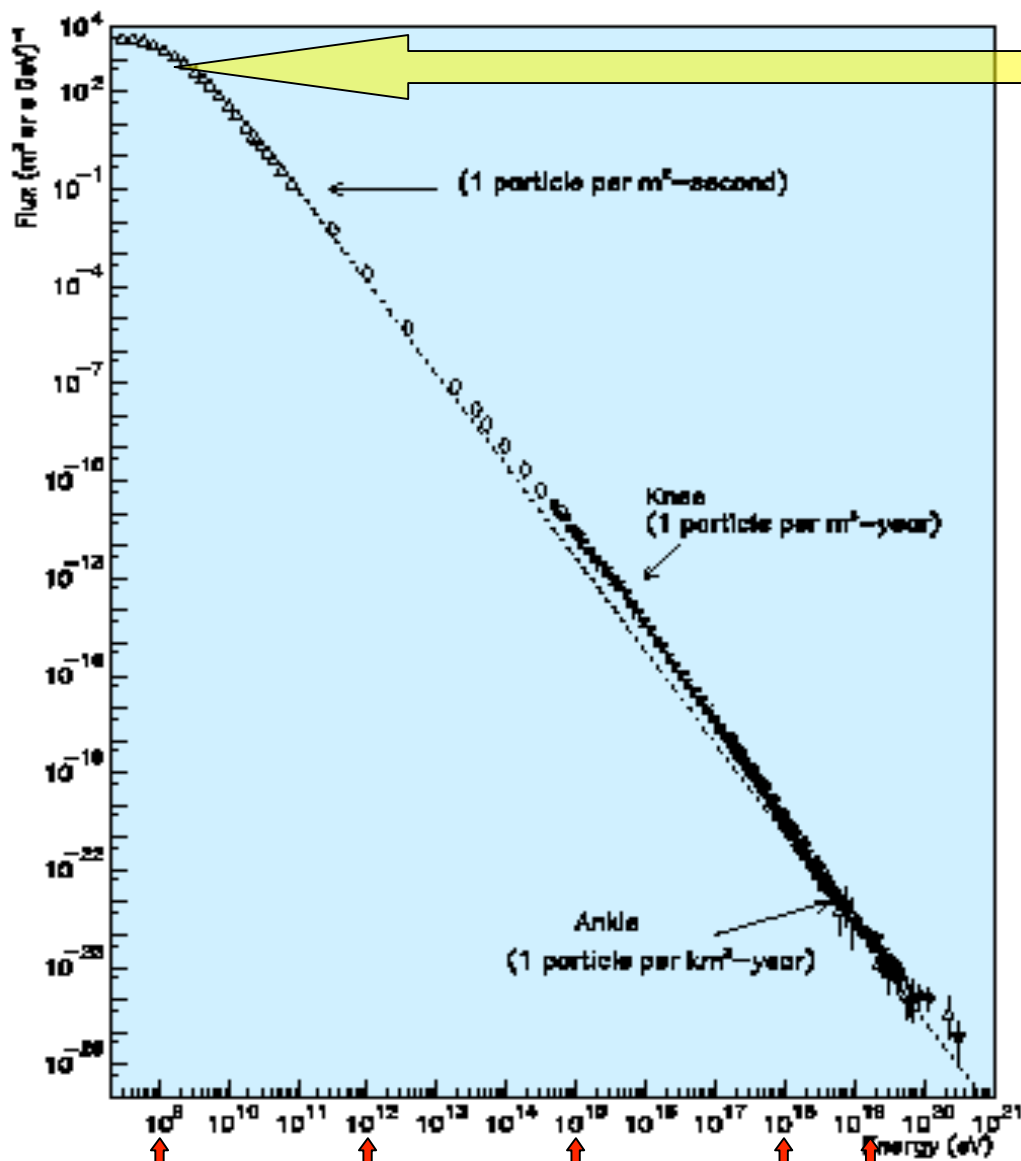


Fisica Nucleare e Subnucleare II

Lezioni n. 39 e 40

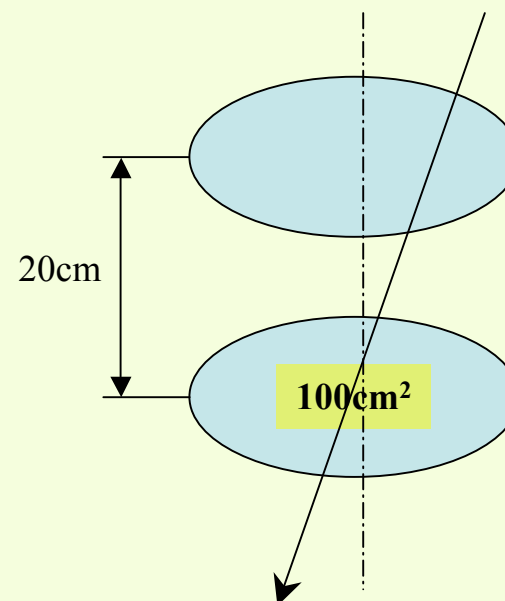
- Raggi cosmici:
 - Composizione dei raggi cosmici primari: materia ed antimateria ?
 - Misure di RC primari con $E < 100 \text{ GeV}$ (palloni stratosferici, PAMELA, ...)
 - Rivelazione di raggi cosmici con $50 \text{ GeV} < E < 100 \text{ TeV}$: rivelazione "indiretta di raggi cosmici"
 - apparati "air Cherenkov"
 - apparati per la misura di sciame sulla superficie terrestre

Rivelazione di raggi cosmici primari con $E \leq 100 \text{ GeV}$



GeV TeV PeV EeV Joule

~ 10 particelle/s



scintillatori,
camere a fili,
apparato tracciante,
campo magnetico,
Cherenkov,

Un piccolo apparato ($r \sim 6 \text{ cm}$, apertura $\sim 22 \text{ cm}^2 \text{ sr}$) trasportato da palloni (qualche decina/centinaio di ore di volo \rightarrow più di 10^6 eventi) può raccogliere una discreta statistica nella regione di energia fino a $\sim 10 \text{ GeV}$:

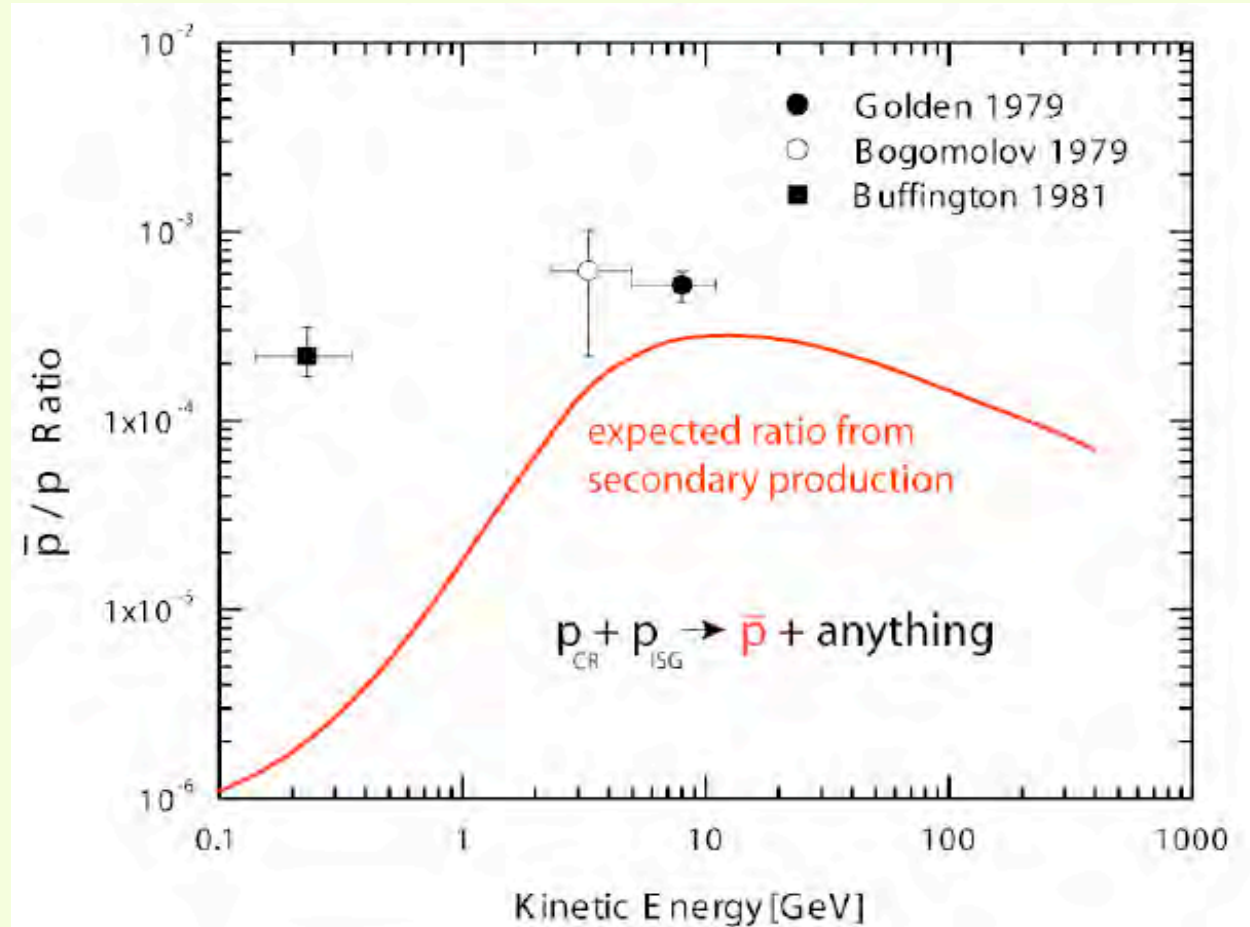
- composizione dei raggi cosmici (protoni, nuclei pesanti, ...)
- spettro
- materia/antimateria (identificazione di positroni, antiprotoni, anti-elio, ...)

Rapporto Protone/antiprotone

Nel 79 Golden et al. osservarono antiprotoni nei raggi cosmici. Segno di un universo simmetrico per materia ed antimateria ???.

Antiprotoni aspettati nelle interazioni di R.C. (protoni, He+, nuclei più pesanti,...) con la materia interstellare (ISM).

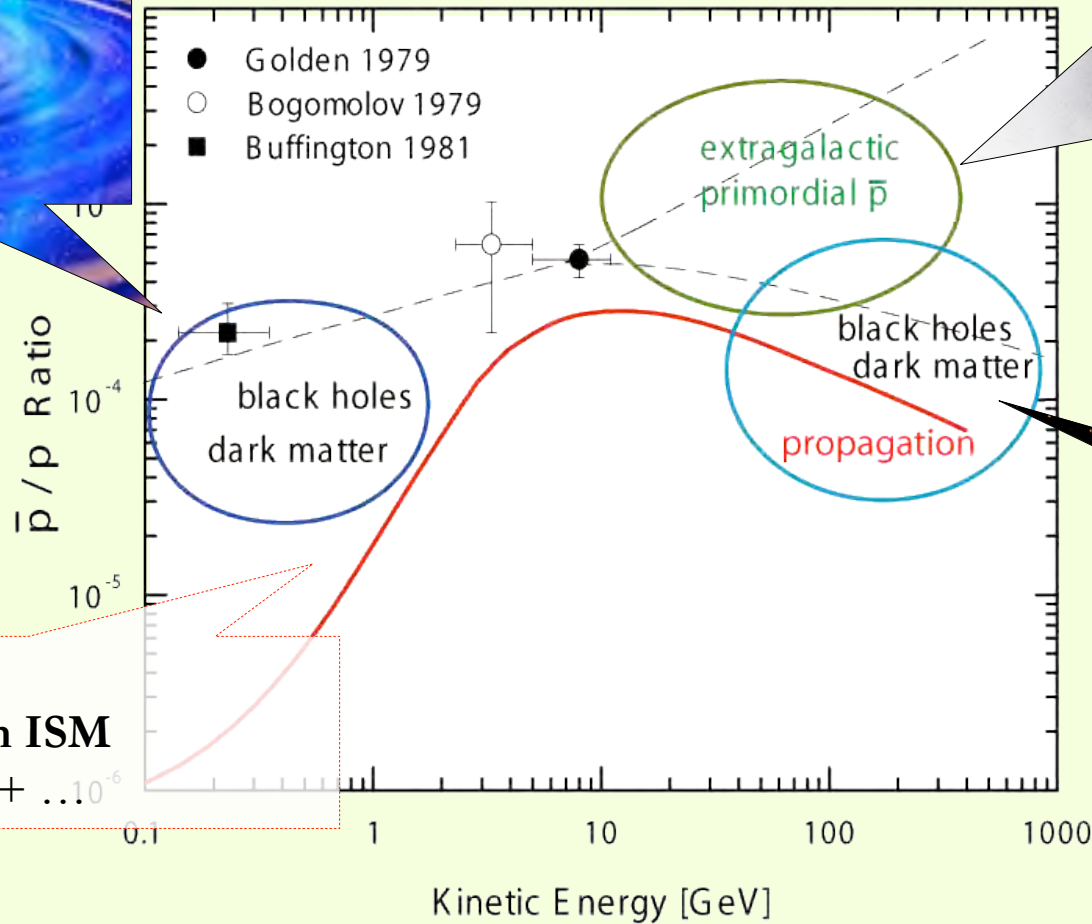
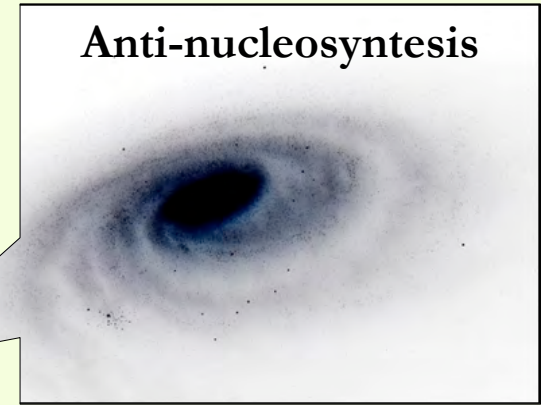
Il confronto fra flusso aspettato e misurato può offrire dati per “modellare” il trasporto dei R.C. (in particolare i nuclei più pesanti) nell’ISM.



Sono state considerate anche altre sorgenti ‘esotiche’ quali “evaporazione di black holes primordiali, decadimento di “dark matter”, accelerazione in plasma relativistico, ...

Le misure di BESS, MASS2 , IMAX, e CAPRICE sono in accordo con il modello che la maggioranza degli antiprotoni sono prodotti secondari dell’interazione dei R.C. primari.

Dobbiamo aspettarci una componente di antimateria nei R.C. primari ?



Background:
 CR interaction with ISM
 $CR + ISM \rightarrow p\text{-bar} + \dots \cdot 10^{-6}$



IMAX

Isotope Matter Antimatter Experiment

Realizzato per essere trasportato nell'alta atmosfera con palloni e per misurare l'abbondanza nei R.C. galattici di protoni, antiprotoni, deuterio, elio-3 ed elio-4 nell'intervallo di energie $\sim 0.2 \div 3.2$ GeV/nucleone. In questa regione di energie c'è il massimo di intensità per i flussi aspettati delle particelle che si vogliono osservare

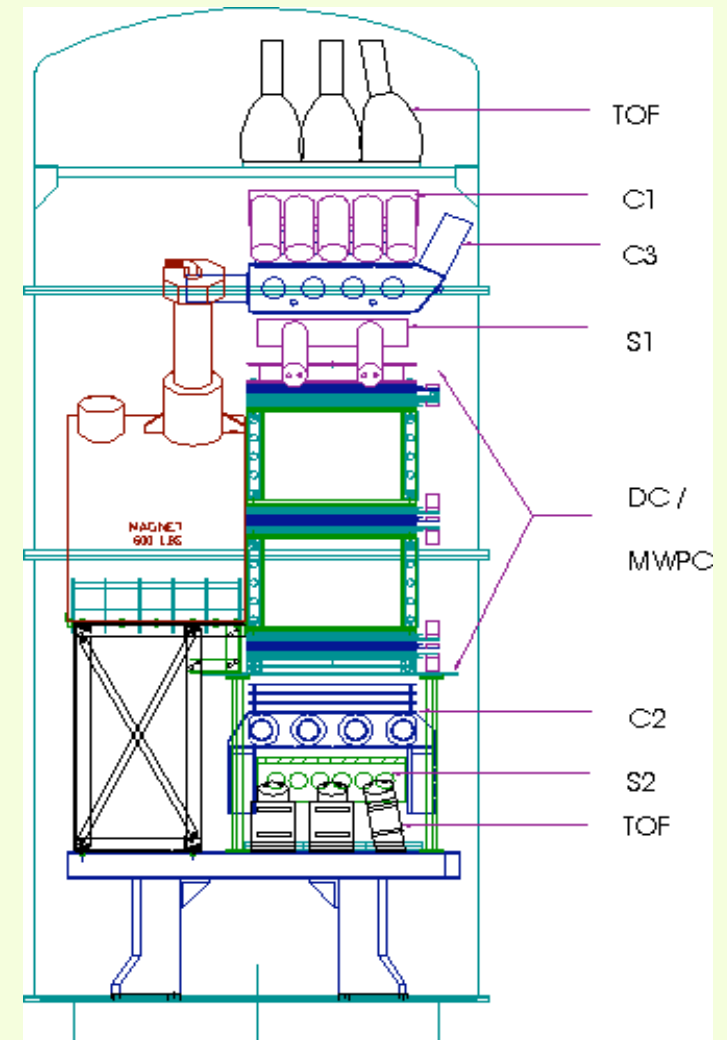
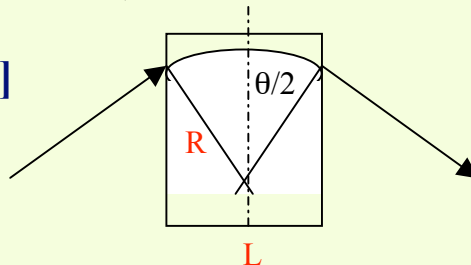
IMAX misura la **rigidità magnetica** delle particelle cariche che attraversano l'apparato (tramite tracciamento nelle drift chambers (DC) e nei multiwire proportional counters (MWPC)), la **carica** (via dE/dx negli scintillatori (S1, S2) che forniscono il time-of-flight (TOF)), e la **velocità** (via time-of-flight (TOF) ed i contatori Cherenkov ad aerogel (C2 and C3)).

Combinando queste tre quantità è possibile **identificare la particella tramite massa, carica e segno della carica.**

IMAX è stato portato in volo nel Luglio 1992 partendo da Lynn Lake, Manitoba, Canada, ha raggiunto la quota di circa 36 km (con un'atmosfera residua pari a 5 g/cm^2) e durante circa 16 ore ha collezionato più di 3 milioni di eventi (raccogliendo una statistica 10 volte maggiore rispetto ad esperimenti precedenti).

$$\text{Rigidità} = p c / Ze \text{ [GV]} = [\text{Gev}/\text{carica}]$$

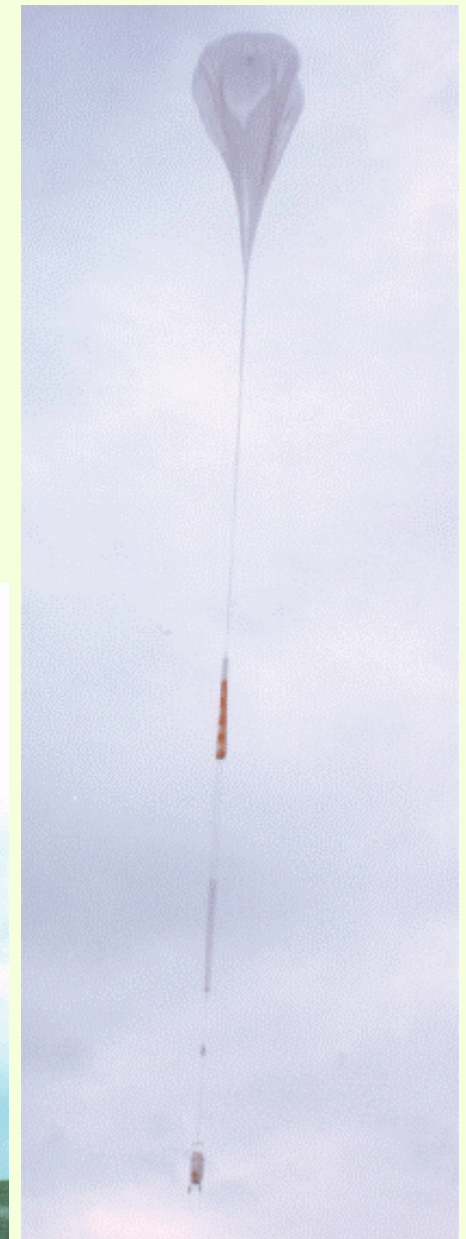
$$\sin \theta/2 = e B L / (2 p) = L / (2 R)$$



IMAX - La fase di lancio

FLIGHT

16-17 July 16-17, 1992, Lynn Lake, Manitoba, Canada. Float was reached about 7 hours after launch. The instrument took data throughout ascent, recording about 1.4×10^6 events. These data will be used to determine altitude-dependent particle spectra. At the end of the float period, the magnet was ramped down and data was taken with the magnet off in order to check the alignment of the tracking chambers. Landing was near Peace River, Alberta, Canada, with the instrument being recovered in excellent condition. All payload and detector systems appear to have performed well throughout the flight. Over 3.4×10^6 events were recorded during the float period.



