματιδίων.
•Οι άνεμοι πάλσαρ μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στα ενεργητικά ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια των κοσμικών ακτίνων.

Πρότυπο υπολειμμάτων υπερκαινοφανών (Supernova Remnants – SNR)
Σύμφωνα με αυτό, οι εκρήξεις υπερκαινοφανών παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια για την επιτάχυνση κοσμικών ακτίνων.
•Η επιτάχυνση πραγματοποιείται στα κρουστικά κύματα των υπολειμμάτων υπερκαινοφανών.
•Ο βασικός μηχανισμός είναι η διάχυτη επιτάχυνση Fermi πρώτης τάξης.
•Μπορεί να εξηγήσει μεγάλο μέρος των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων έως την περιοχή του «γόνατος» του ενεργειακού φάσματος.

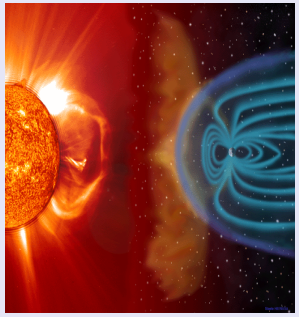


SNR (Supernova Remnant)

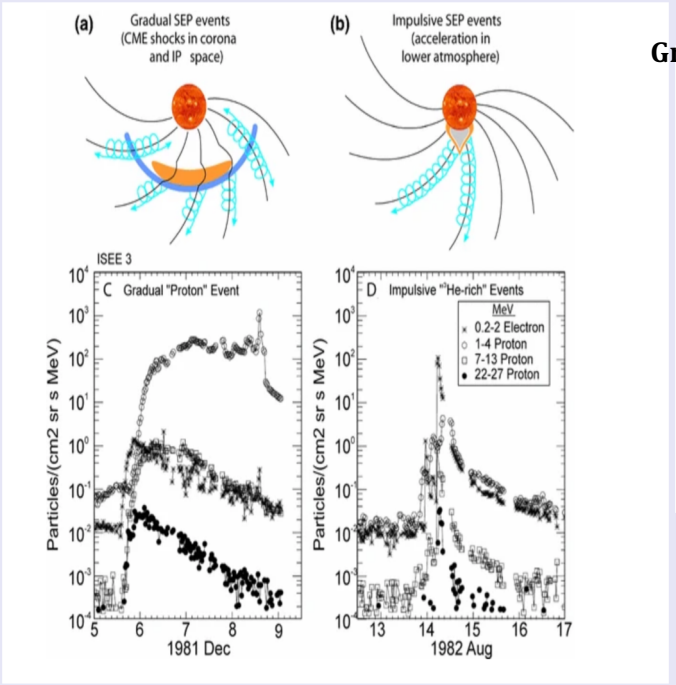
Πρότυπο επιτάχυνσης δεύτερης τάξης Fermi
Στο πρότυπο αυτό, τα φορτισμένα σωματίδια αποκτούν ενέργεια μέσω πολλαπλών αλληλεπιδράσεων με κινούμενα μαγνητικά νεφη στο διαστρικό μέσο.
•Η ενεργειακή αύξηση προκύπτει στατιστικά από τις αλληλεπιδράσεις.
•Θεωρείται πιθανός συμπληρωματικός μηχανισμός επιτάχυνσης ή επανεπιτάχυνσης, όχι κατ' ανάγκη η κύρια πηγή των κοσμικών ακτίνων.

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Ηλιακή CR –Ηλιακά Ενεργητικά Σωματίδια (SEPs)



Protons (85%-95%)
a-particles, Z >> (<1%)
e^- : small fraction
(>1MeV to >10 GeV for protons)
The exact composition varies from event to event.

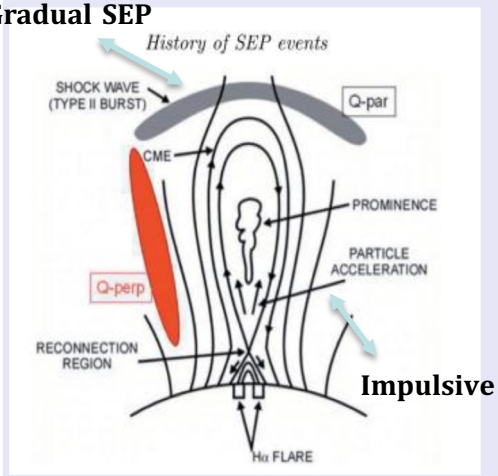


Reames, Space Sc. Review, 1999

Gradual SEP events

- Long duration (from days to week)
- Proton rich
- Ions abundance similar to the coronal ones
- Broad injection cone
- Not often (almost 10 per year)