IMAX - flusso di antiprotoni

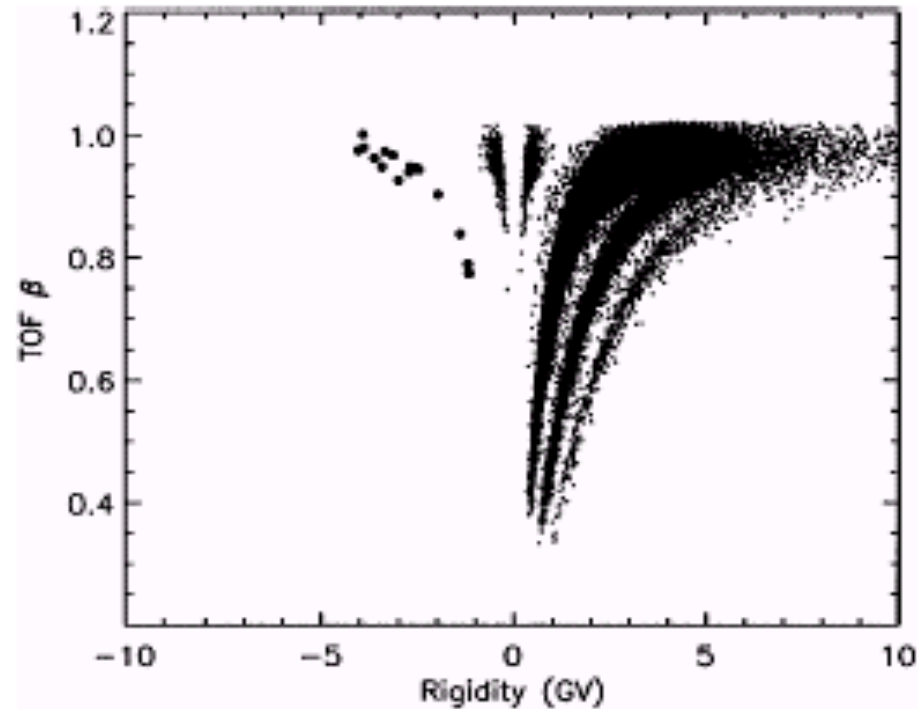


FIG. 1. Velocity determined by the TOF vs rigidity for events with $C2 + C3 \leq 0.36$. The 16 antiprotons have been enhanced (●). Protons, deuterium, and tritium are visible at positive rigidity. The protons and antiprotons are clearly separated from the pions, muons, and electrons.

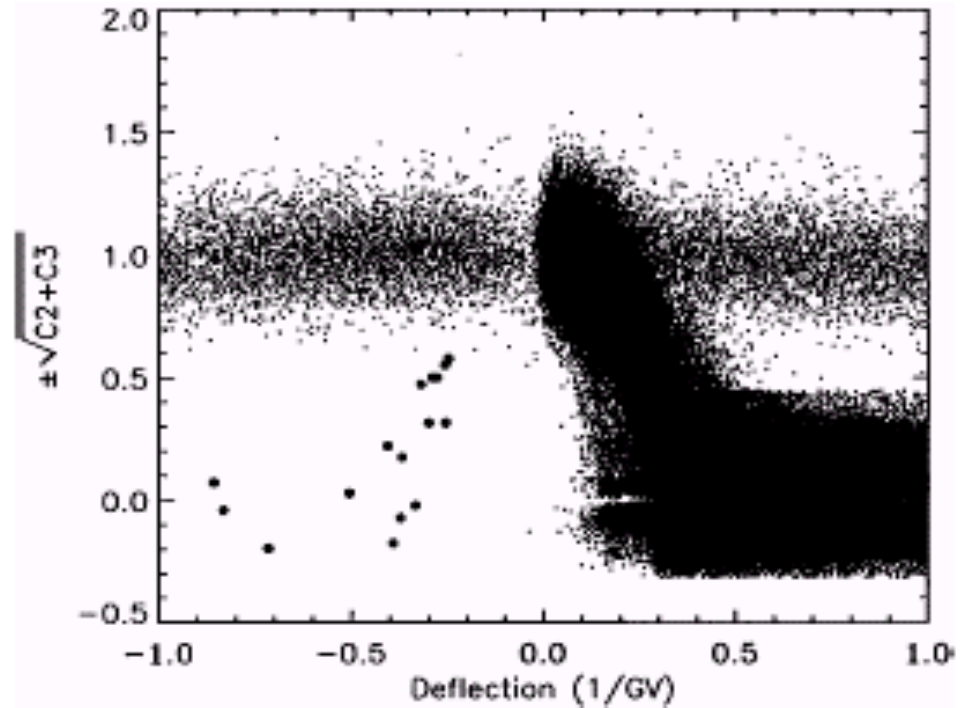
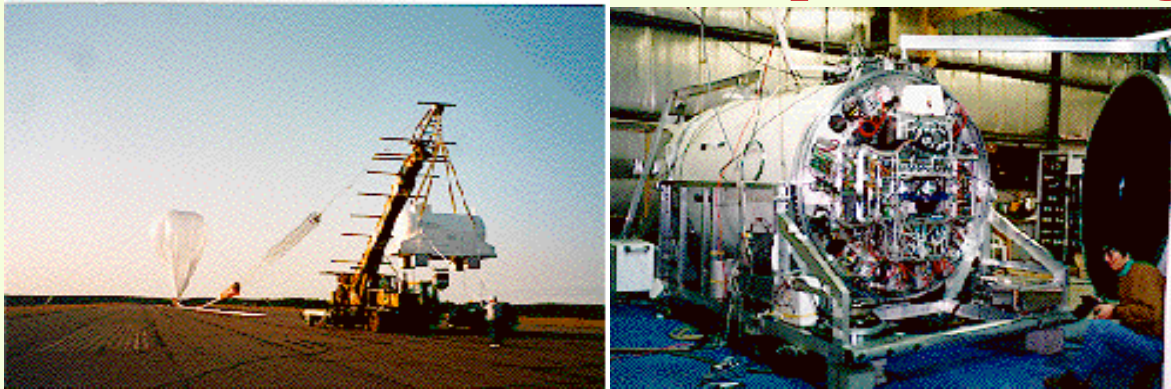


FIG. 2. The signed square root of the absolute value of the $C2 + C3$ signal vs deflection (proportional to rigidity⁻¹). The 16 antiprotons have been enhanced (●). Low-mass particles occupy the nearly horizontal band. The Cherenkov counter noise of ~ 0.5 photoelectron can result in negative values. At low amplitude, fluctuations in the signal are exaggerated by the square root. Below 3.2 GeV (0.6 ordinate) the antiprotons are well separated from background.

BESS - Baloon Superconducting Solenoid Experiment



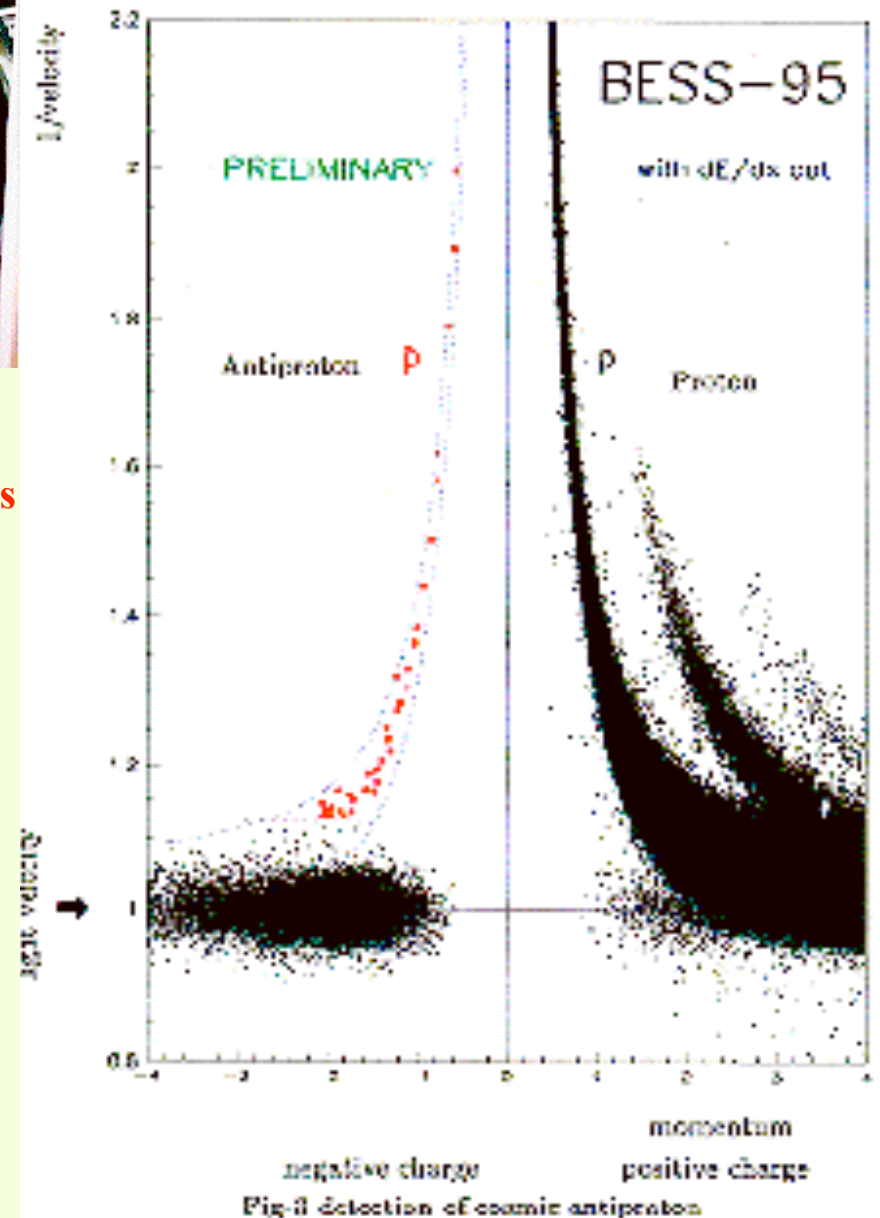
Primary scientific objectives of the experiment are the measurements of the **cosmic antiproton energy spectrum**, **very sensitive search for antihelium**, and the **precision measurements of various cosmic ray components**.

The BESS detector has a unique cylindrical configuration with a large acceptance of 0.4, which is one order of magnitude larger than that of previous spectrometers.

Forty low energy cosmic antiprotons were clearly detected for the first time by the BESS detector.

Anti-helium

BESS experiment already has placed an upper limit on anti-helium to helium ratio of 2×10^{-6} , which is a factor improvement over previous experiments, which is a factor of 50 improvement over previous experiments.



Una possibile interpretazione: antimateria nei raggi cosmici da annichilazione di “Materia Oscura”

Annihilation of relic Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) gravitationally confined in the galactic halo

→ Distortion of antiproton and positron spectra from purely secondary production

• A plausible dark matter candidate is neutralino (χ), the lightest SUSY Particle (LSP).

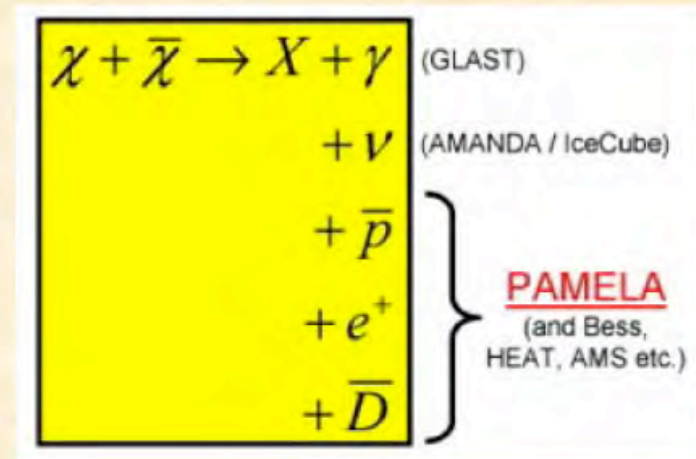
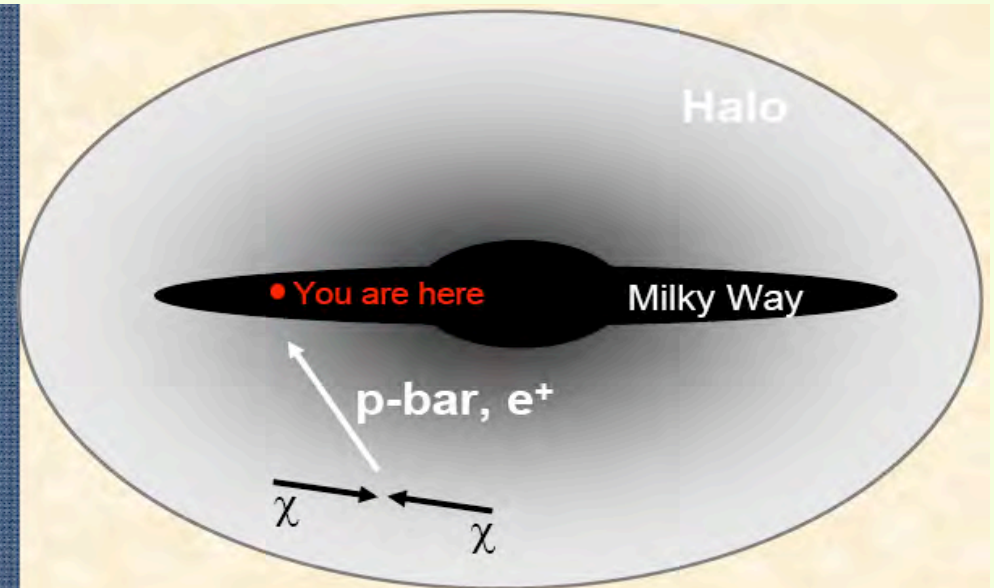
Most likely processes:

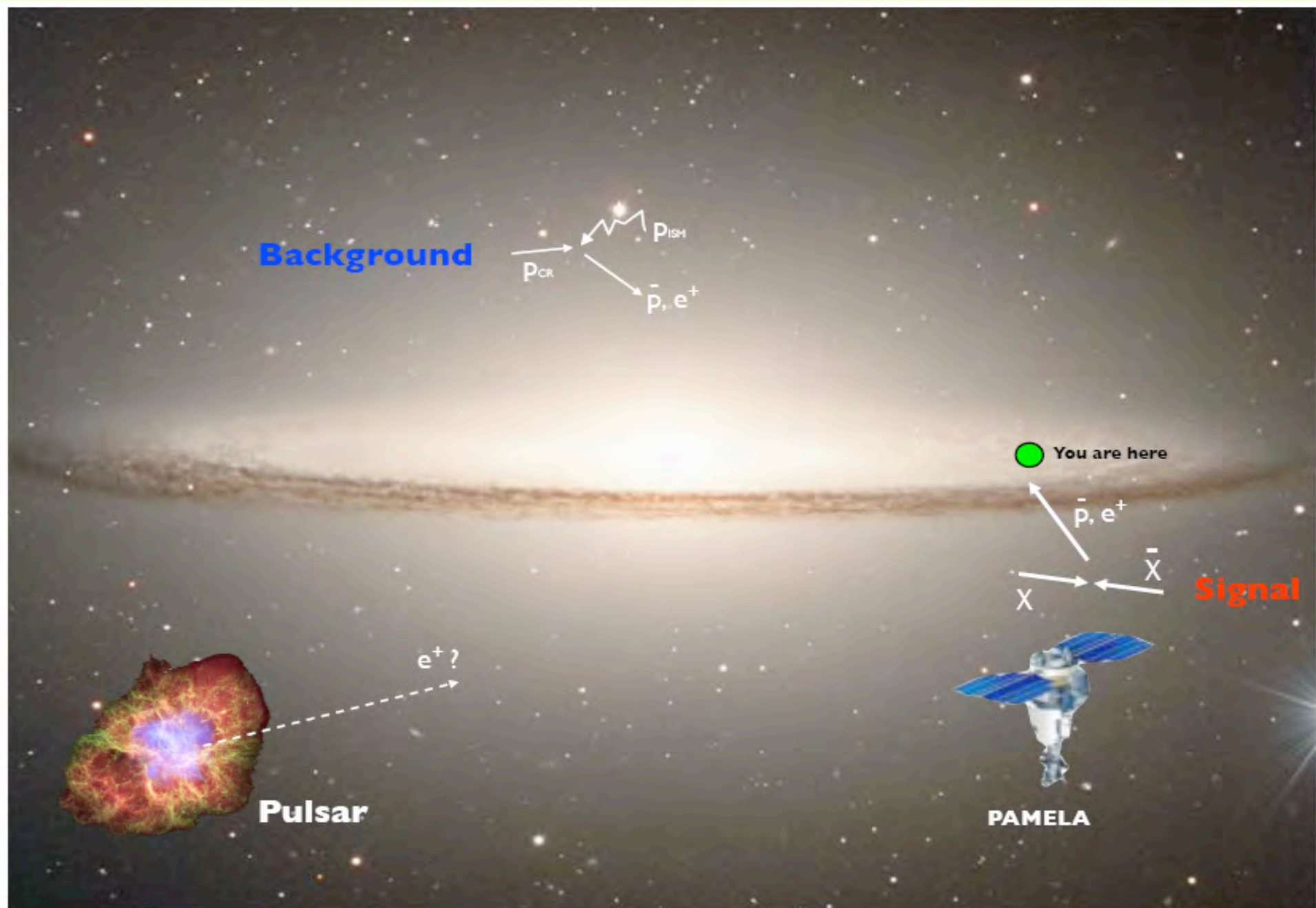
- $\chi\chi \rightarrow qq \rightarrow \text{hadrons} \rightarrow \text{anti-p}, e^+, \dots$
- $\chi\chi \rightarrow W^+W^-, Z^0Z^0, \dots \rightarrow e^+, \dots$
 - ⇒ positron peak $E_{e^+} \sim M_\chi/2$
 - ⇒ positron continuum $E_{e^+} \sim M_\chi/20$

• Another possible candidate is the lightest Kaluza-Klein Particle (LKP): $B^{(1)}$

Fermionic final states no longer suppressed:

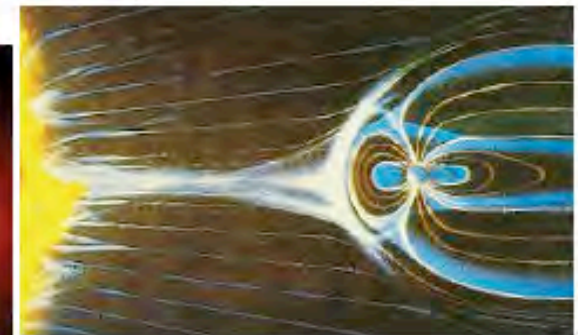
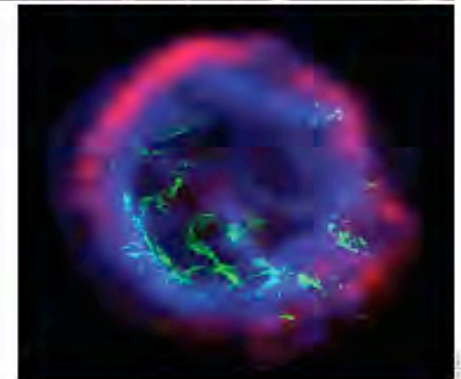
- $B^{(1)}B^{(1)} \rightarrow e^+e^-$
- direct decay \Rightarrow positron peak $E_{e^+} \sim M_{B^{(1)}}$





Le finalità scientifiche di PAMELA

- **Search for dark matter annihilation**
- Search for antihelium (primordial antimatter)
- Study of cosmic-ray propagation (light nuclei and isotopes)
- Study of electron spectrum (local sources?)
- Study solar physics and solar modulation
- Study terrestrial magnetosphere



Proprietà del rivelatore PAMELA

Magnetic curvature & trigger

spillover

shower

Maximum detectable rigidity (MDR)

	<u>energy range</u>	<u>particles in 3 years</u>
Antiprotons	80 MeV ÷ 190 GeV	O(10 ⁴)
Positrons	50 MeV ÷ 270 GeV	O(10 ⁵)
Electrons	up to 400 GeV	O(10 ⁶)
Protons	up to 700 GeV	O(10 ⁸)
Electrons+positrons	up to 2 TeV (from calorimeter)	
Light Nuclei	up to 200 GeV/n	He/Be/C: O(10 ^{7/4/5})
Anti-Nuclei search	sensitivity of 3x10 ⁻⁸ in anti-He/He	

• **Unprecedented statistics and new energy range for cosmic ray physics**

• e.g. contemporary antiproton & positron energy, $E_{max} \approx 50$ GeV

• Simultaneous measurements of many species

• constrain secondary production models

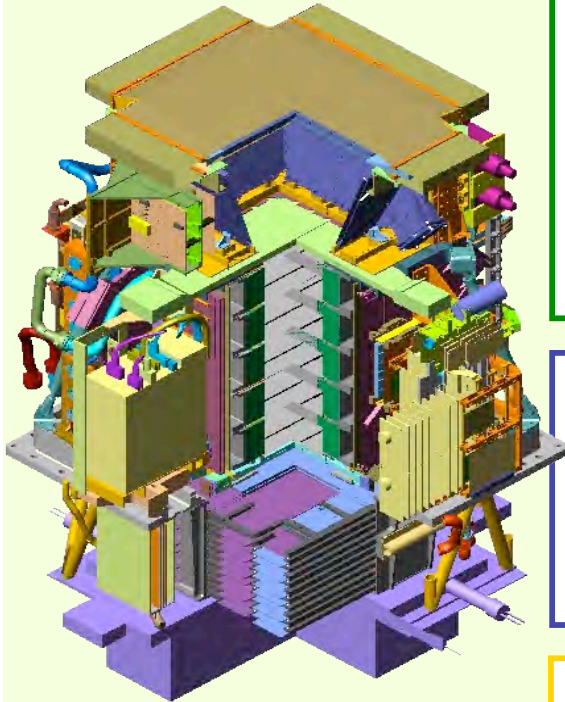
I HEAT-PBAR flight ~ 25 days PAMELA data

I CAPRICE98 flight ~ 5 days PAMELA data



I rivelatori che compongono PAMELA

Main requirements → high-sensitivity antiparticle identification and precise momentum measure



GF: 21.5 cm² sr
 Mass: 470 kg
 Size: 130x70x70 cm³
 Power Budget: 360W

Time-Of-Flight

plastic scintillators + PMT:

- Trigger
- Albedo rejection;
- Mass identification up to 1 GeV;
- Charge identification from dE/dX.

Electromagnetic calorimeter

W/Si sampling (16.3 X0, 0.6 λ)

- Discrimination e⁺ / p, anti-p / e⁻ (shower topology)
- Direct E measurement for e⁻

Neutron detector

36 He³ counters

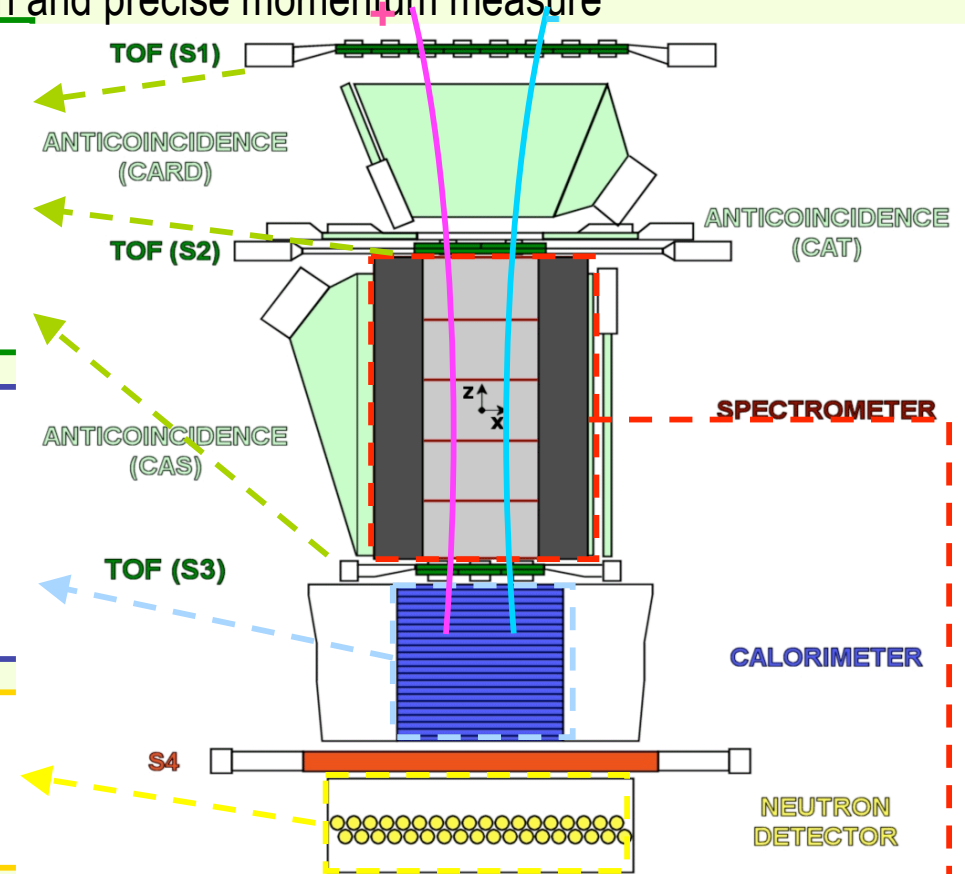
- High-energy e/h discrimination

Spectrometer

microstrip silicon tracking system + permanent magnet

It provides:

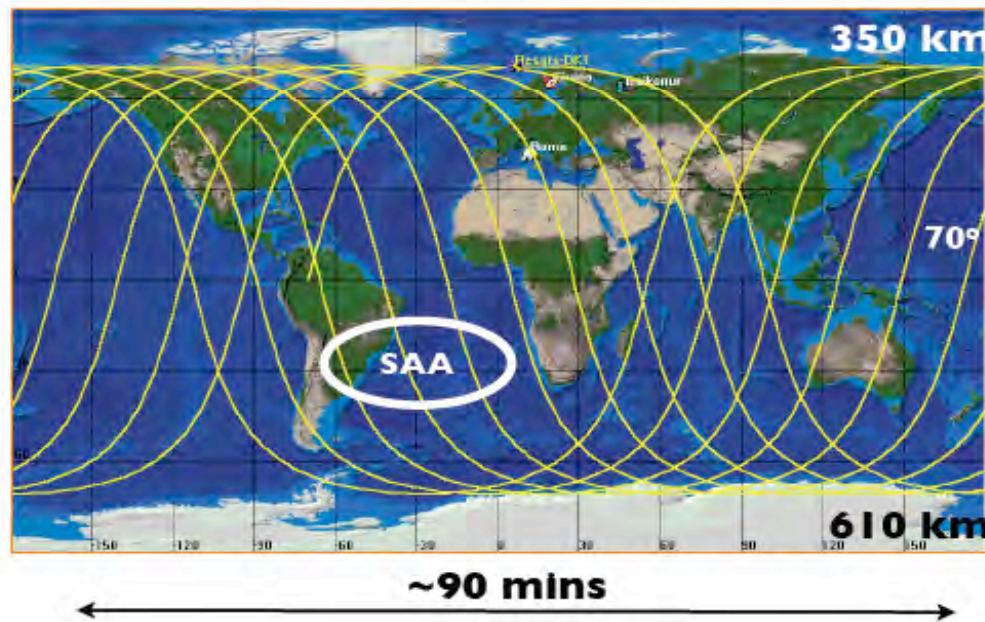
- *Magnetic rigidity* → $R = pc/Ze$
- *Charge sign*
- *Charge value from dE/dx*



The Resurs DK-1 spacecraft

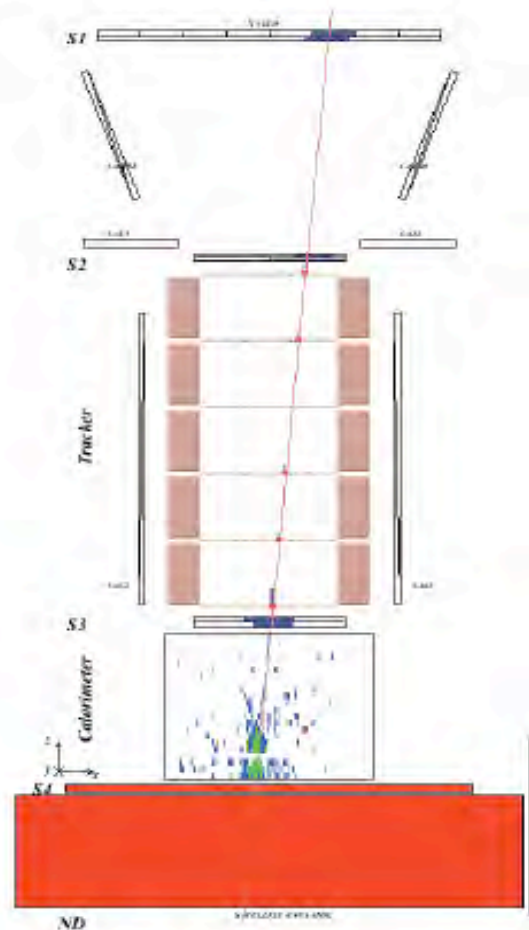


Resurs-DK1
Mass: 6.7 tonnes
Height: 7.4 m
Solar array area: 36 m²



- **Resurs-DK1:** multi-spectral imaging of earth's surface
- **PAMELA mounted inside a pressurized container**
- **Lifetime >3 years (assisted)**
- Data transmitted to NTsOMZ, Moscow via high-speed radio downlink. ~15 GB per day
- Quasi-polar and elliptical orbit (70.0°, 350 km - 600 km)
- Traverses the South Atlantic Anomaly
- Crosses the outer (electron) Van Allen belt at south pole

Discriminazione Antiprotone/positrone



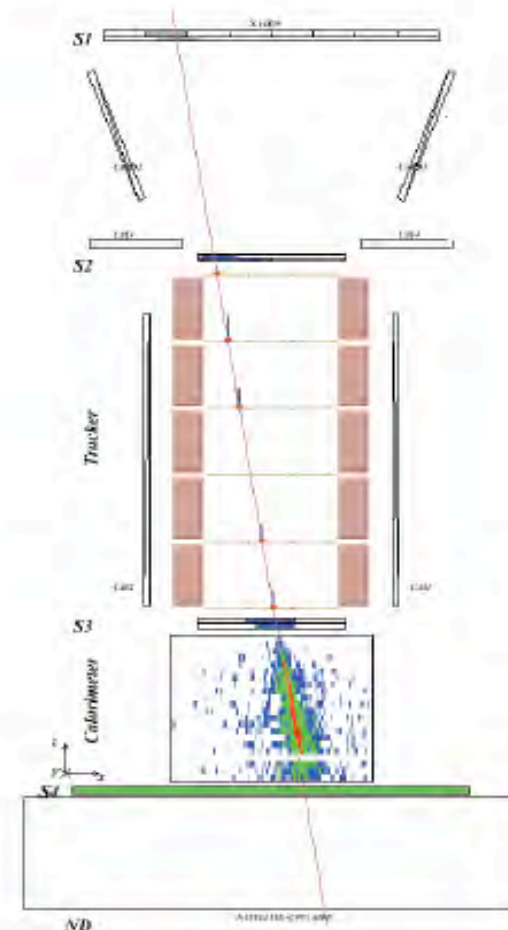
Antiproton
(NB: $e^-/\bar{p} \sim 10^2$)

Time-of-flight:
trigger, albedo
rejection,
mass
determination
(up to 1 GeV)

**Bending in
spectrometer:**
sign of charge
energy measurement

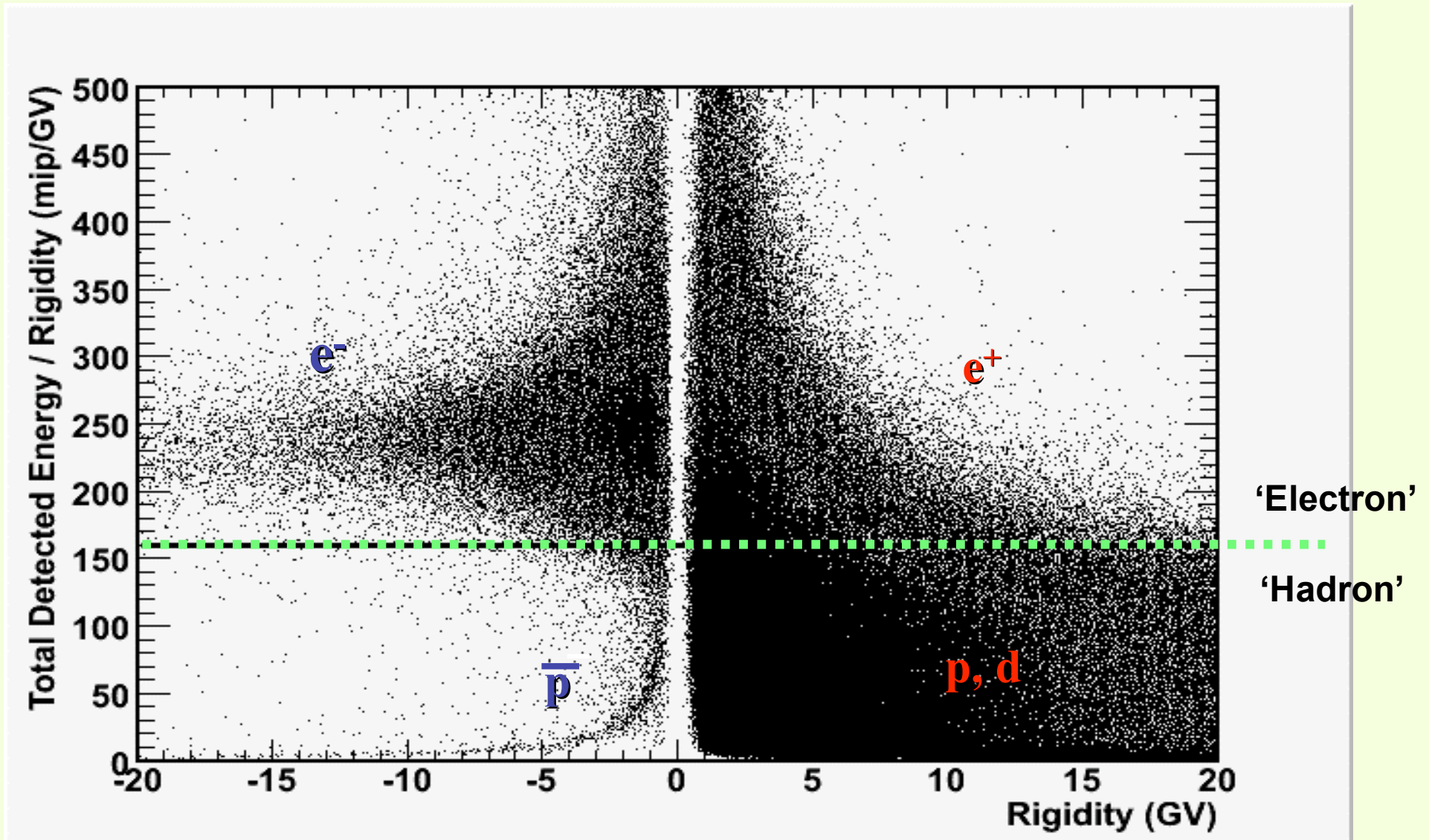
**Ionisation energy
loss (dE/dx):**
magnitude of
charge

**Interaction
pattern in
calorimeter:**
electron-like or
proton-like,
electron energy



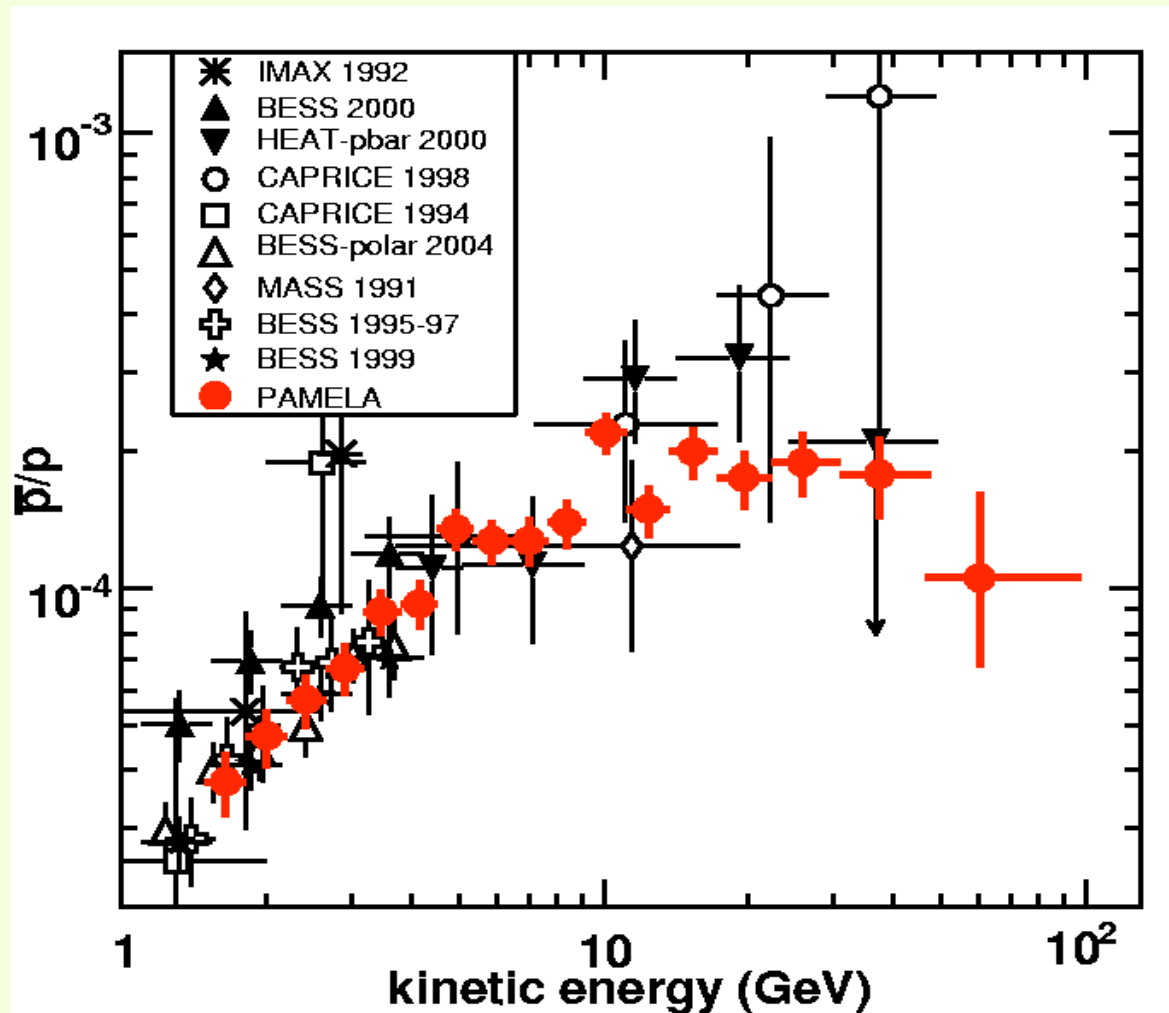
Positron
(NB: $p/e^+ \sim 10^{3-4}$)

Selezione di Particelle Antiparticelle

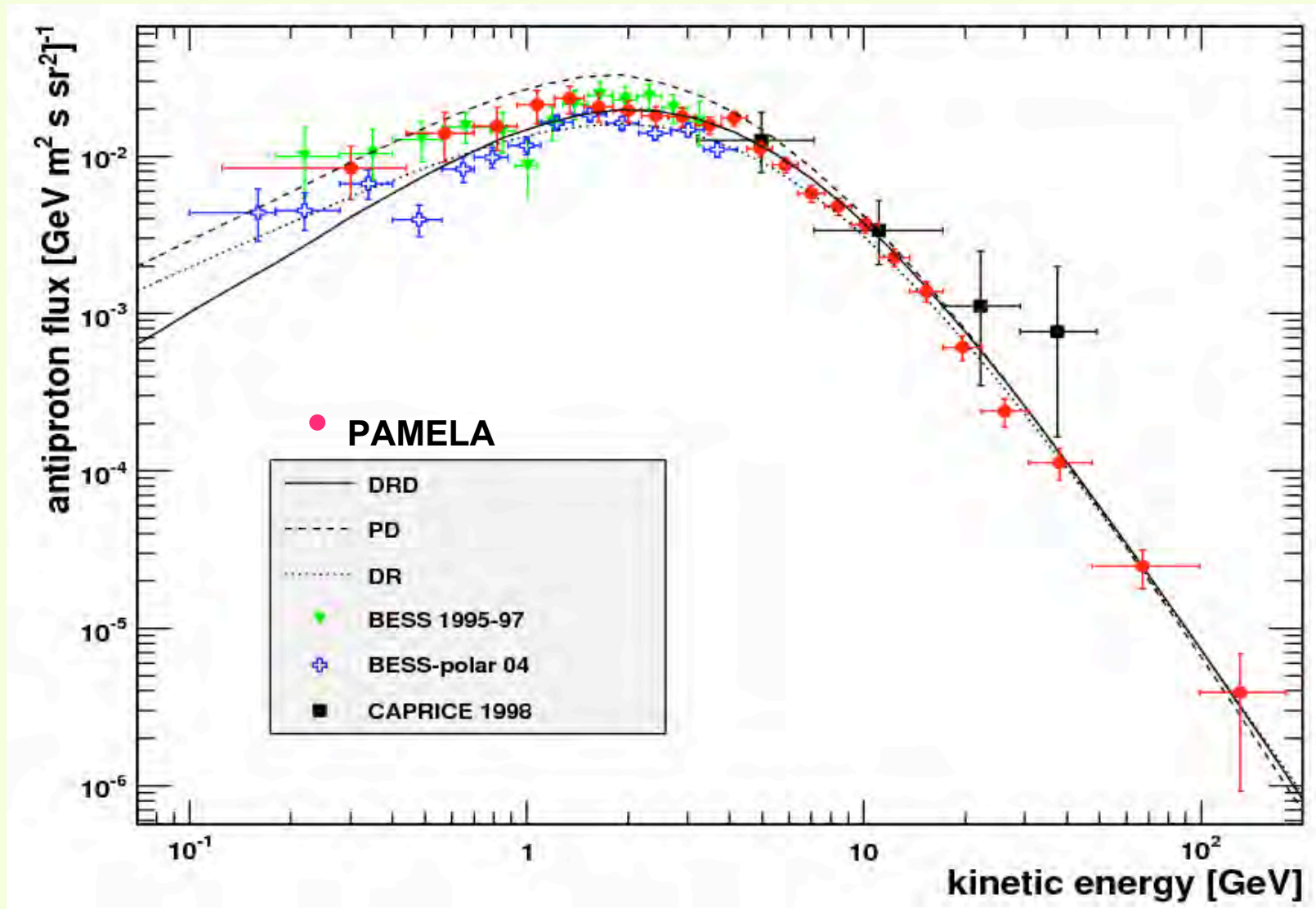


PAMELA: il rapporto Antiprotone/protone

PRL 102, 051101 (2009)