Gradual SEP



Impulsive SEP

Cliver, E.W., IAU Symposium, Vol. 257, p. 401-412

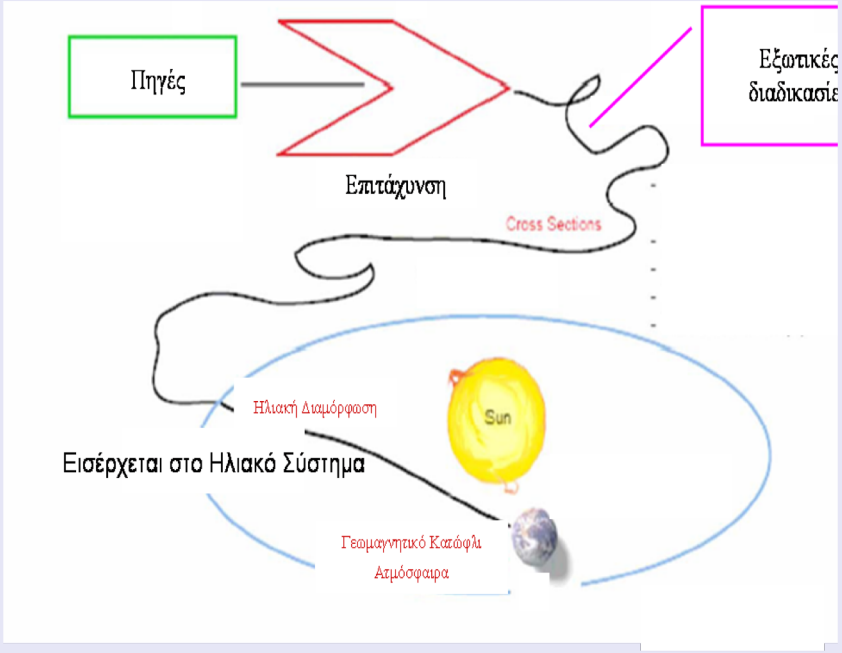
Impulsive SEP events

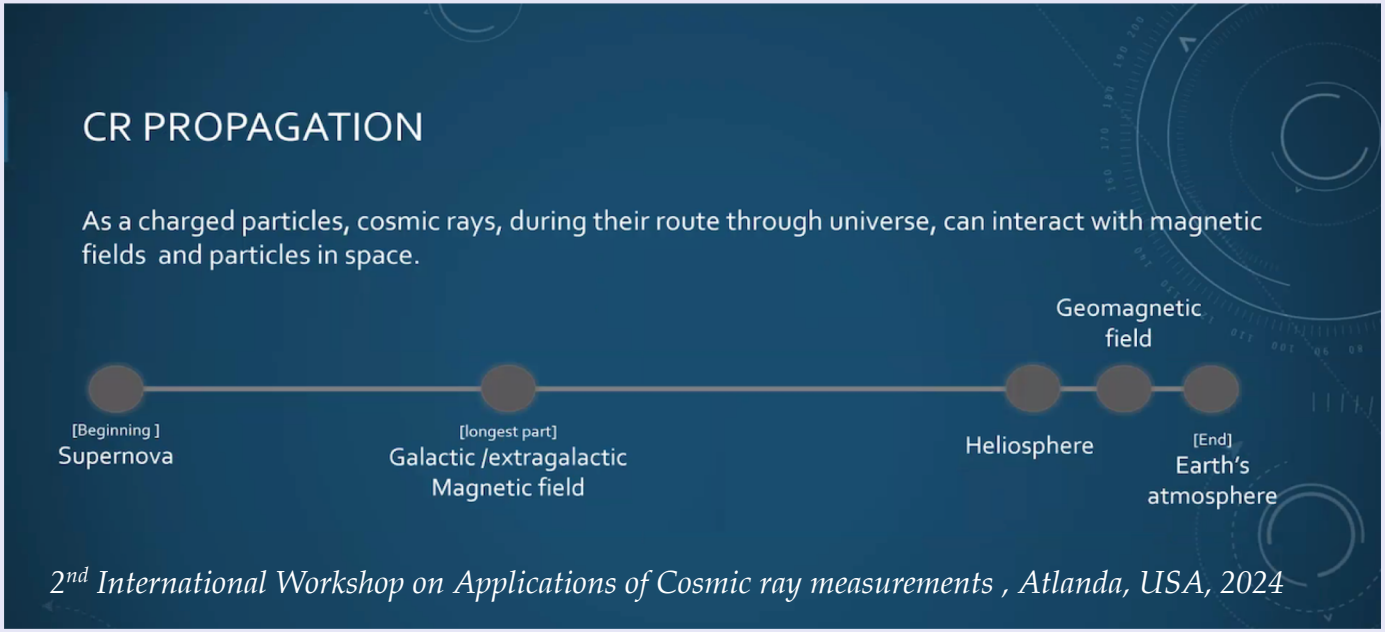
- Short duration (from hours to days)
- Electron rich
- Narrow injection cone
- Often (almost 1000 per year)

Η ακριβής ταυτοποίηση των πηγών παραμένει ανοικτό ερευνητικό πρόβλημα.

Σχηματική απεικόνιση της ζωής των κοσμικών ακτίνων

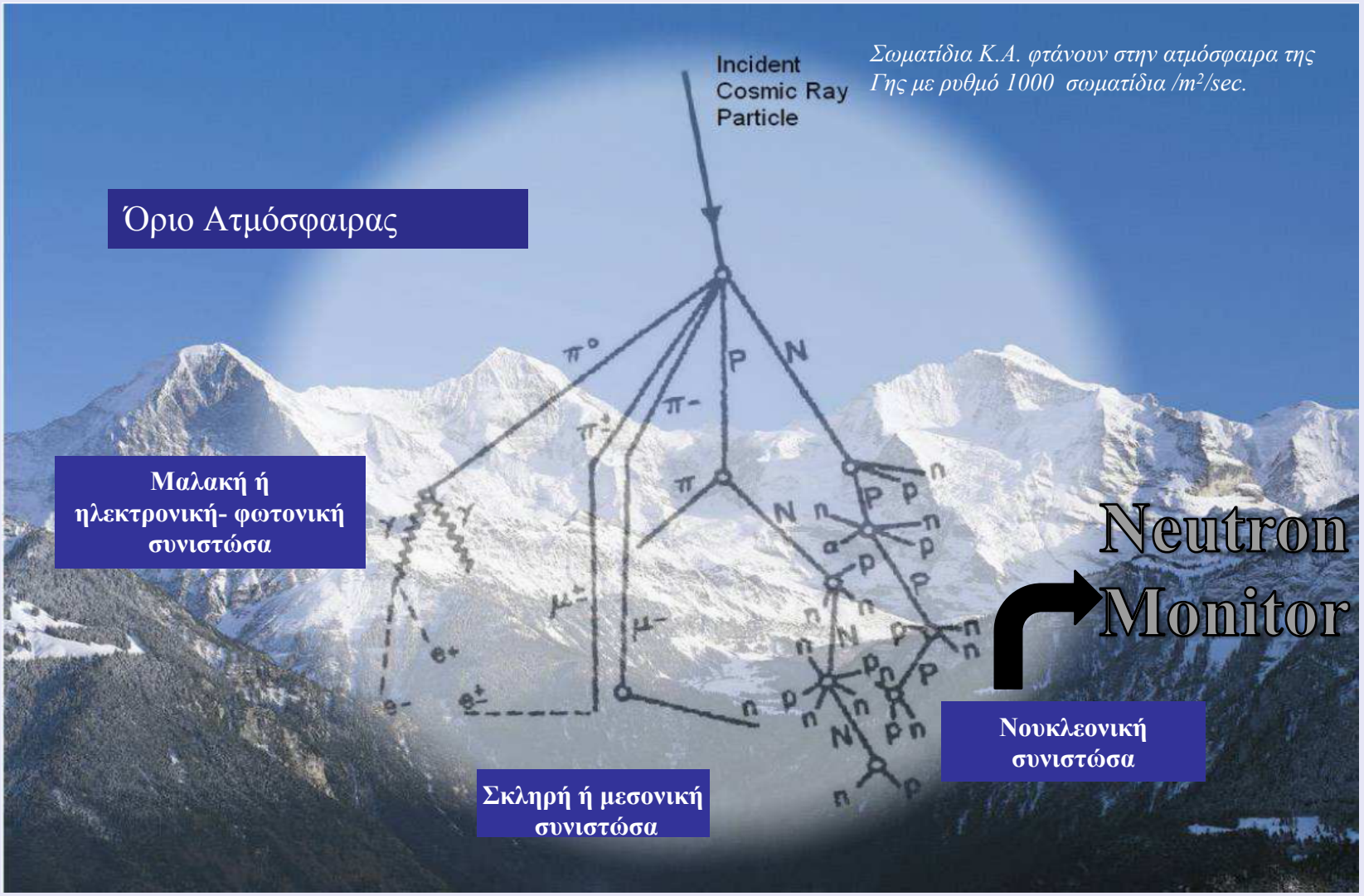
- ***Γέννηση***
- ***Διαφυγή***
- ***Επιτάχυνση***
- ***Κίνηση μέσα στο Γαλαξία***
- ***Αλληλεπίδραση με τον Ηλιακό άνεμο***
- ***Αλληλεπίδραση με τη μαγνητόσφαιρα της Γης***
- ***Αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα της Γης***
- ***Θάνατος (π.χ. σε έναν ανιχνευτή)***





ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ Κ.Α.