PAMELA: flusso di antiprotoni



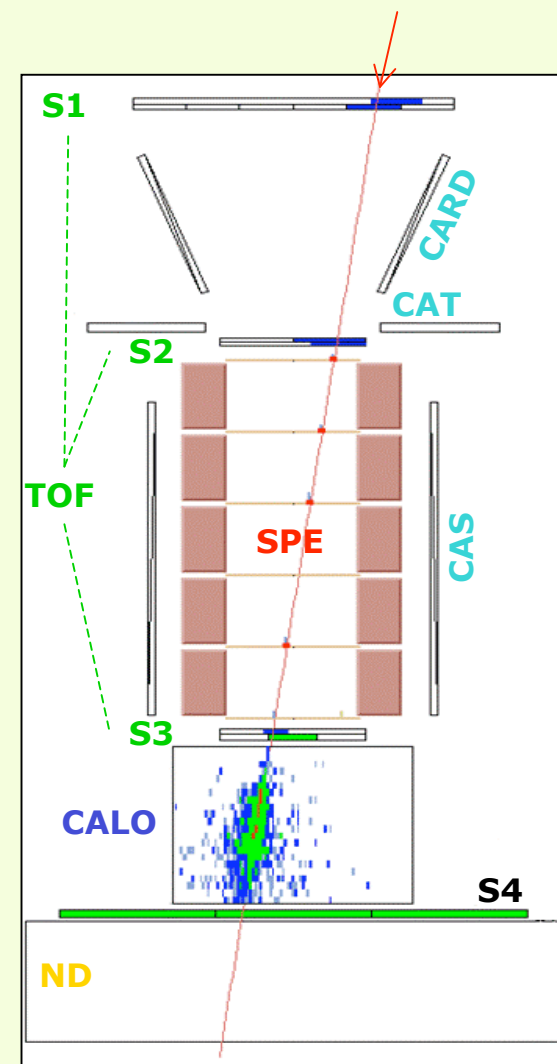
Studio di positroni di alta energia

- Analyzed data July 2006 – February 2008 (~ 500 days)
- Collected triggers $\sim 10^8$
- Identified $\sim 150 \cdot 10^3$ electrons and $\sim 9 \cdot 10^3$ positrons between 1.5 and 100 GeV (**180 positrons above 20 GeV**)

Electron/positron identification:

- rigidity (R) \rightarrow SPE
 - $|Z|=1$ ($dE/dx=MIP$) \rightarrow SPE&ToF
 - $\beta=1 \rightarrow$ ToF
 - e^-/e^+ separation (charge sign) \rightarrow SPE
 - e^+/p (and e^-/p -bar) separation \rightarrow CALO
- Dominant background \rightarrow **interacting protons**:
 - fluctuations in hadronic shower development $\Rightarrow \pi_0 \rightarrow \gamma\gamma$ might mimic pure em showers
 - proton spectrum harder than positron $\Rightarrow p/e^+$ increase for increasing energy ($10^3 @1GV$ $10^4 @100GV$)

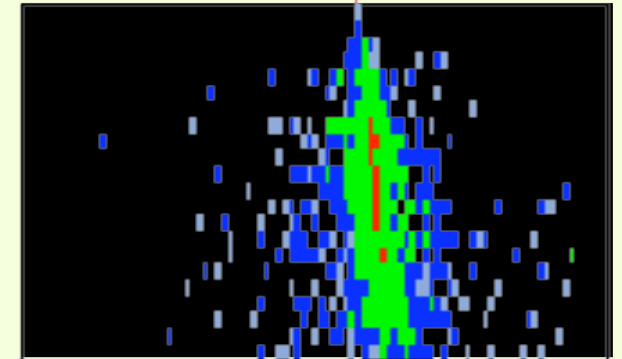
\rightarrow Required strong CALO selection



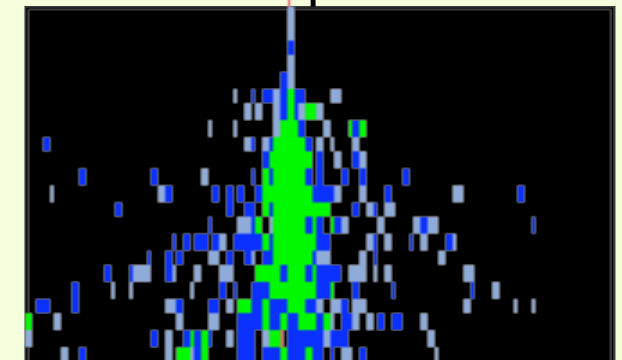
Usò del Calorimetro per la identificazione dei positroni

- Identification based on:
 - Shower topology (lateral and longitudinal profile, shower starting point)
 - Total detected energy (energy-rigidity match)
- Analysis key points:
 - **Tuning/check of selection criteria with:**
 - test-beam data
 - simulation
 - flight data → dE/dx from SPE & neutron yield from ND
 - **Selection of pure proton sample from flight data (“pre-sampler” method):**

51 GV positron



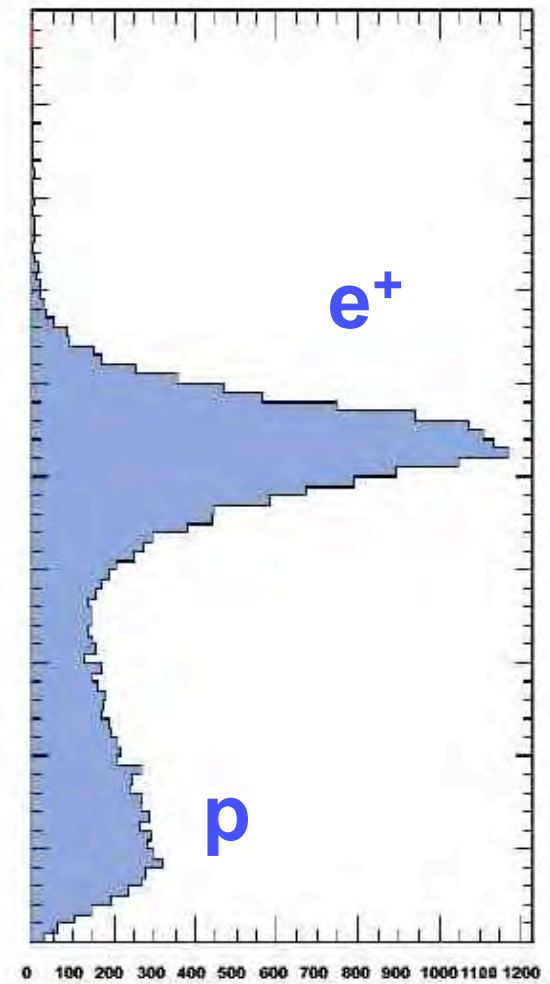
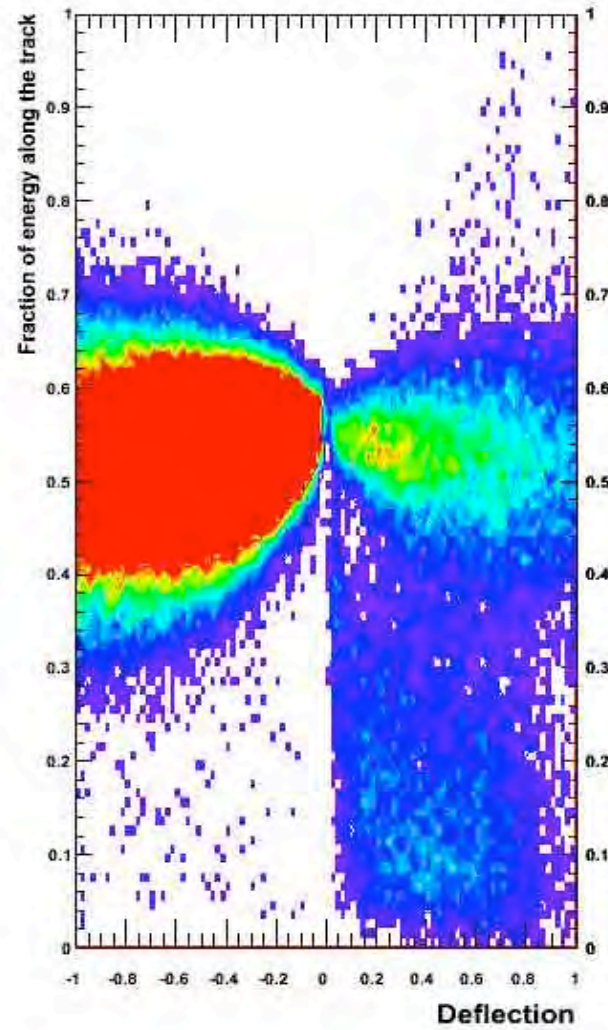
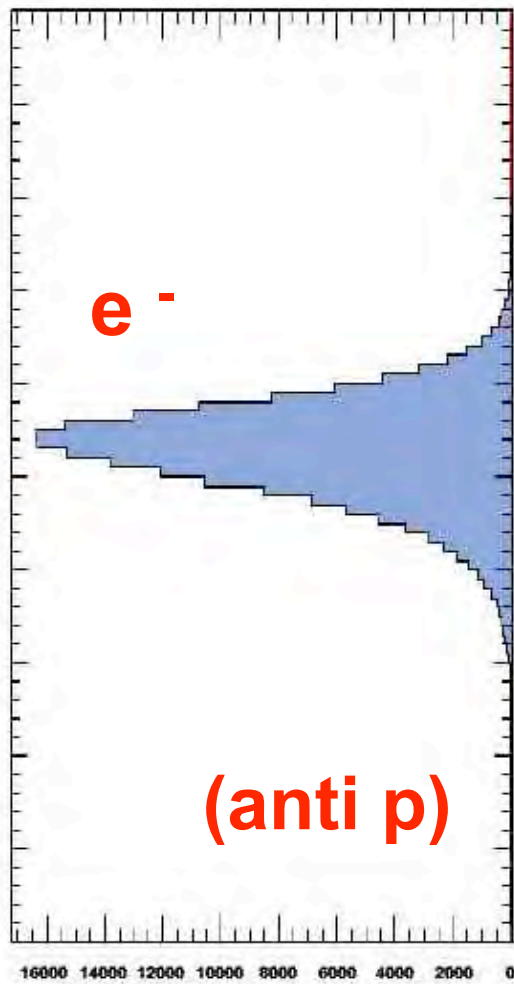
80 GV proton



Final results make NO USE of test-beam and/or simulation calibrations.

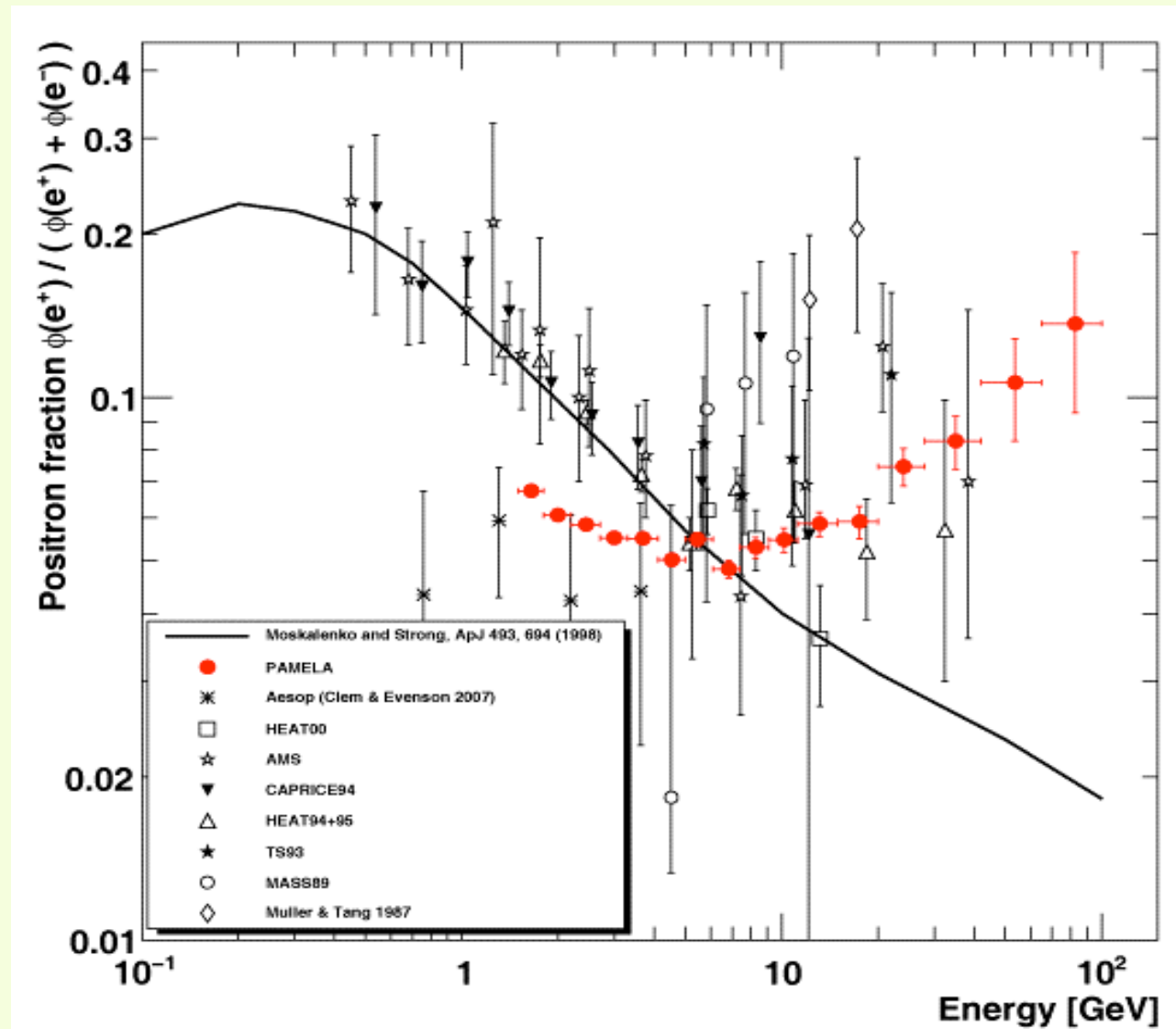
The measurement is based only on flight data
with the background-estimation method

Particle selection after total energy cut and starting point of the shower

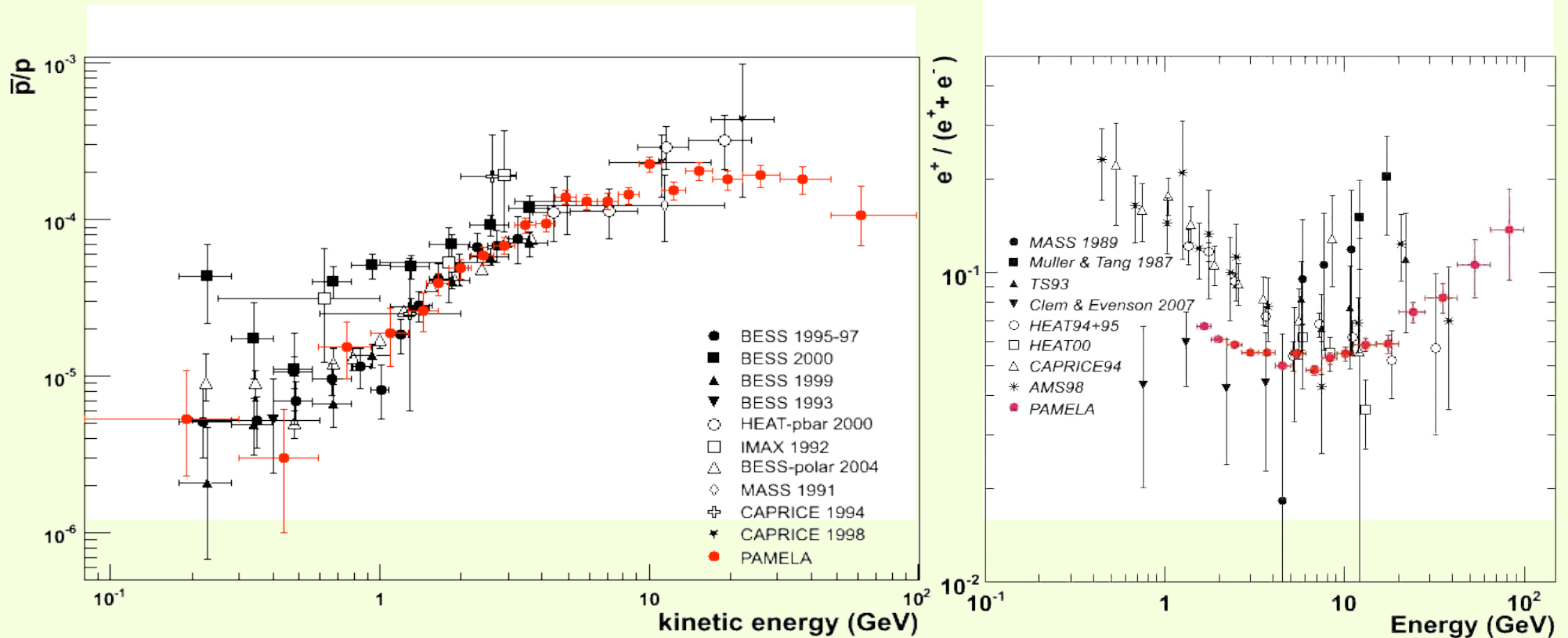


PAMELA: rapporto e^+/e^-

NATURE 458, 697, 2009



PAMELA: rapporto antimateria/materia

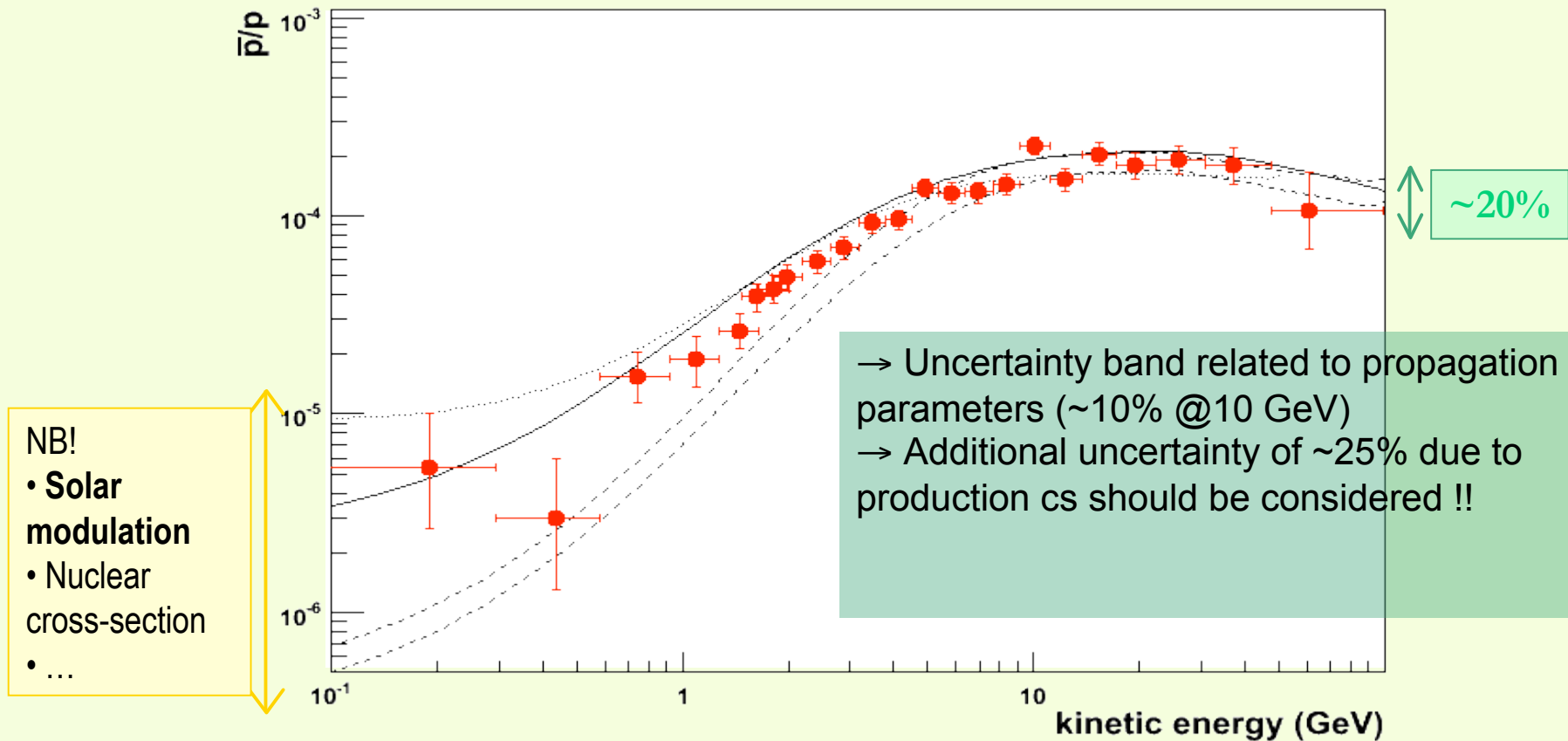


Do PAMELA has seen any antimatter excess in CRs?

Rapporto antiprotone/protone: cosa prevede la teoria (modello di produzione secondaria)

Secondary Production Models

CR + ISM \rightarrow **p-bar** + ...