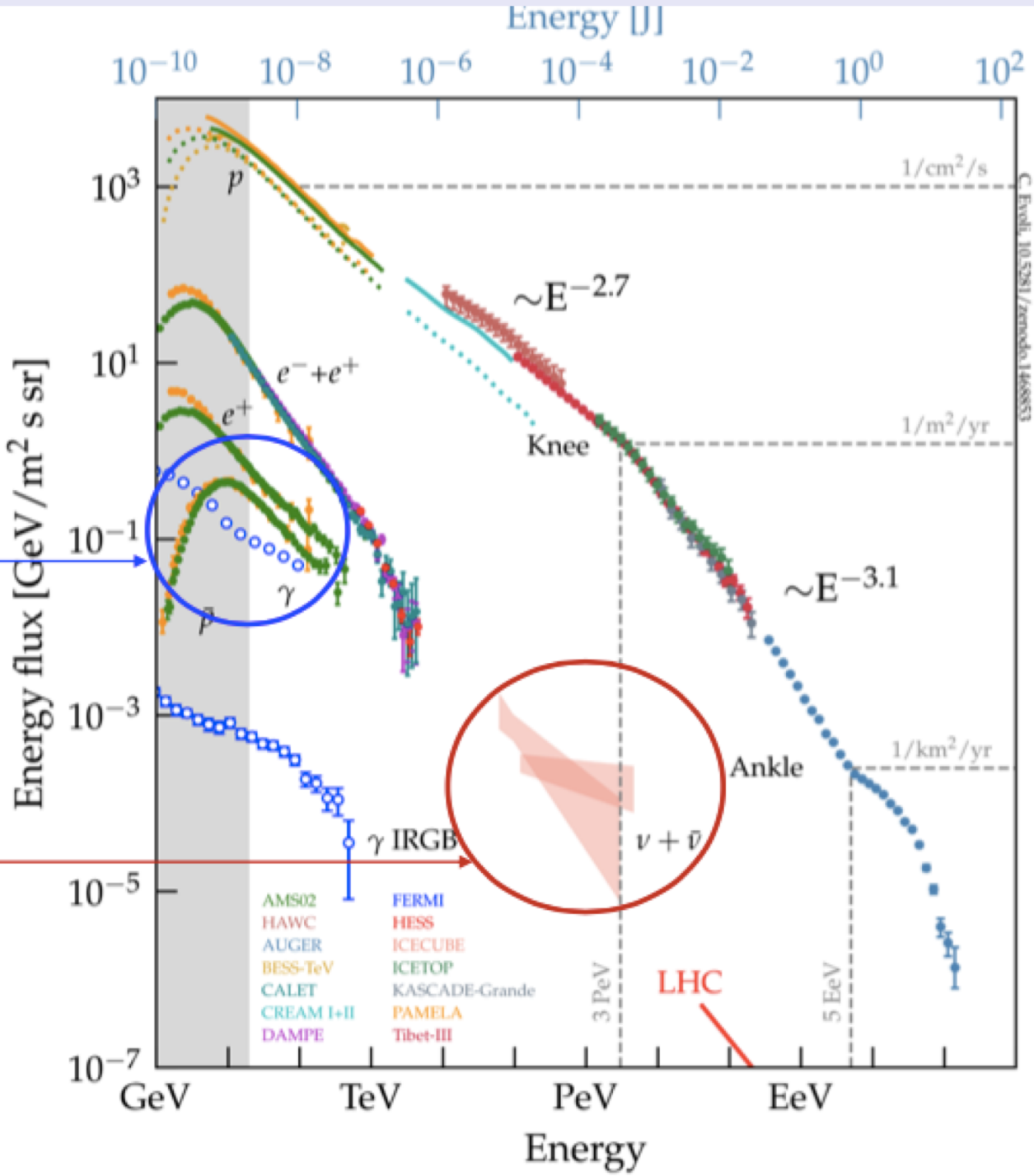
κοντά στην επιφανεια της γης



Το ενεργειακό φάσμα των κοσμικών ακτίνων μετρημένο από διάφορα πειράματα.
Φαίνονται οι συνεισφορές των επιμέρους διαφορετικών κοσμικών σωματιδίων.

e.g. energetic gamma-rays

energetic cosmic neutrinos



Evoli, Carmelo. (2018, October 22).
The Cosmic-Ray Energy Spectrum. Zenodo.
http://doi.org/10.5281/zenodo.2360277

Καταγραφή ΚΑ

➢ Εκτός Ηλιόσφαιρας *(Voyager 1,2)*



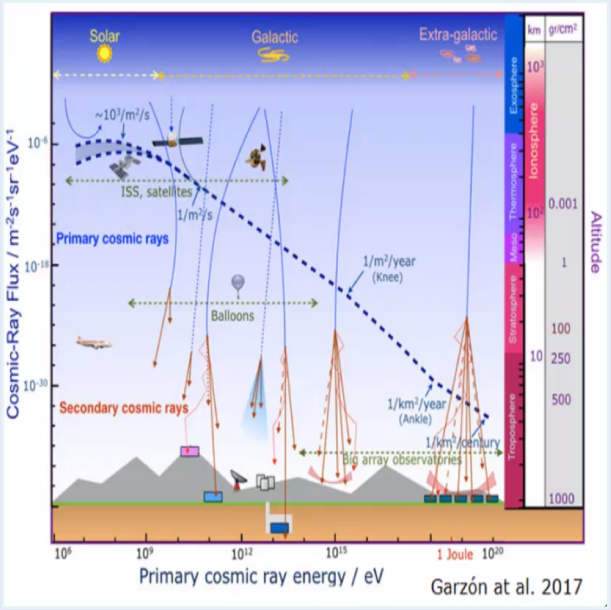
100-150AU

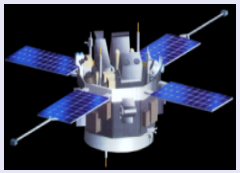
On 15 October 1991

Fly's Eye detects record-breaking cosmic ray: 3.2 x 10^{20} eV



➢ Εντός Ηλιόσφαιρας



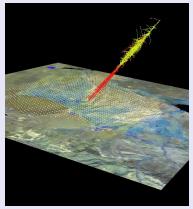


ACE, GOES

(several MeV-700MeV)

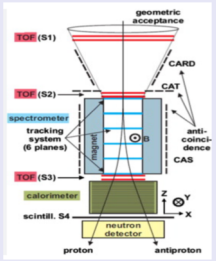


AMS, space experiment /antimater



AUGER, … >10 ^{17} eV

- Εκτός ατμόσφαιρας
- Ψηλά στην ατμόσφαιρα (High altitude ballons)
- Έδαφος (Chernkov light, scintillation, Neutron Monitors)
- Υπόγεια (secondary muons, neutrinos)



PAMELA space experiment

(100MeV –several GeV) Menn et al., 2013



Neutron Monitor (0.5-15GeV)



KM3Net / Neutrino telescope



Ice cube : 10^{14} - 10^{18} eV,

In 2013 IceCube presented two events at around 1 PeV

Επίγειες Μετρήσεις

WORLD-WIDE MUON TELESCOPE NETWORK

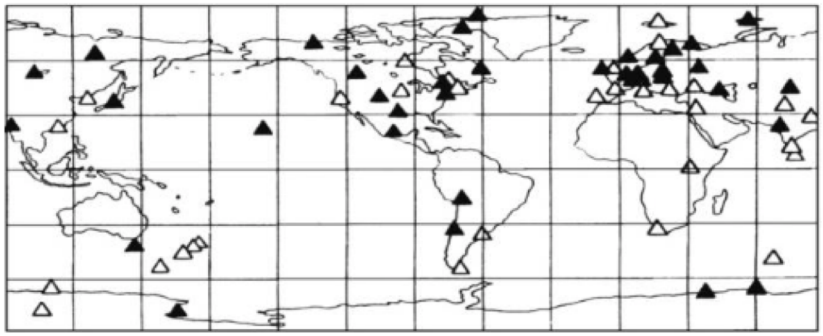


Figure 17.7. Planetary distribution of ground based muon telescopes. Black triangles – operating in 1975, white triangles – operating before 1972. From Dorman, M1975a.