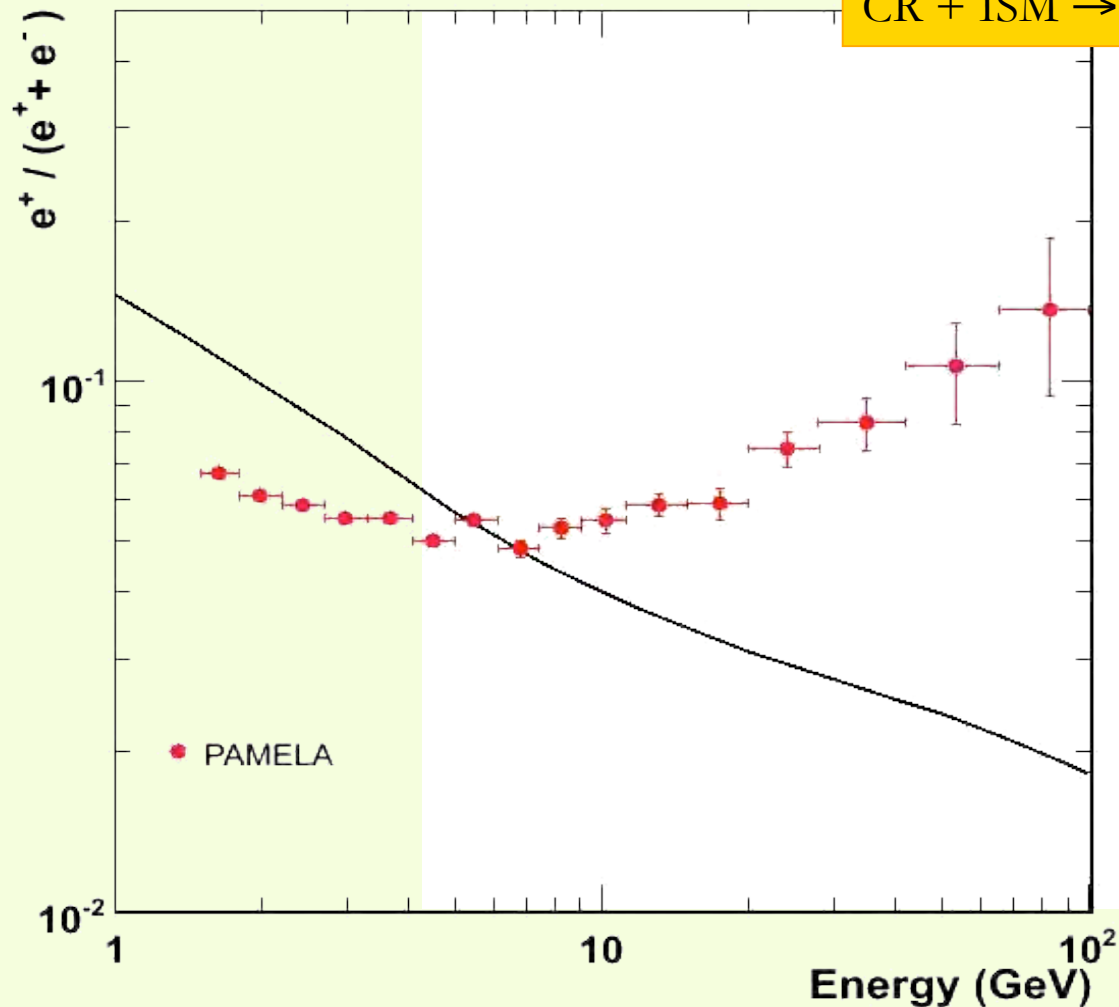


No evidence for any antiproton excess

Rapporto positrone/elettrone: cosa prevede la teoria (modello di produzione secondaria)

Secondary Production Models

CR + ISM $\rightarrow \pi^\pm + \dots \rightarrow \mu^\pm + \dots \rightarrow e^\pm + \dots$
CR + ISM $\rightarrow \pi^0 + \dots \rightarrow \gamma\gamma \rightarrow e^\pm$



$$\frac{n_+}{n_e} \propto E^{-(\gamma - \gamma_e) - \delta}$$

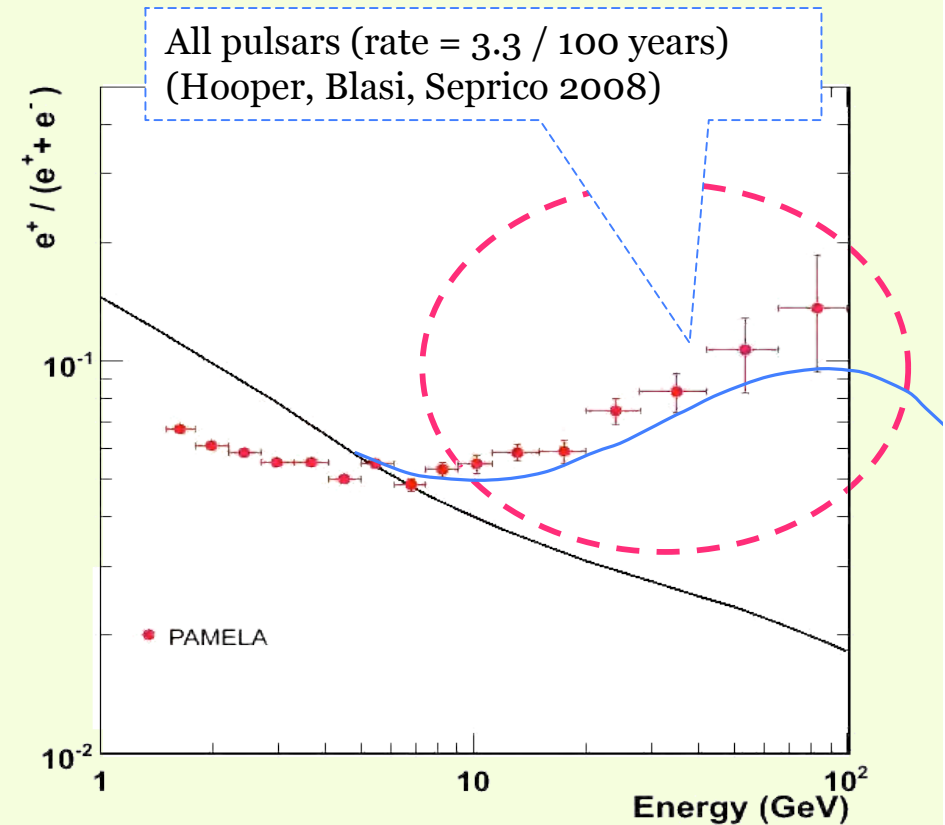
Increasing positron fraction only if $\gamma_e - \gamma_p > 0.6$
 \rightarrow **unlikely**
(Serpico 2008)

Quite robust evidence for a positron excess

Possibili sorgenti astrofisiche di positroni "primari"

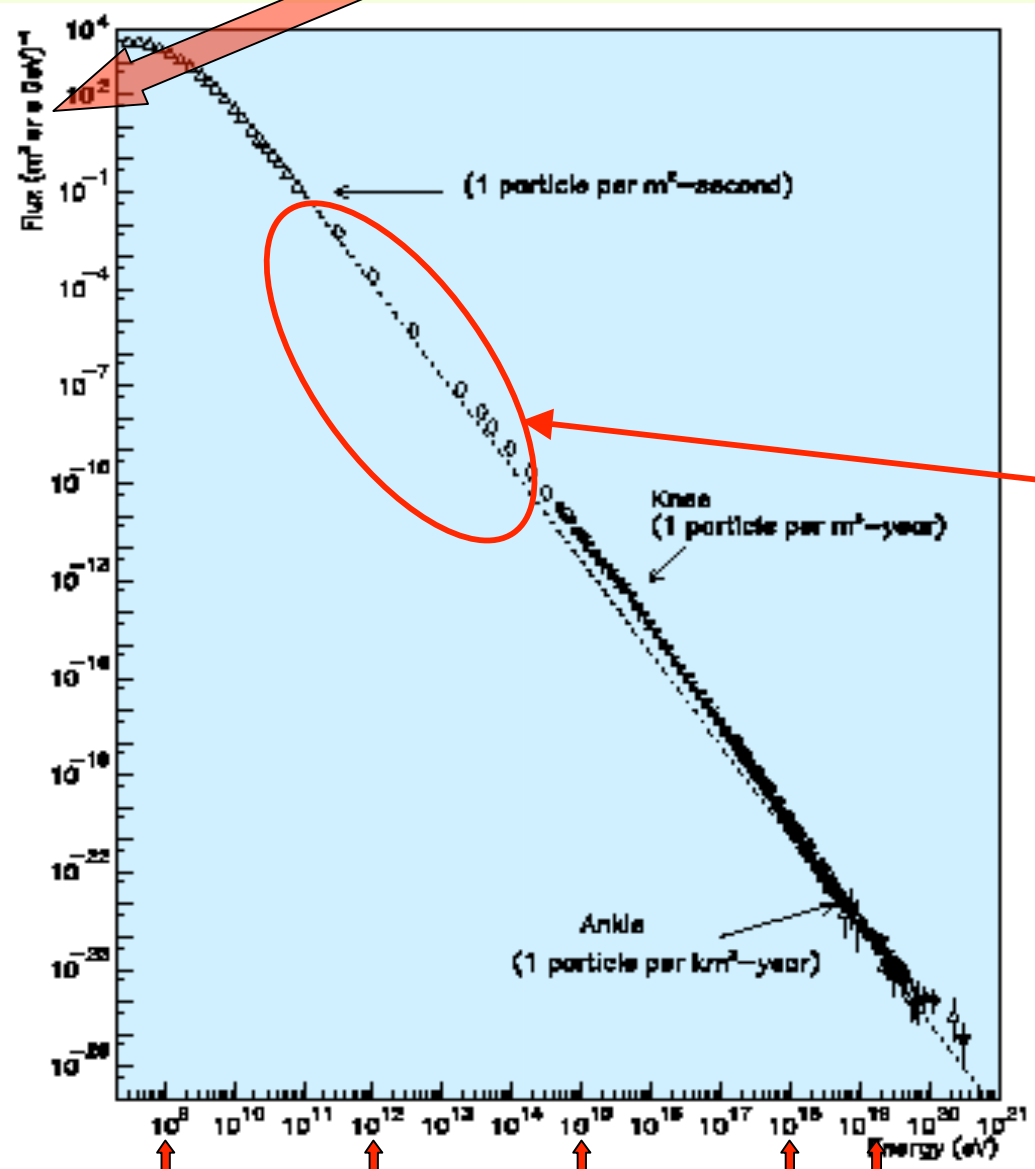
Astrophysical processes

- Local **pulsars** are well-known sites of e^+e^- pair production (the spinning B of the pulsars strips e^- that emit gammas then converting to pairs trapped in the cloud, accelerated and then escaping at the Poles) :
 - they can individually and/or coherently contribute to the e^+e^- galactic flux and explain the PAMELA e^+ excess (both spectral feature and intensity)
 - No fine tuning required
 - if one or few nearby pulsars dominate, anisotropy could be detected in the angular distribution
 - possibility to discriminate between pulsar and DM origin of e^+ excess



Misura di Raggi Cosmici con energia $> 50-100 \text{ GeV}$

$$\frac{dN}{dE} [m^{-2} sr^{-1} s^{-1} GeV^{-1}]$$



Gev Tev Pev Eev Joule

Misure dirette della rad. cosmica primaria
 nello spazio (satelliti)
 nell'alta atmosfera (palloni)

Misure indirette
 sciami estesi
 Cherenkov in aria
 rivelatori a Terra
 laboratori sotterranei

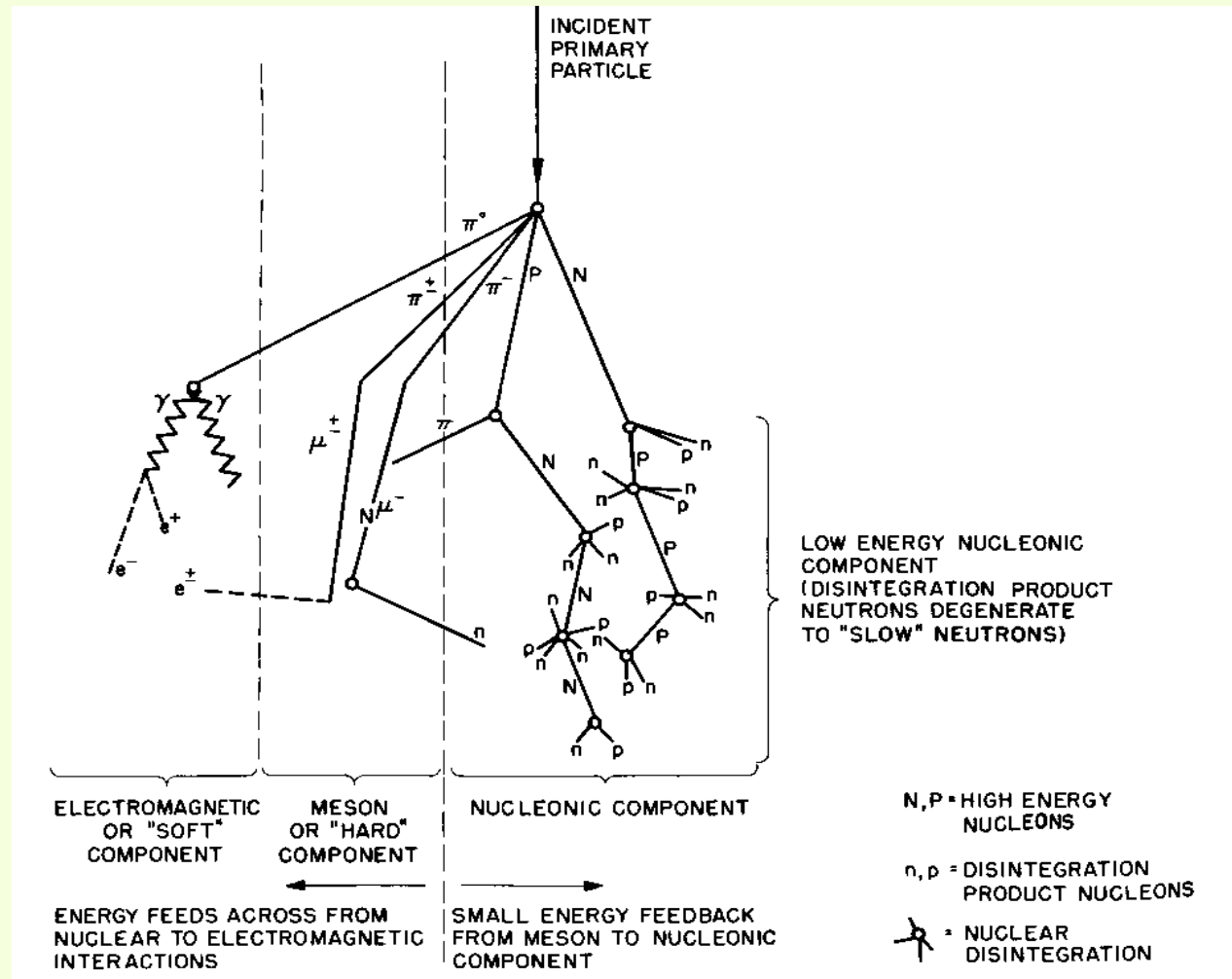
Diagramma schematico di uno sciame da R.C. nell'atmosfera

Sciame adronici. Stesso principio di quelli e.m.

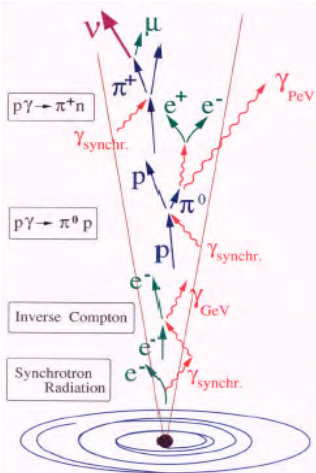
Produzione di pioni carichi (da cui μ^\pm e ν) neutri (da cui i γ)

A terra arrivano e^+ e^- e gamma (come negli sciame e.m.) e μ^\pm

A parte il contenuto di μ^\pm gli sciame adronici ed e.m. sono molto simili



Sviluppo di sciame nell'atmosfera



γ , nucleoni VHE o UHE interaz. in alta atmosfera \rightarrow Sciame estesi
Nello sciame: -tre componenti: elettromagnetica, adronica, μ
-inizialmente $N_{e,p,\gamma,\mu}$ aumenta $\rightarrow E_{e,p,\gamma,\mu}$ diminuisce
 \rightarrow max dello sciame
-quando E sotto soglia per produzione di altre particelle
 \rightarrow attenuazione dello sciame

adroni \rightarrow produzione π^0, π^+, π^-
per ogni interazione adronica $\rightarrow \sim 1/3$ dell'energia va nella
componente elettromagnetica

$\pi^0, \eta \rightarrow \gamma\gamma \rightarrow e^+e^- \rightarrow$ sciame elettromagnetico
 e^+e^- dopo il massimo dello sciame diminuiscono quando
 $E_{e^+e^-} < E_{critica} (\sim 80\text{MeV})$ ed i processi di ionizzazione predominano
su produzione di coppie ed irraggiamento

$\pi^+, \pi, \kappa^+, \kappa^- \rightarrow \mu^+, \mu^-$ "penetranti"
più probabile per π, κ di più bassa energia -

e^+e^- sono le particelle più numerose nello sciame in aria, la maggior parte
dell'energia E_0 del R.C. primario viene dissipata in energia di
ionizzazione da e^+e^- , una parte $F(E_0)$ e' trasportata da neutrini.

L'energia dissipata in ionizzazione può essere misurata integrando sullo
sviluppo dello sciame $(1-F) \cdot E_0 \sim \alpha \cdot \int_0^\infty N(X)dX$ dove $N(X)$ e' il numero
di particelle cariche alla profondità X ed α e' l'energia persa per unità di
percorso nell'atmosfera

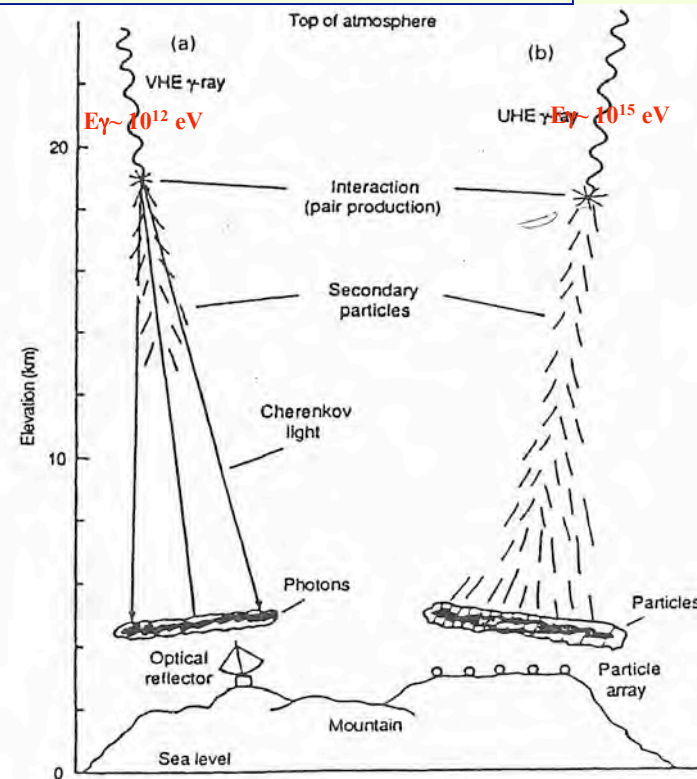


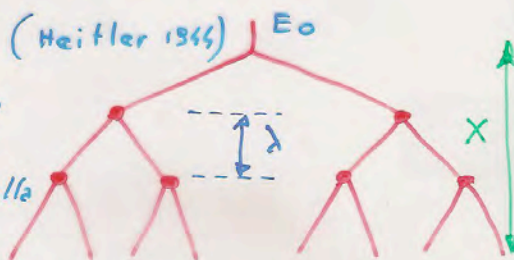
Figure 14.1: Schematic representation of air showers in two energy regions and the corresponding detectors: (a), $E \sim 1 \text{ TeV}$, air Cherenkov telescope; (b) $E \sim 1 \text{ PeV}$, air shower array. (From Lamb & Weekes 1987. © 1987 by AAAS.)

Un "toy model" per la descrizione dello sviluppo di uno sciame

Sviluppo di uno sciame

A "toy model" (Heitler 1936) E_0

ogni segmento può essere visto come una particella o una frazione di energia.



→ \forall vertice $E \rightarrow E/2$

→ i vertici si susseguono dopo una lunghezza di collisione λ

dopo $n = X/\lambda$ "livelli di vertici"

il numero di segmenti (particelle ad es.)

$$N(X) = 2^{X/\lambda}$$

dove $X =$ slant depth lungo l'asse dello sciame

$$\Rightarrow E(X) = E_0 / N(X)$$

lo "splitting" continua fino a quando

$$E(X) = E_{\text{critica}} \quad \leftarrow \text{per il processo in questione.}$$

dopo tale "profondità" X le particelle dello sciame perdono energia, decadono, si fermano

In tal modo il n. di particelle al max dello sciame diventa

$$N(X_{\text{MAX}}) = E_0 / E_c$$

e quindi, ricordando che $N(X) = 2^{X/\lambda}$

$$N(X_{\text{MAX}}) = 2^{X_{\text{MAX}}/\lambda} = E_0 / E_c$$

$$X_{\text{MAX}} = \lambda \frac{\ln(E_0 / E_c)}{\ln(2)}$$

relazione valida per sciami elettromagnetici

&

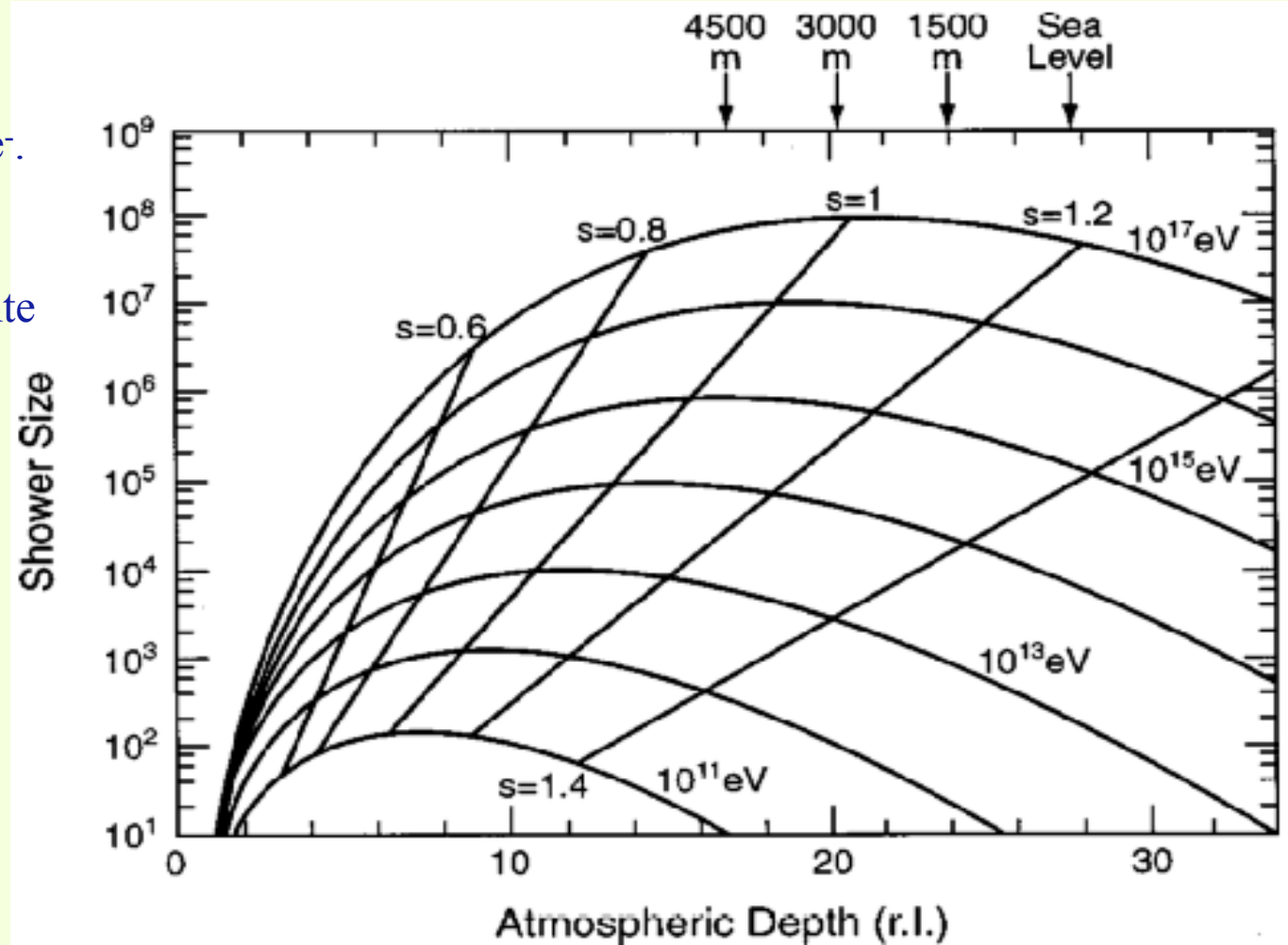
~ valida " " " adronic.

Sviluppo longitudinale degli sciame in atmosfera.

Sviluppo longitudinale dello sciame. Shower size= n. di e^+ ed e^- .
Il max @ $\ln(E/E_c)$ r.l.

Lo sciame arriva a terra in un fronte spesso alcuni metri. (10 ns)

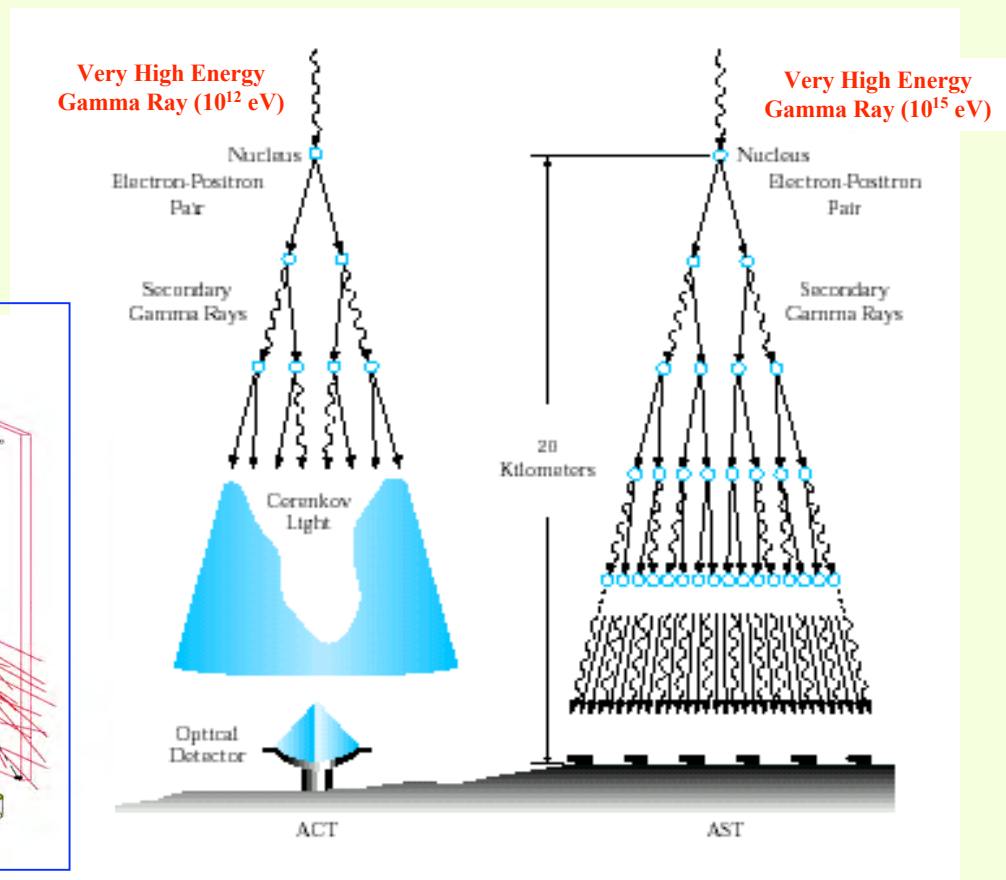
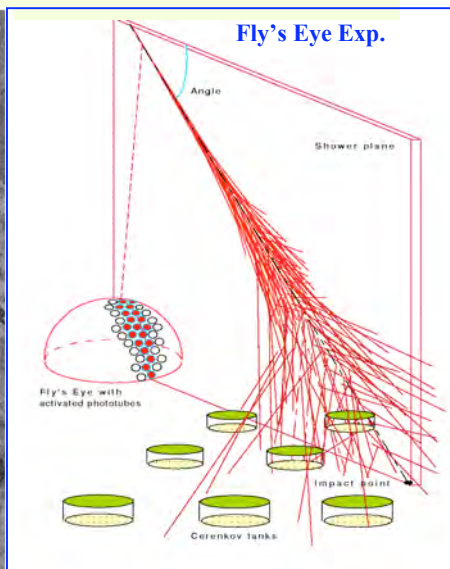
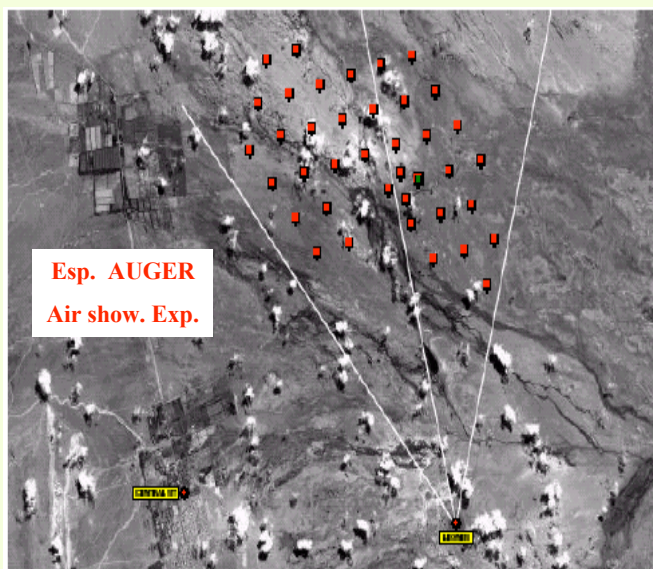
La distribuzione laterale è bene descritta dalla formula NKG (Nishimura Kamata Greisen)



$$\rho_N(r, t) = \frac{N_e(t)}{r_1^2} \cdot \left(\frac{r}{r_1}\right)^{s-2} \cdot \left(1 + \frac{r}{r_1}\right)^{s-4.5} \quad r_1 = \frac{E_s}{E_C} X_0 \approx 9.3 \text{ g/cm}^2$$

Esperimenti per rivelazione di sciame in aria

- $E_0 \sim 1 \text{ TeV}$ (Very High Energy) la rivelazione di sciame in aria può essere effettuata con telescopi “ottici” capaci di rivelare la luce Cherenkov prodotta da particelle cariche relativistiche nell’alta atmosfera (la massima quantità di luce dove lo sviluppo dello sciame e’ massimo) - **Air Cherenkov experiments**
- $E_0 \sim 100 \text{ TeV}$ (Ultra High Energy) un rivelatore disposto in montagna realizzato con apparati di grande superficie e’ attraversato da un numero sufficiente di particelle per essere “triggerato” - **Classic Air shower experiments**
- $E_0 > 1000 \text{ TeV}$ (Extreme UHE) anche un rivelatore al livello del mare può essere sensibile a sciame estesi. - Rivelazione della radiazione di “fluorescenza” con apparati **Fly’s Eye experiments**



Produzione di luce Cherenkov in aria

A livello del mare l'indice di rifrazione dell'aria è $n=1.00029$.

Per una particella relativistica con $\beta=0,9999$ si ha produzione di luce Cherenkov, l'angolo di propagazione della luce è dato da $\cos(\theta_{\text{Cherenkov}}) = 1/(\beta n) \implies \theta_{\text{Cherenkov}} \sim 23 \text{ mrad} \sim 1.3^\circ$

La condizione di soglia per l'effetto Cherenkov ($\cos(\theta_{\text{Cherenkov}}) \leq 1$) comporta per elettroni e muoni le condizioni:

Energia di soglia per produz. di luce Cherenkov in aria <

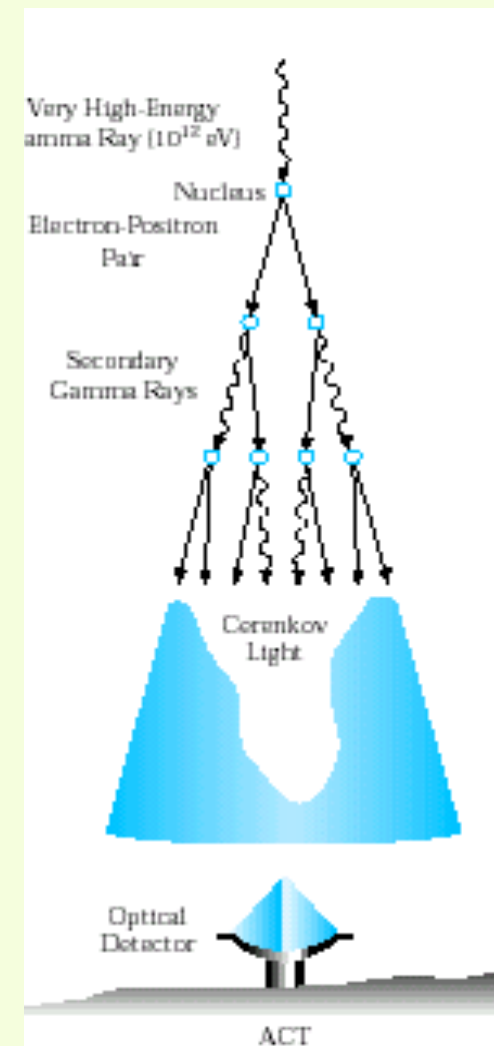
elettroni	$E_e \geq 21 \text{ MeV}$
muoni	$E_\mu \geq 4.4 \text{ GeV}$

Il massimo sviluppo dello sciame (quindi il massimo di produzione della luce Cherenkov) si ha a $\sim 10 \text{ km}$ di altezza.

Ciò implica che l'area illuminata al suolo ha forma circolare/ellittica (dipende dall'inclinazione del RC primario) ed ha raggio $\sim 10000 \cdot 0.023 = 230 \text{ m}$.

La superficie illuminata ha quindi dimensione $1.6 \cdot 10^5 \text{ m}^2$. Parimenti possiamo dire che un osservatore (uno strumento) al suolo può ricevere luce da un punto qualsiasi di una superficie di $1.6 \cdot 10^5 \text{ m}^2$ posta a 10 km di altezza.

Si può calcolare facilmente il n. di fotoni Cherenkov emessi in funzione della lunghezza d'onda. Per la radiazione "visibile" ($350 < \lambda < 500 \text{ nm}$) ci aspettiamo, in uno sciame E.M. iniziato da 1 fotone da 1 TeV , circa $N_\gamma \sim 8.2 \cdot 10^3$ fotoni/ λ , ci comporta al suolo un flusso di fotoni pari a $30\text{-}50$ fotoni/ m^2 in un'area compresa entro 100 m dall'asse dello sciame.



Air Cherenkov experiments

La direzione dello sciame e' determinata dalla direzionalità della luce Cherenkov emessa (ad angolo ~ 0 rispetto alla direzione della particella primaria).

Il massimo dello sciame e' tipicamente a ~ 10 km, l'intervallo angolare osservato e' ~ 1 grado \rightarrow la superficie osservata e' pari a $\sim 10^5$ m².

- possono raccogliere dati solo durante notti senza luna e con buona visibilità (10% del tempo).
- sorgenti puntif. possono essere studiate solo se al di sopra dell'orizzonte (duty cycle 10-20%)

R.C. con $E > \text{TeV}$ $\sim 10^{-5}$ cm⁻² sr⁻¹ s⁻¹

\rightarrow con un'area efficace di raccolta $\sim 10^5$ m² ed in un bin angolare di 1° $\rightarrow \sim 10$ sciame/s accumulando dati, per coordinate astronomiche qualsiasi, per 30 ore (10^5 s) $\rightarrow 10^6$ eventi (di fondo).

Un'eventuale sorgente puntiforme potrebbe essere visibile solo se desse luogo ad un numero di eventi statisticamente superiore al fondo : $N_{\text{segnale}} > 3 * (10^6)^{0.5} = 3000$

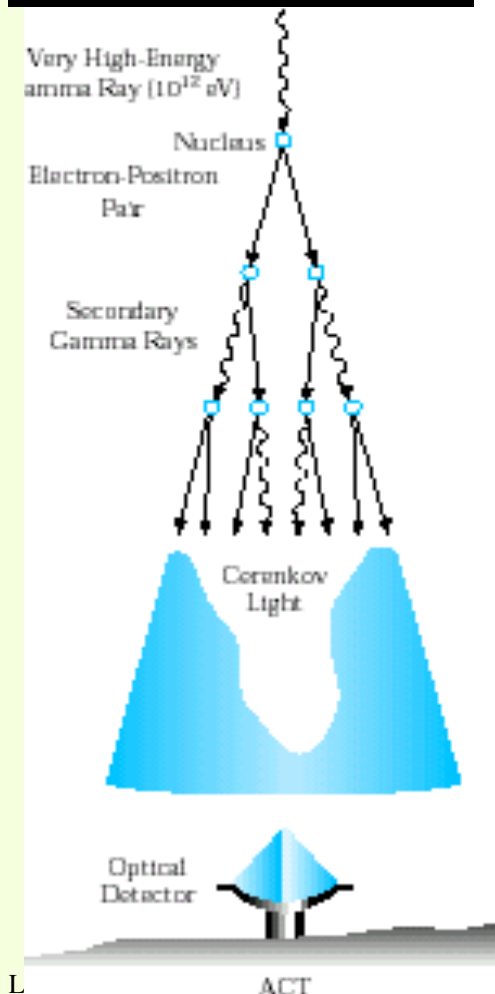
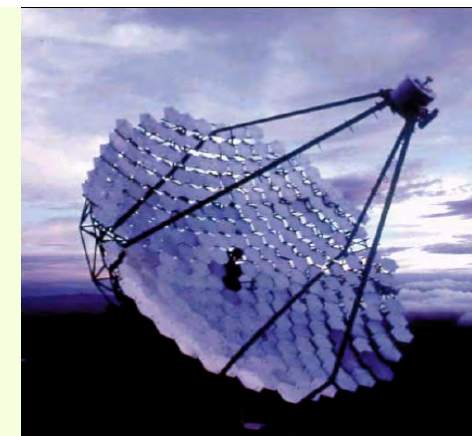
ciò corrisponde ad un flusso di raggi cosmici dalla sorgente pari a

$$3000 / (10^5 \text{ s} \cdot 10^9 \text{ cm}^2) = 3 \cdot 10^{-11} \text{ fotoni/ s} \cdot \text{cm}^2$$

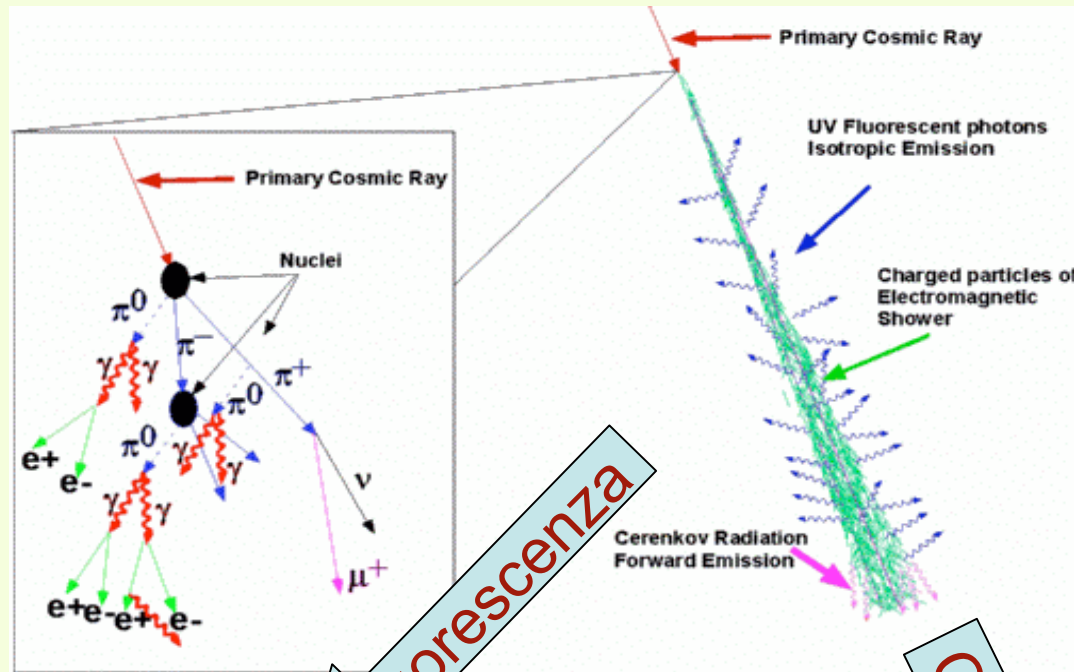
Energia del R.C. primario dall'ampiezza del segnale sui PMT che raccolgono la luce dal riflettore (determinazione sperimentale che necessita di una calibrazione)

- calibrazione:
- si stima l'accettanza del telescopio (area * angolo solido) poi si confronta l'integrale dello spettro dei R.C. con la frequenza di eventi osservata in funzione della soglia in energia (cioè del segnale sui PMT)
 - si confronta con altri strumenti

Natura del R.C. primario dalla "forma" dello sciame ...