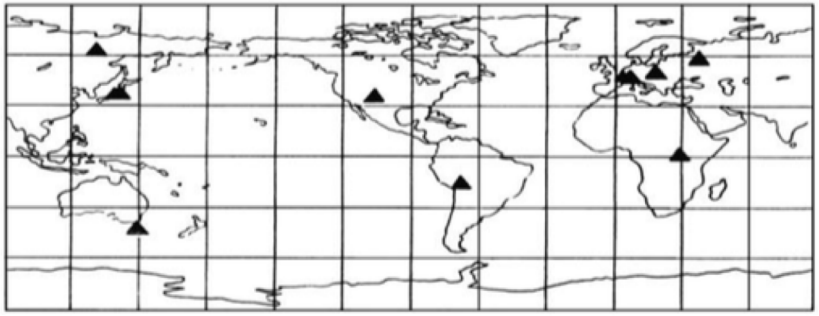


Figure 17.8. Planetary distribution of underground muon telescopes. Black triangles – operating in 1975. From Dorman, M1975a.

→ επιγειοι

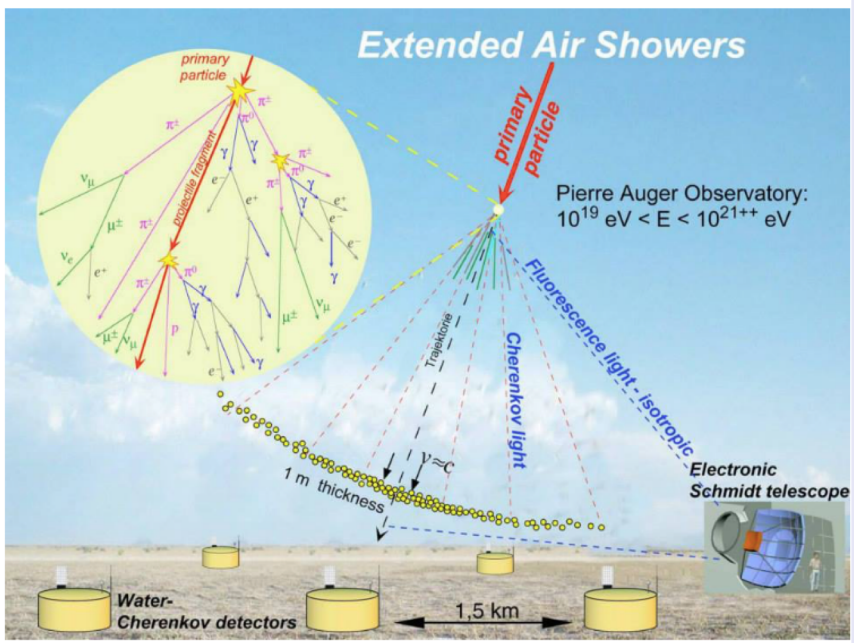
Πρωταρχικοί πυρήνες κοσμικής ακτινοβολίας με ενέργεια >4 GeV έχουν την απαιτούμενη ενέργεια προκειμένου να διεισδύσουν στην ατμόσφαιρα. Η ανίχνευση των μιονίων γίνεται εφικτή ,για παράδειγμα, με την χρήση του απαριθμητή Geiger-Müller ή του απαριθμητή σπινθηρισμών.

→ υπόγειοι

Επίγειες Μετρήσεις

EXPERIMETS ULTRA HIGH ENERGY COSMIC RAYS

Pierre Auger Observatory greatest recent EAS Project.



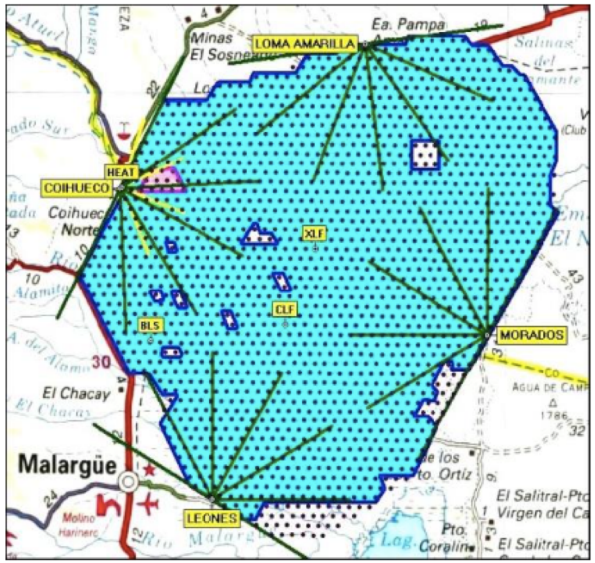


Figure 20.5. Layout of the Auger Observatory in Mendoza Province (Cronin, 2001).

The flux of CR is about 1/km2/century/sr above 10^{20} eV so a large detection area of 3,000 km^2 has been chosen for each Observatory

Καταγραφή ΚΑ

KM3Net / Neutrino telescope



- Υπόγεια (secondary muons, neutrinos)

In 2013 IceCube presented two events at around 1 PeV



Ice cube : 10^{14} - 10^{18} eV,

Ανιχνεύει νετρίνα υψηλής ενέργειας, με στόχο να εντοπίσει τις κοσμικές πηγές που επιταχύνουν σωματίδια σε ακραίες ενέργειες.

Χρησιμοποιεί περίπου 5.160 οπτικούς αισθητήρες, εγκατεστημένους σε 86 κατακόρυφες γραμμές μέσα σε περίπου ένα κυβικό χιλιόμετρο διαφανούς πάγου της Ανταρκτικής.

Η λειτουργία του βασίζεται σε τρία βασικά βήματα:

1.Ένα νετρίνο αλληλεπιδρά με έναν πυρήνα ή ένα νουκλεόνιο μέσα ή κοντά στον πάγο.

2.Η αλληλεπίδραση παράγει φορτισμένα σωματίδια, τα οποία κινούνται μέσα στον πάγο.