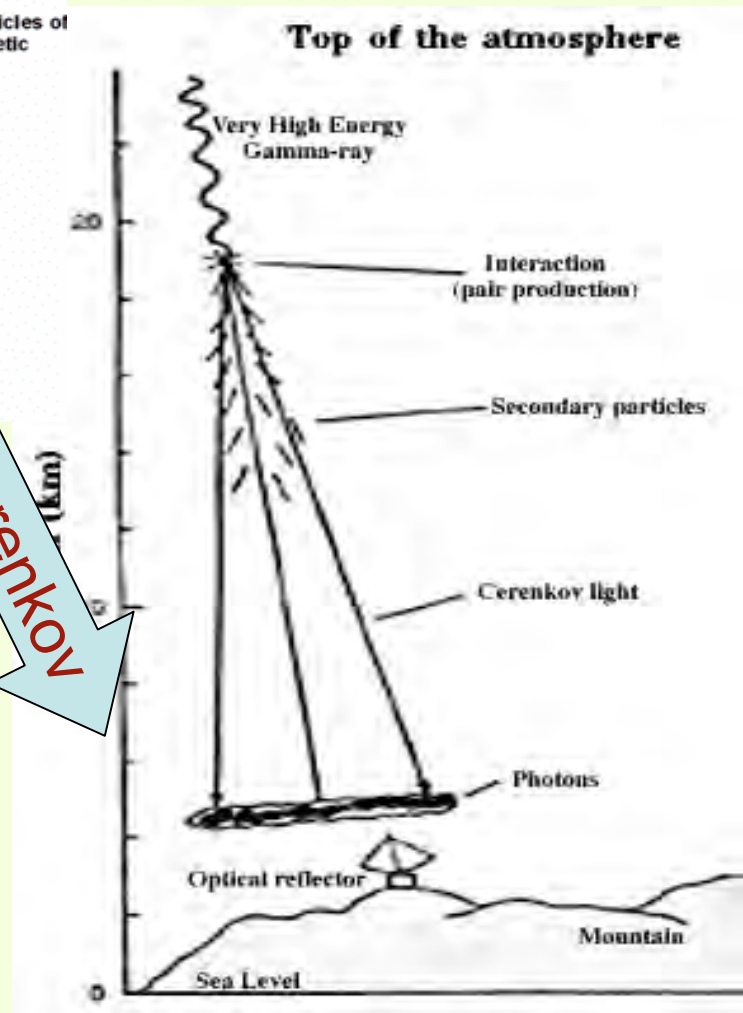
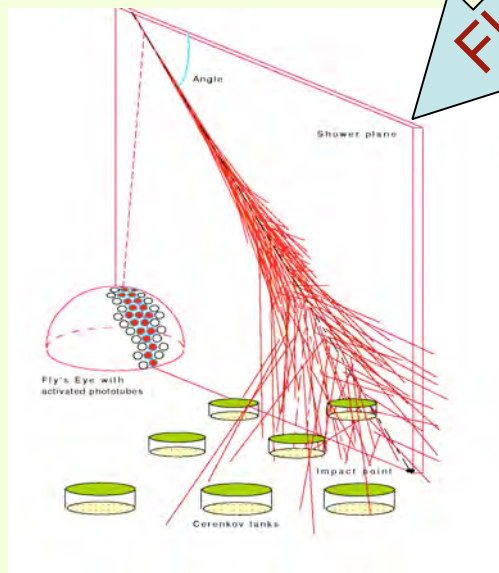


Rivelazione di luce Cerenkov e di fotoni di fluorescenza



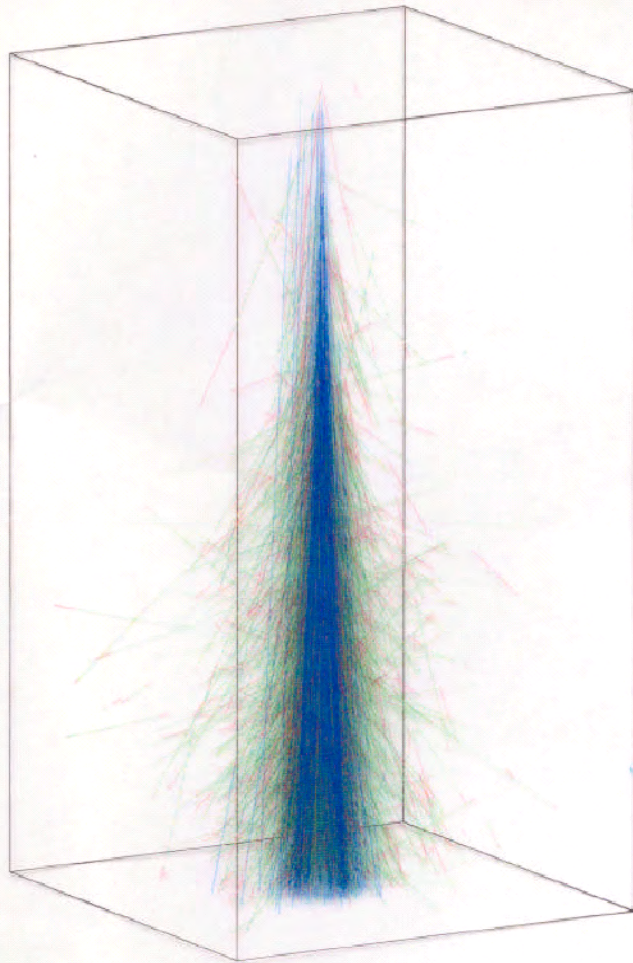
Fluorescenza

Cherenkov



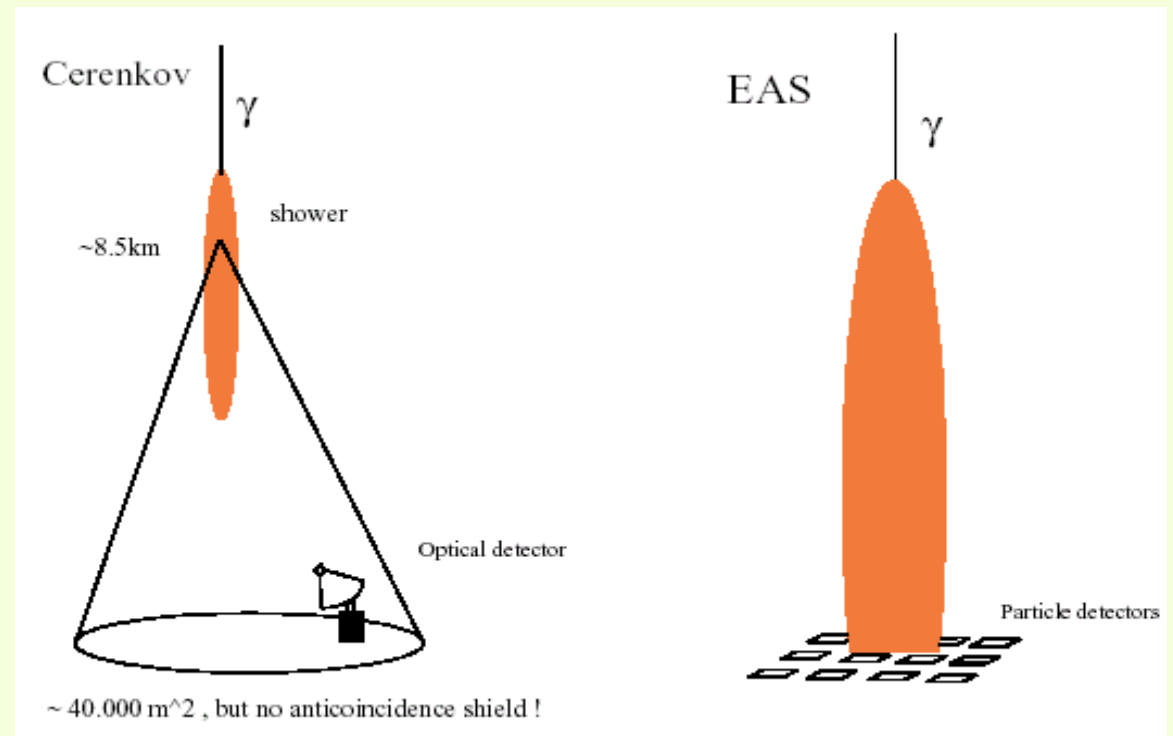
Osservazione di eventi indotti da fotoni di alta energia: tramite campionamento di sciami estesi a terra (EAS) o rivelatori Cherenkov

Air Shower Simulation

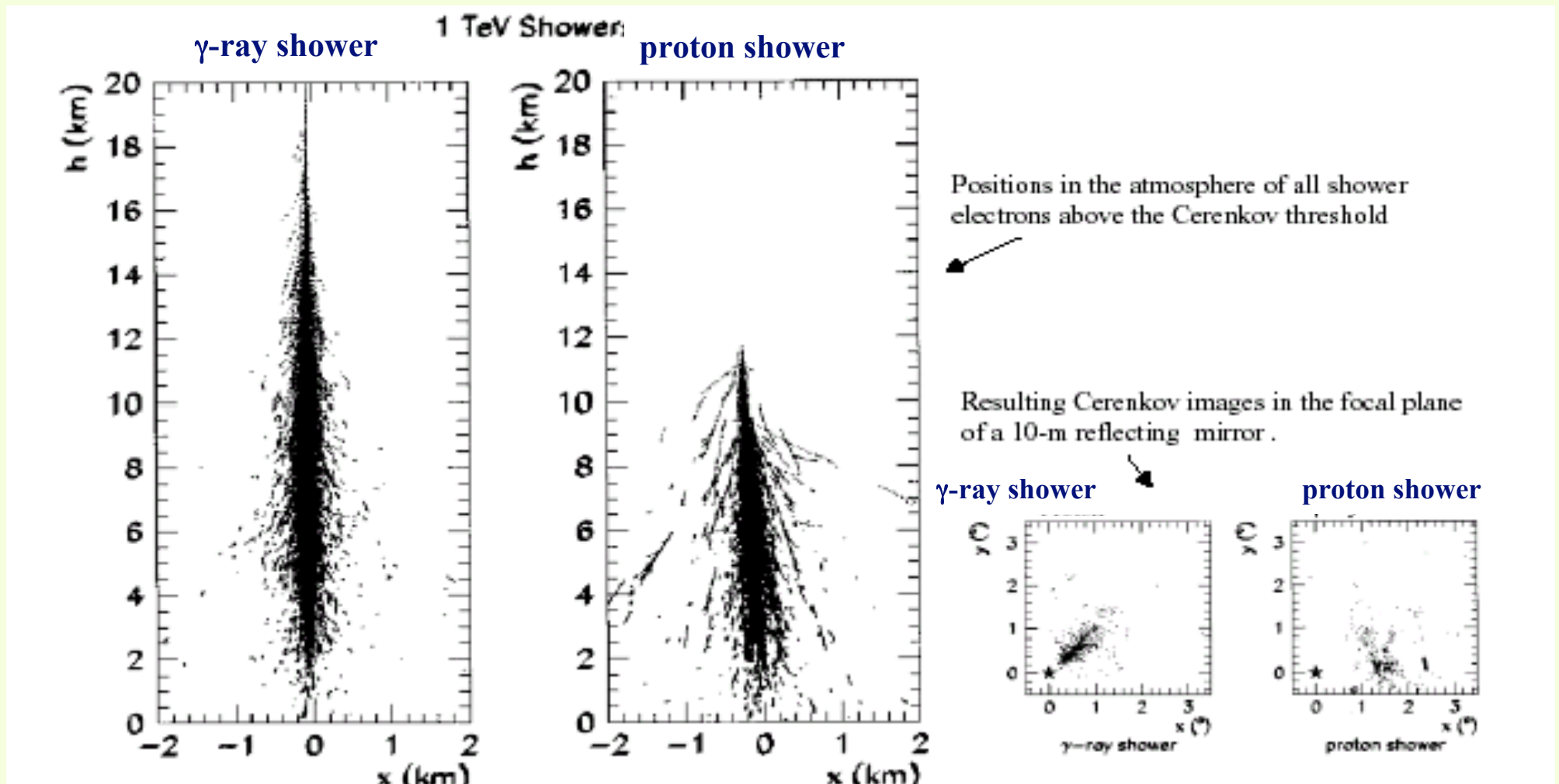


Frame box: 6 x 6 x 12 km high.

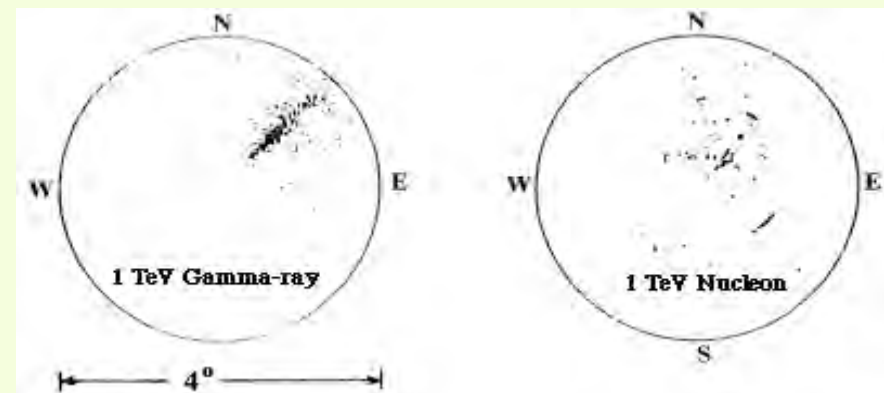
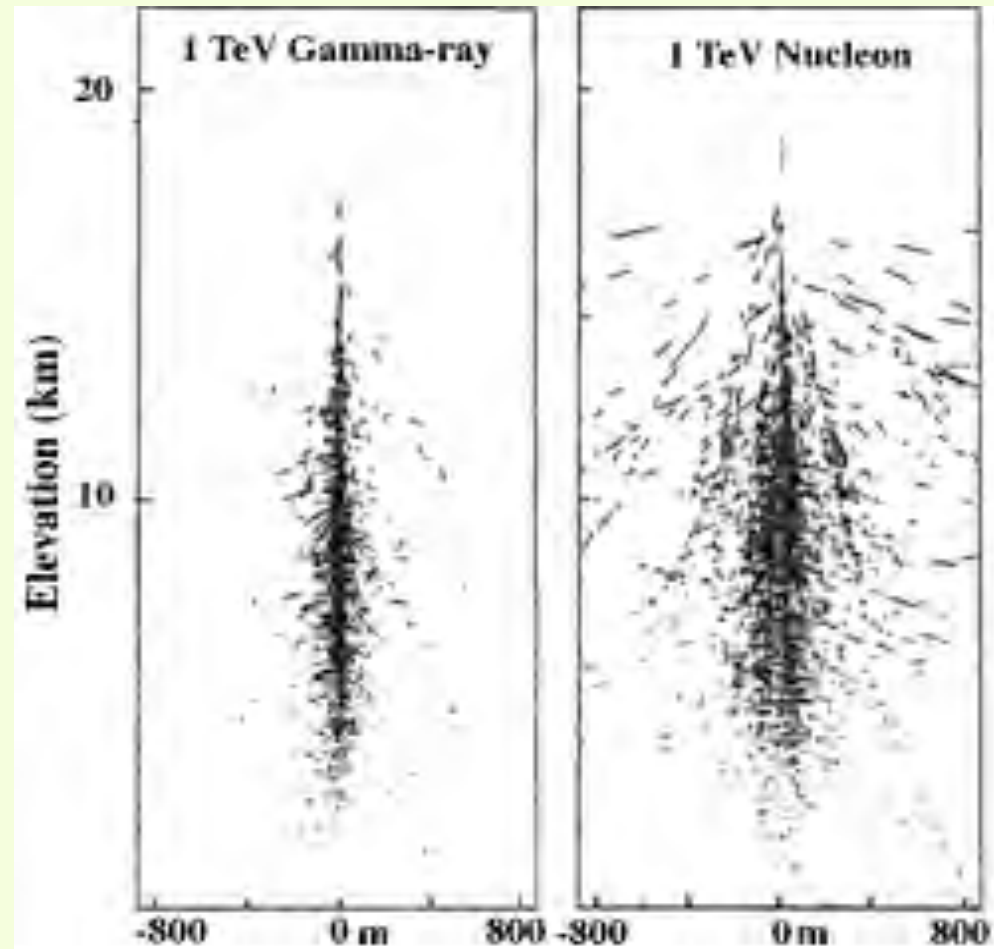
Color code: γ , e , μ .



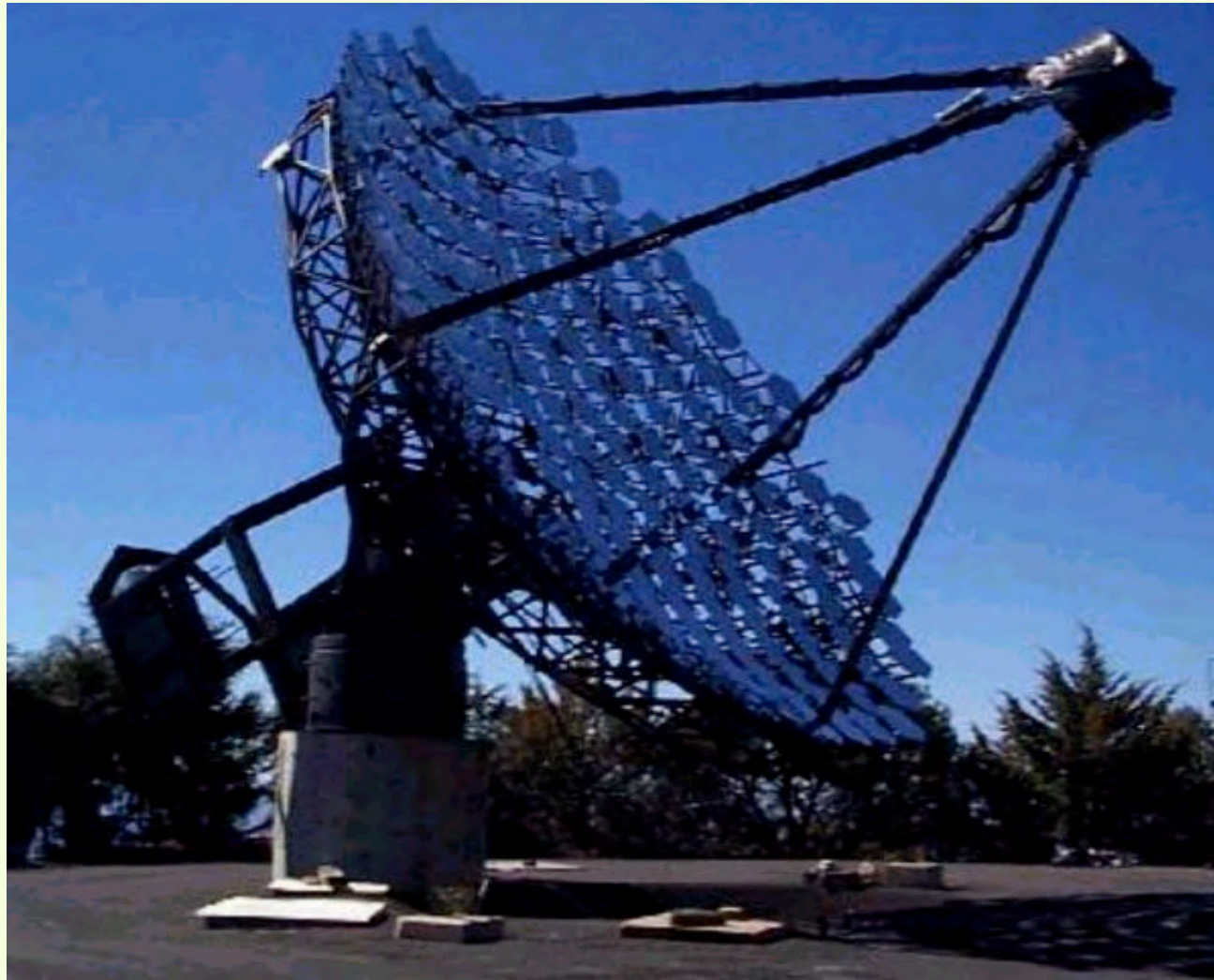
Sviluppo di sciami verticali in aria originati da γ o p da 1 TeV



Confronto fra sciami e.m. ed adronici



Il Telescopio Whipple



Whipple: diametro=10m, $E > 350$ GeV

The Whipple collaboration, which pioneered the Imaging Atmospheric Cherenkov Technique for the detection of very high energy (VHE) gamma rays, is based at the Fred Lawrence Whipple Observatory in Southern Arizona, in the United States. **The primary emphasis of the collaboration's research effort is the search for and study of celestial sources of gamma-rays in the energy range of 100 GeV - 10 TeV.**