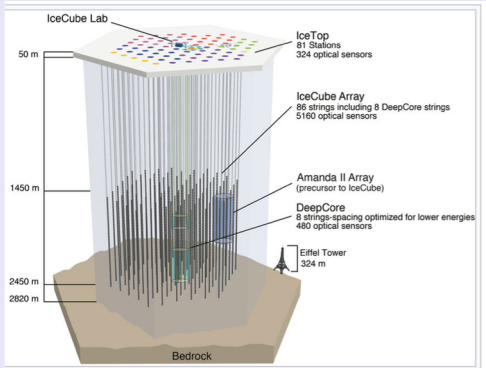
3.Τα σωματίδια εκπέμπουν ακτινοβολία Cherenkov, ένα ασθενές μπλε φως που καταγράφουν οι αισθητήρες. Από τον χρόνο άφιξης και την ένταση του φωτός, οι επιστήμονες εκτιμούν την κατεύθυνση και την ενέργεια του νετρίνου.

➢ **Phys. Rev. Lett. 137, 081002 – Published 18 August, 2026**

Αναλυση 11 χρονών αστροφυσικού πληθυσμού νετρίνων σε ενέργειες από 5 TeV έως 10 PeV. Ενδείξεις, με επίπεδο εμπιστοσύνης άνω του 90%, ότι στη ροή των κοσμικών νετρίνων υπάρχουν και οι τρεις γεύσεις:
Ηλεκτρονικά νετρίνα , Μιονικά νετρίνα, Ταυ νετρίνο

➢ Phys. Rev. Lett. **136**, 121002 – **Published 26 March, 2026**

Το ενεργειακό φάσμα των αστροφυσικών νετρίνων δεν περιγράφεται ενιαία από νόμο δύναμης σε όλο το εύρος ενεργειών.
Για ενεργειες κάτω από περίπου 30 TeV το φάσμα φαίνεται πιο σκληρό, σε σχέση με τις υψηλότερες ενέργειες.
Η περιγραφή με σπασμένο νόμο δύναμης προτιμήθηκε έναντι ενός απλού νόμου δύναμης.
Η αλλαγή μπορεί να υποδεικνύει ότι συνεισφέρουν διαφορετικές κατηγορίες αστροφυσικών πηγών ή διαφορετικοί μηχανισμοί παραγωγής νετρίνων.



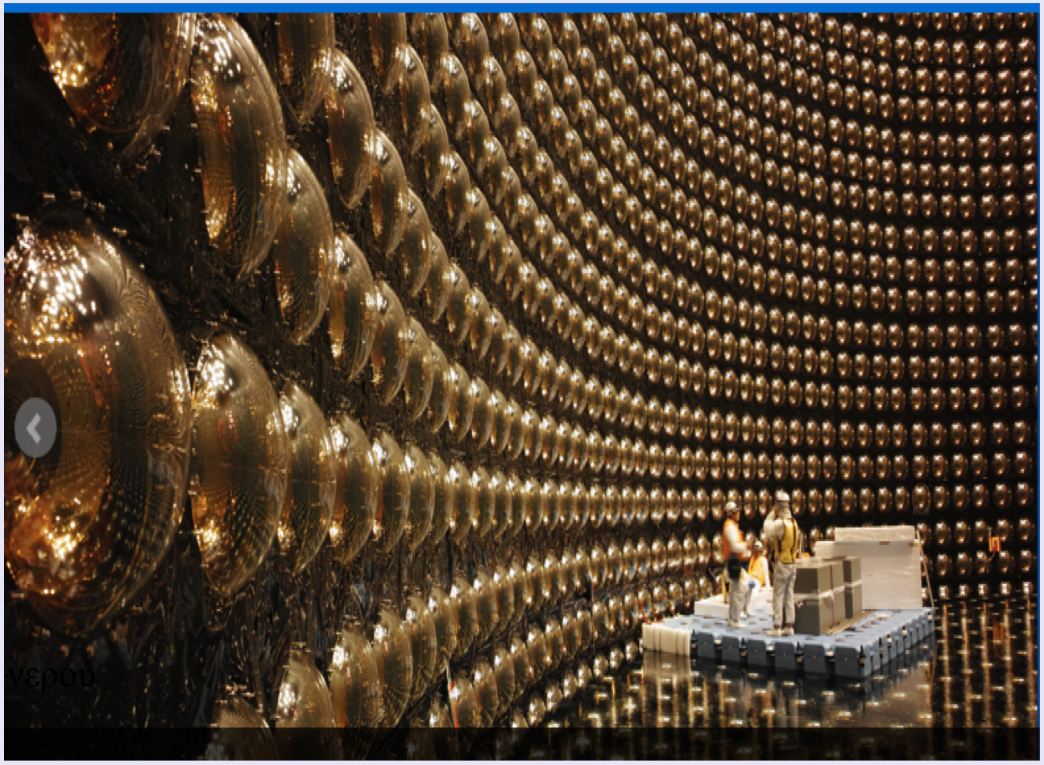
Three dimensional layout of the neutrino detector

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 δεξαμένη με 50 χιλιάδες τόνους καθαρού νερού
13 χιλιάδες Cherenkov

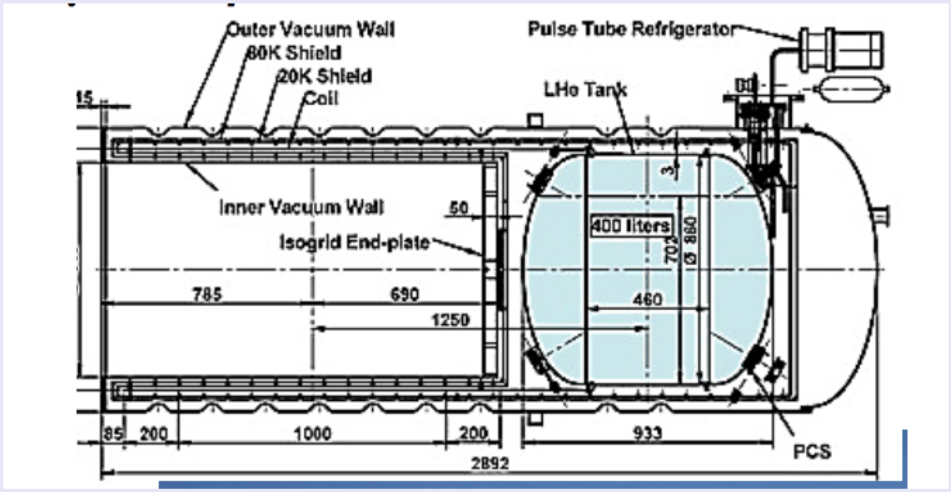
K2K is an international collaboration of physicists, organized to study the properties of the subatomic particles called neutrinos

Επίγειες Μετρήσεις

Ανιχνευτές σε Ballons

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

BESS (Balloon Borne Experiment with Superconducting Solenoidal Spectrometer)



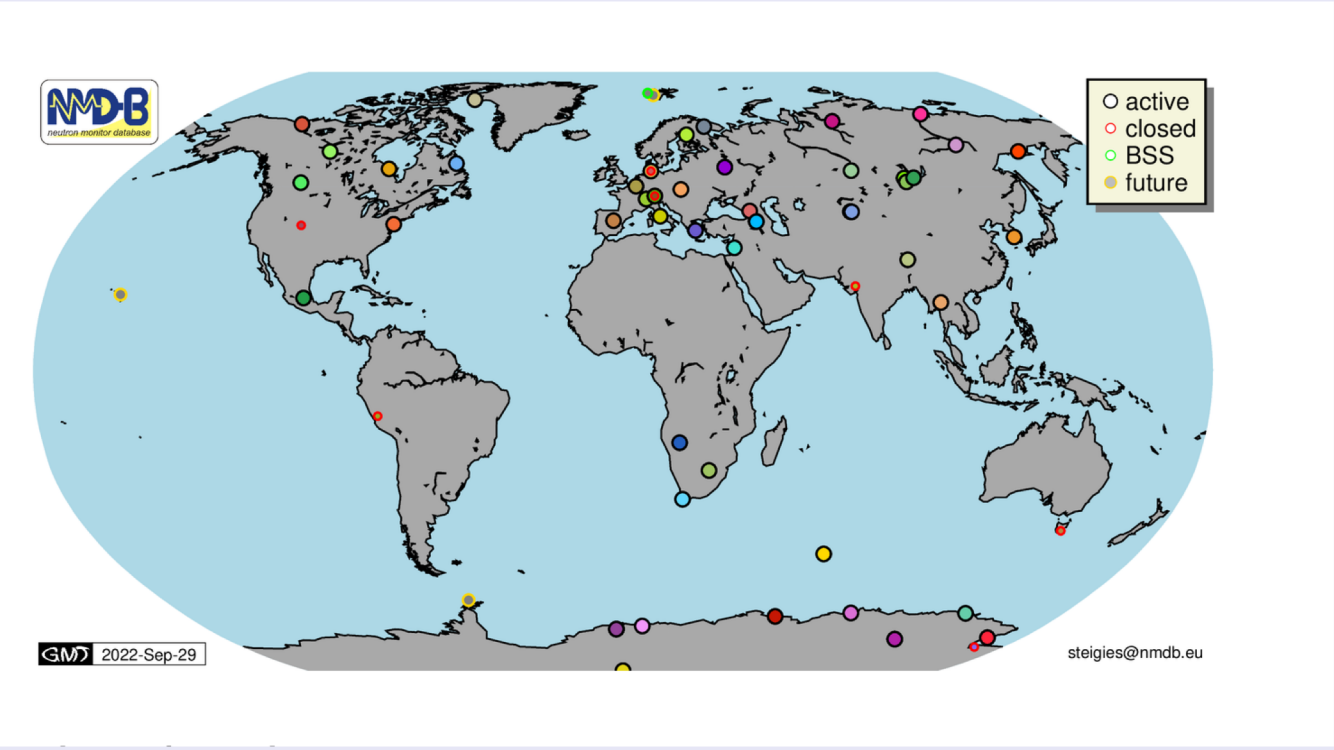
Εξωτερικοί σπινθηριστές μετρούν χρόνο πτήσης, θάλαμοι ολίσθησης μετρούν την τροχιά. Ένα ελαφρύ υπεραγώγιμο πηνίο, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, εσωτερικοί θάλαμοι ολίσθησης για τον υπολογισμό της ορμής.

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 σωμάτια 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.