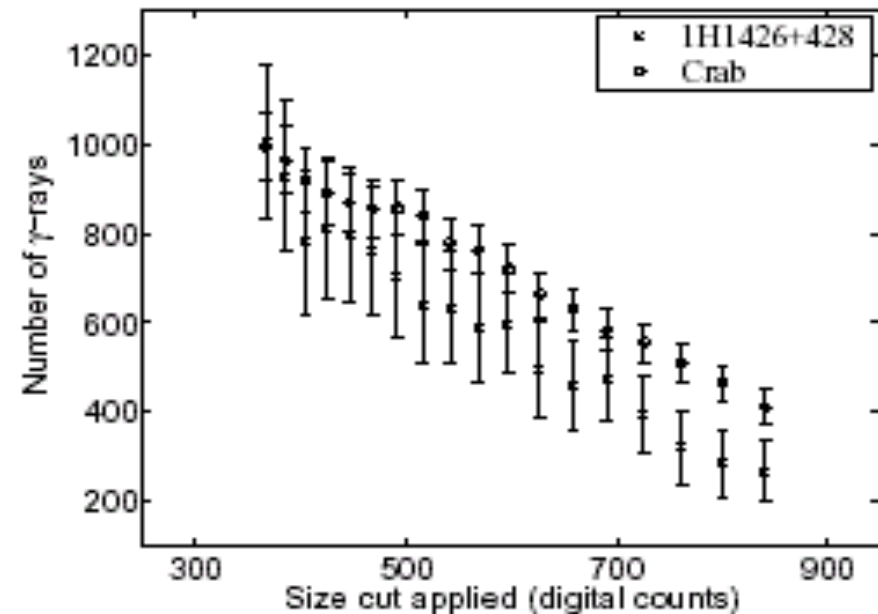
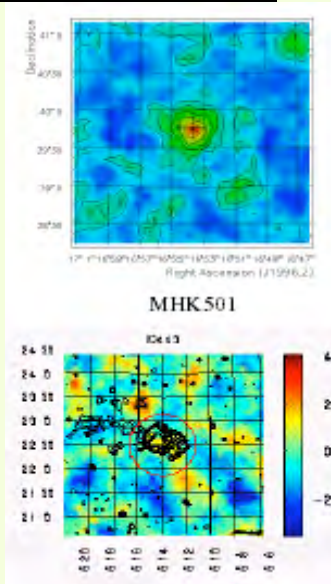
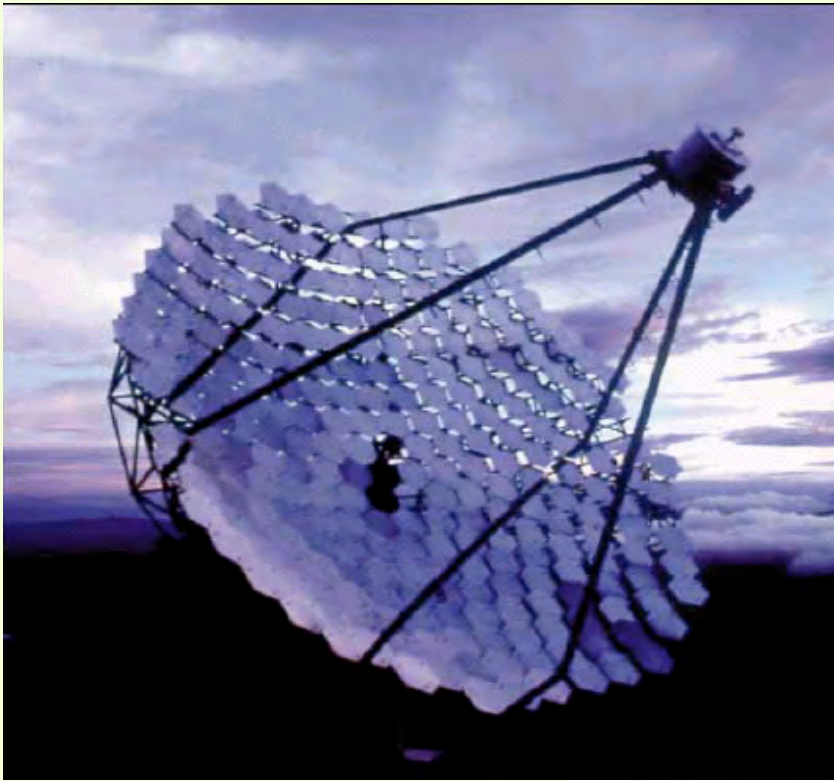
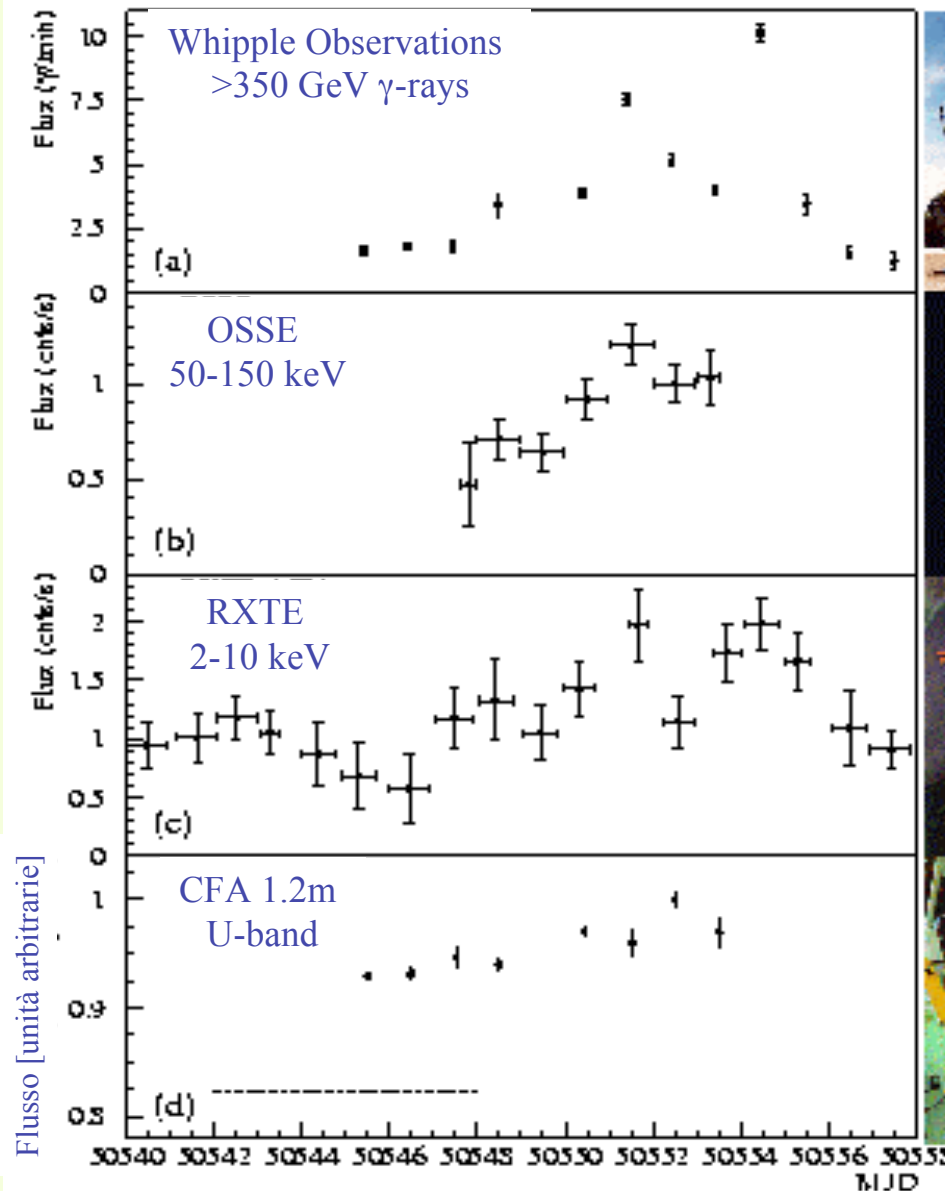
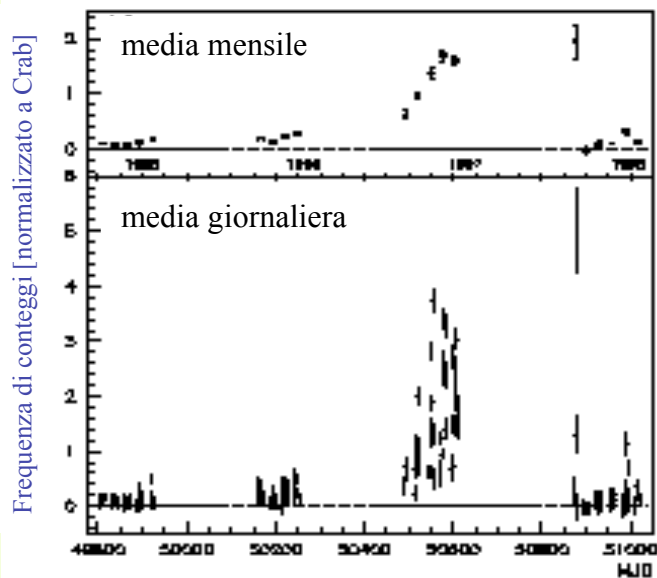


Fig. 4.— Integral excess events observed by the Whipple telescope from the directions of 1H1426+428 (crosses) and the Crab Nebula (open circles) during 2001 as a function of integrated Cherenkov light in the shower image. Exposure on the Crab Nebula was adjusted to match the total excess of 1H1426+428 at the lowest size cut applied, 366 digital counts. One photoelectron corresponds to ~ 3.6 digital counts.

Markarian 501

Un esempio di “multiwavelength observation”

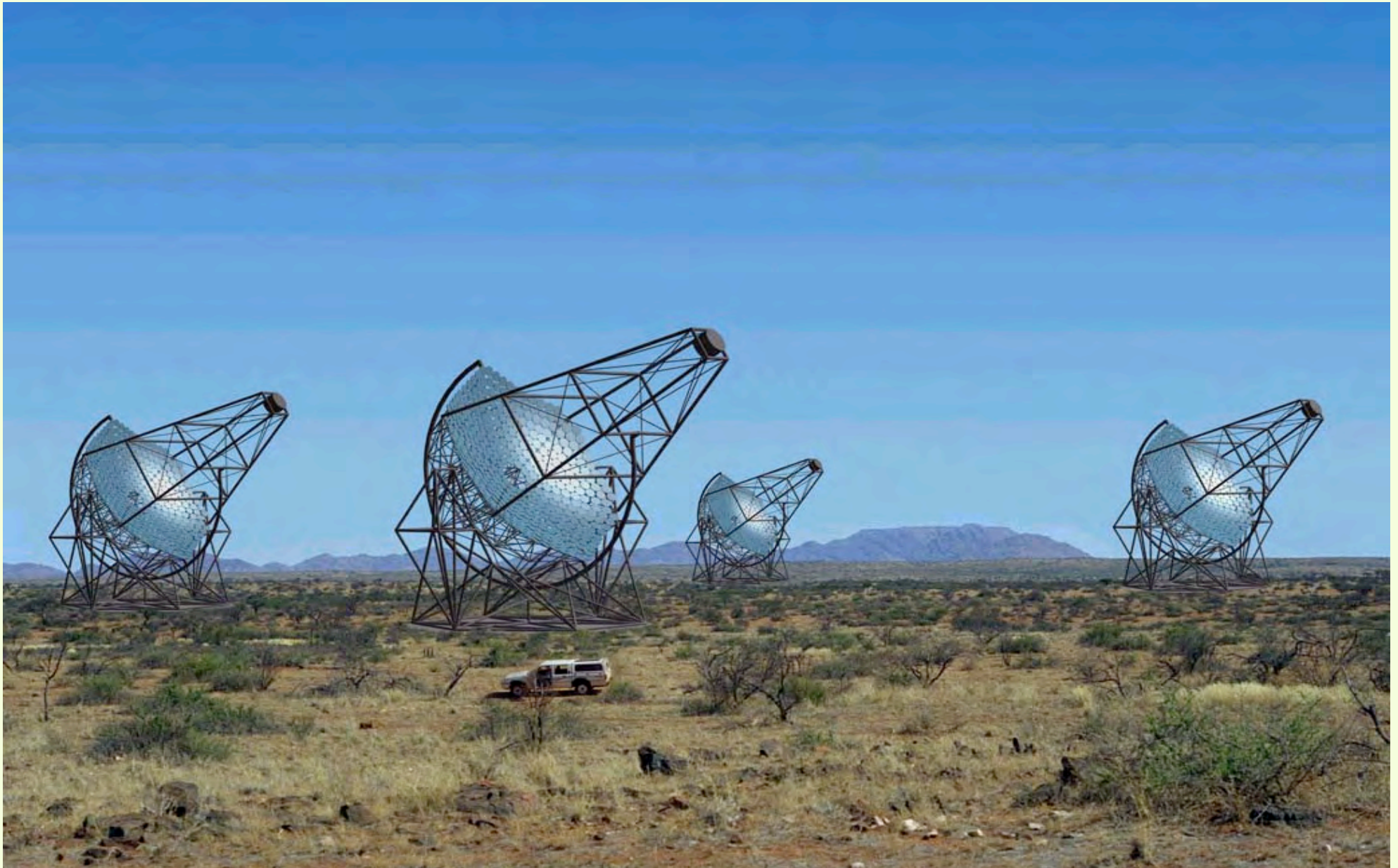
Whipple:
osservazione di Mrk501 negli anni 1995-1998. Nel 1997 il flusso di γ di alta energia da Mrk501 (fino ad energie di 20 TeV) è aumentato fino a $\sim 10^{11}$ VHE γ /s (più luminosa della Crab Nebula).



Parametri principali dei più importanti ACT (Air Cerenkov Telescope)

Telescope	Whipple	CAT	HGRA	TA	TACTIC	CANGAROO	Durham	CrAO
Site	Mt. Hopkins	Themis	La Palma	Dugway	Mt. Abu	Woomera	Narrabi	Crimea
Longitude	-110°	-2.0°	-17.8°	-113.0°	+72.7°	+136.8°	+149.8°	+34°
Latitude	31.4°N	42.5°N	28.8°N	40.33°N	24.6°N	31.1°S	30,5°S	45°N
Elevation m	2300	1650	2200	1600	1300	160	200	600
N. of telesc.	1	1	4	3	4	1	1(3 dishes)	2X6 dishes
Thersh. GeV	250	300	500	600	700	1000	250	900
Sensyt. cm⁻²s⁻¹	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹	4x10 ⁻¹¹	(?) 10 ⁻¹¹	(?) 10 ⁻¹¹	4x10 ⁻¹²	5x10 ⁻¹¹	5x10 ⁻¹²

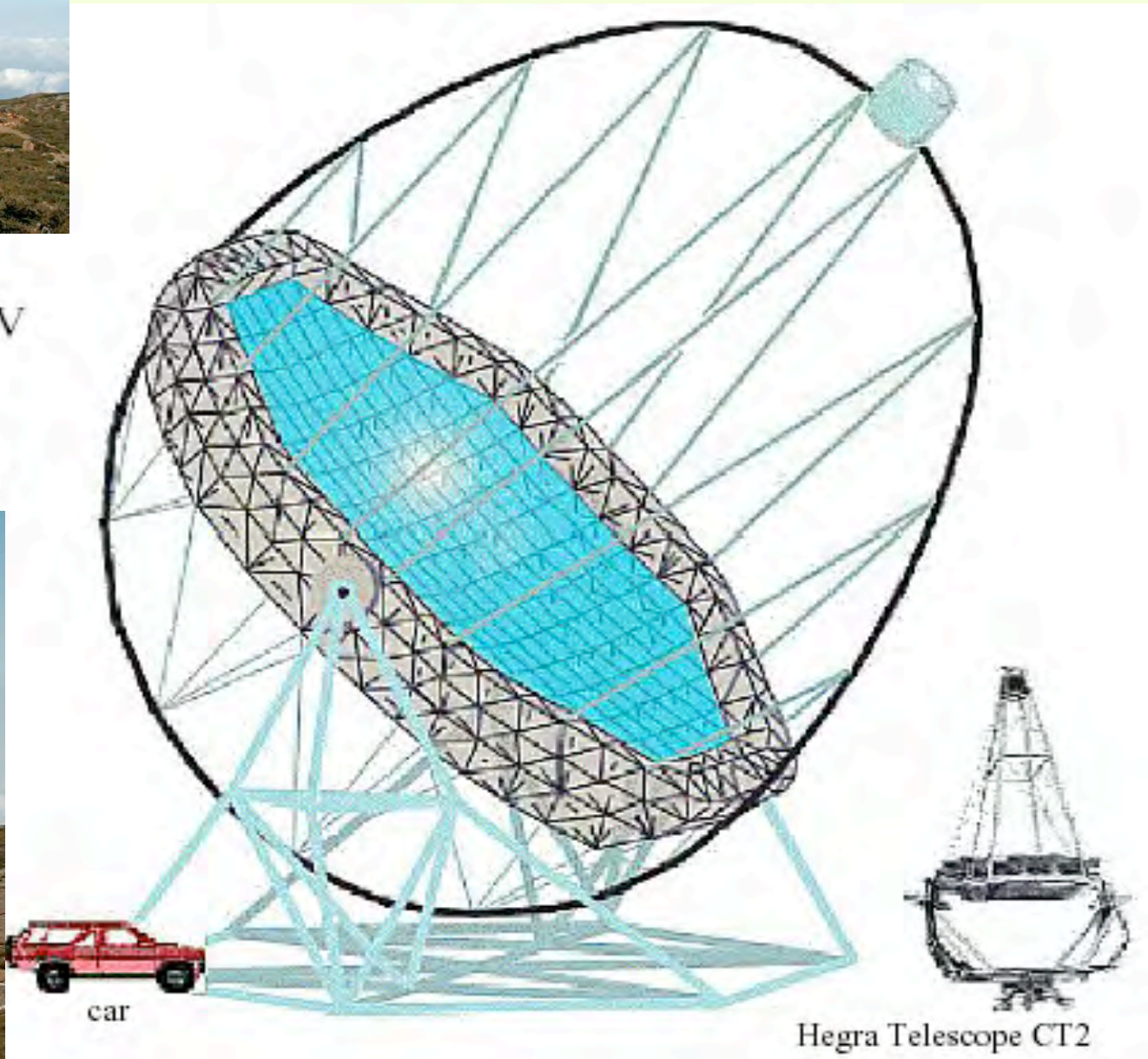
HESS : Very high energy Gamma-ray astrophysics above 100 GeV



MAGIC



220 m² mirror area
E = 10 GeV - 300 GeV
Location: La Palma
(Canary Islands)
Scheduled June 2001



HESS

H.E.S.S. is a next-generation system of Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes for the investigation of cosmic gamma rays in the 100 GeV energy range. The name H.E.S.S. stands for **High Energy Stereoscopic System**, and should also remind of **Victor Hess**, who received in 1936 the **Nobel Prize in Physics for his discovery of cosmic radiation**. The acronym also emphasizes two main features of the proposed installation, namely the **simultaneous observation of air showers with several (3 to 4) telescopes, under different viewing angles**, and the **combination of multiple (up to 16) telescopes to a large system to increase the effective detection area for gamma rays**. With telescopes of over 100 m² mirror area, the proposed system provides a

- **detection threshold of about 40 GeV,**
- **full spectroscopic capability above 100 GeV, an**
- **angular resolution for individual showers of 0.1 degrees**
- **energy resolution of about 20%.**

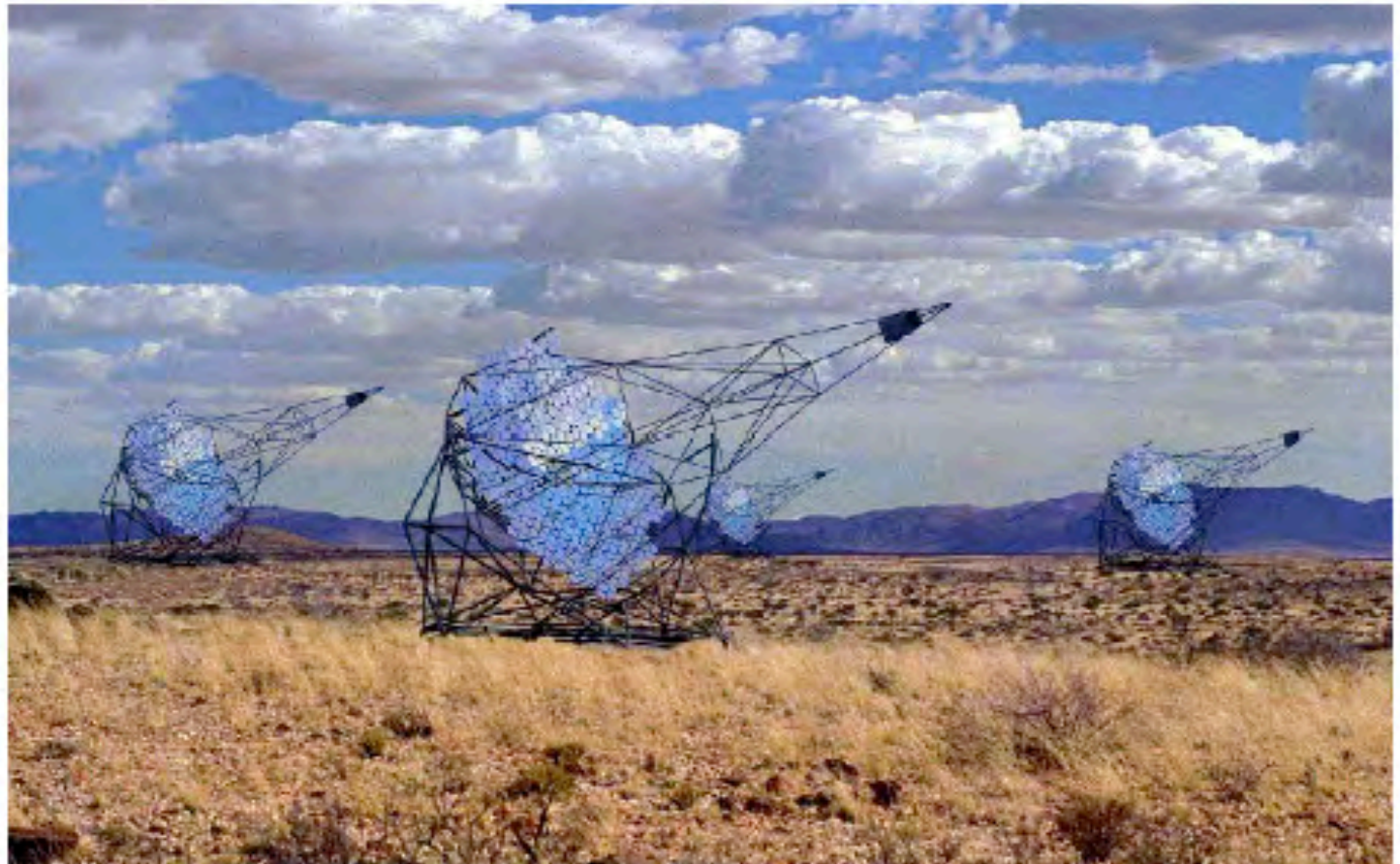
It will allow to explore gamma-ray sources with intensities at a level of a few thousandth parts of the flux of the Crab nebula. H.E.S.S. is located in Namibia, near the Gamsberg, an area well known for its excellent optical quality. The first four H.E.S.S. telescopes (Phase I of the H.E.S.S. project) are under construction and are expected to successively go into operation between early 2002 and 2003



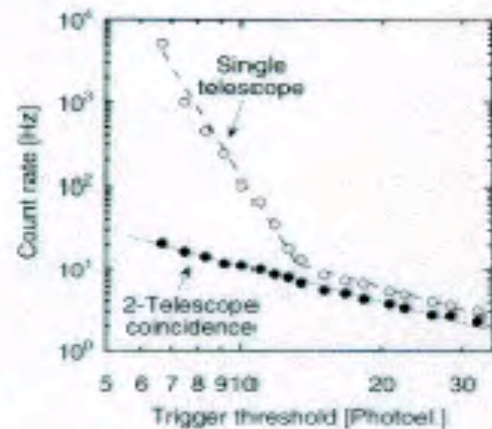
HESS fase 2

HESS Phase 2

four 110m² telescopes
Field of view 5 deg
Detection capability
at $E > 40$ GeV
Spectroscopy at $E > 100$ GeV
Location: Namibia
Scheduled 2002



Night-sky background light



(artistic composition)
(not yet real !)

Attuali e futuri esperimenti per astronomia γ