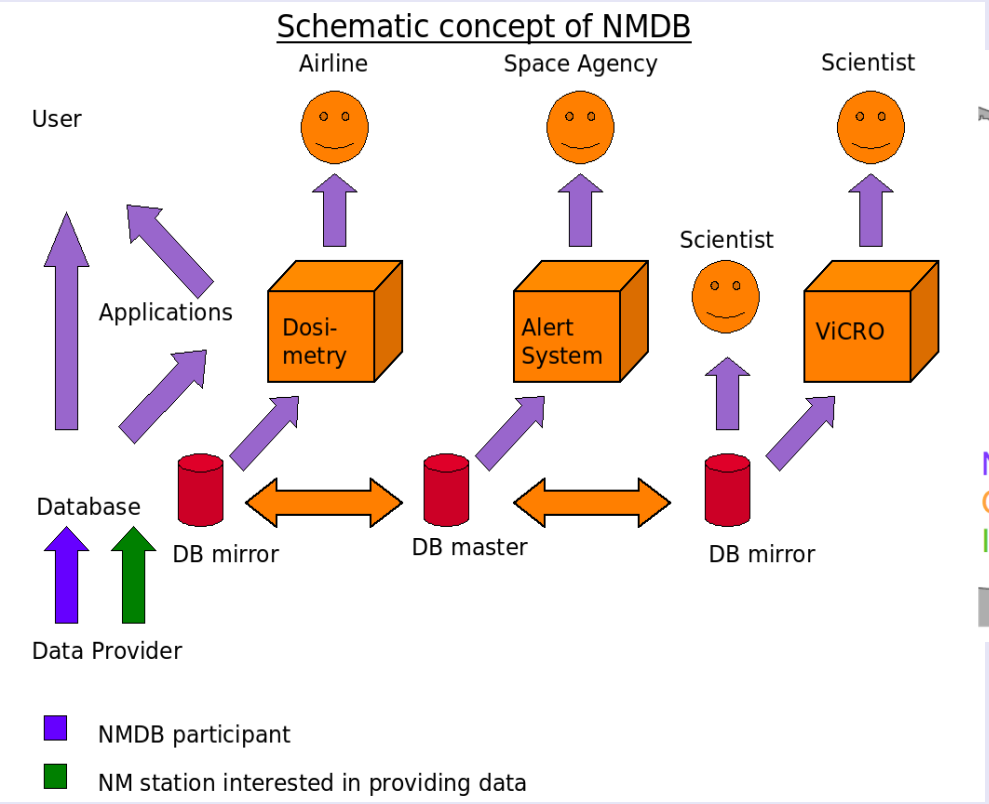
75 χρονια συνεχών μετρήσεων

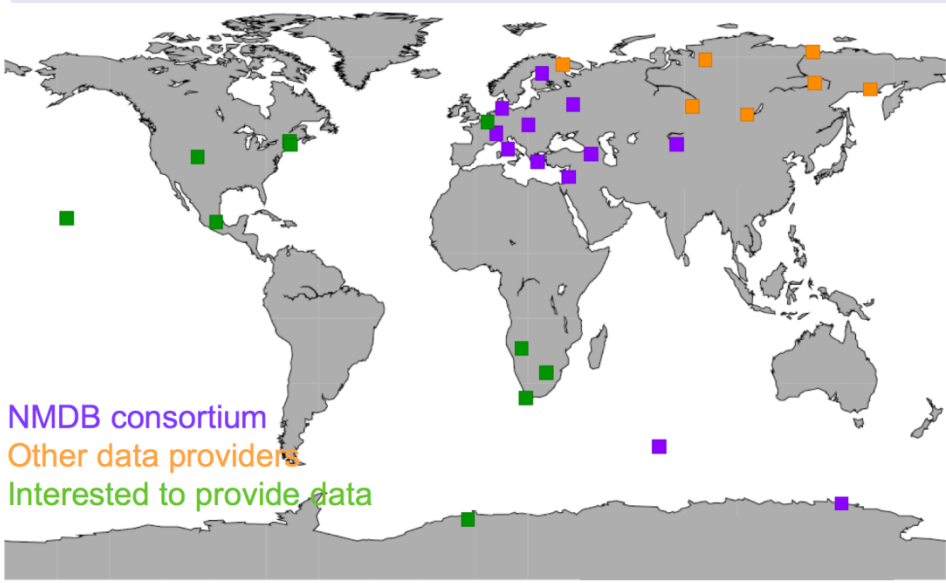
1997 τεχνολογία πραγματικου χρόνου.

Διεθνής Βάση υψηλής ανάλυσης δεδομένων Μετρητών Νετρονίων
High Resolution Neutron Monitor Database (NMDB)
http://www.nmdb.eu



Neutron Monitor Database (NMDB)





http://www.nmdb.eu

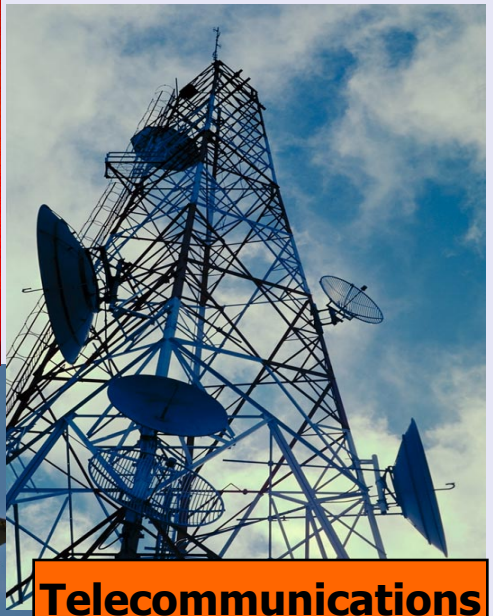
- 52 stations
- 22 in quasi real-time mode

ΠΙΘΑΝΟΙ ΧΡΗΣΤΕΣ



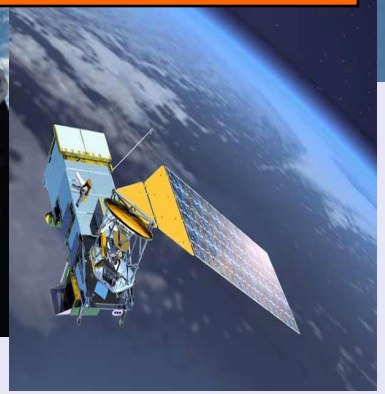


Air Force





Satellite Operation Centers





Scientists

