## Rivelatori di fluorescenza

Azoto dell'atmosfera eccitato dalle particelle dello sciame  $\rightarrow$  emissione di luce in modo isotropo in 10–50 ns nella banda ottica: 300–400 nm Buona trasparenza dell'atmosfera ( $\lambda$ ~15 km). Piccolo numero (~4) di fotoni/m

Esempio:

10<sup>9</sup> elettroni che attraversano 700 m di atmosfera a D=20 km dal rivelatore: # di fotoni emessi: 2.8x10<sup>12</sup> sparsi su di una superficie di:  $\pi$  D<sup>2</sup>=5x10<sup>13</sup> cm<sup>2</sup>  $\rightarrow$ 0.056 ph/cm<sup>2</sup>



Figure 1: Single HiRes detection unit. The 2.0 m. mirror focuses nitrogen fluorescence from the EAS track onto the PMT cluster.



Figure 2: The first cosmic ray track observed by the prototype HiRes dedetector (January 20, 1991).

Vedasi: P. Sokolsky Introd. To Ultrahigh Energy Cosmic Ray Physics Cap. 6

## Rivelatori di fluorescenza

#### Evento visto da due rivelatori





# Rivelatori di fluorescenza

Ciascun fotomoltiplicatore deve avere un'accettanza angolare il piu' possibile piccola



#### Rivelatori di fluorescenza: spettro di emissione



FIGURE 6.1 Spectrum of nitrogen fluorescence in the near ultraviolet.

#### Rivelatori di fluorescenza: fotoni per unita' di percorso



FIGURE 6.2 Temperature and altitude dependence of nitrogen fluorescence yield.

Il numero di fotoni per unita' di lunghezza dipende relativamente poco dalla temperatura e dall'altezza

Rate di produzione di fotoni all'incirca indipendente dalla pressione: se la pressione aumenta, aumenta dE/dx e quindi si potrebbe pensare che aumenti il # di fotoni; ma aumentano anche le collisioni tra atomi di N2, che causano de-eccitazione

Per risalire all'energia dal numero di particelle cariche rivelate, occorre conoscere la densita' dell'atmosfera nella zona di sviluppo dello sciame

#### Rivelatori di fluorescenza: sviluppo temporale



I fotoni di fluorescenza emessi via via che lo sciame si sviluppa sono "visti" in sequenza dai fotomoltiplicatori 1, 2, 3,.... I fotomoltiplicatori sono disposti su di una superficie approssimativ--amente sferica. Ciascun PMT "vede" solo un ristretto campo angolare (~ 1 grado).

Maggiori rivelatori sviluppati:

Fly's eye (Utah) HiRes (Upgrade di Fly's eye) Auger

#### Rivelatori di fluorescenza: schema base



**FIGURE 6.3** "Fly's Eye" phototube apertures. Shaded region represents light from EAS striking the detector. The solid line indicates the EAS trajectory across the sky.

Luce raccolta da grandi specchi, poi focalizzata sul mosaico di PMT di figura

Per un tale rivelatore, lo sciame appare come un punto luminoso che si muove nel cielo alla velocita' della luce

#### Rivelatori di fluorescenza: aspetto degli eventi

Il piano che contiene la circonferenza passante per i fotomoltiplicatori interessati e' quello che contiene lo sciame ed il rivelatore



Fig. 8.17. The left-hand panel shows an image of a shower detected by a fluorescent detector. PMTs fire in brief intervals to outline the shower trajectory. Some PMTs are fired because of chance coincidences. The right-hand panel shows how the observed shower trajectory and the detector itself (the little hemisphere at lower right) define the shower-detector plane.

#### Rivelatori di fluorescenza: segnale e rumore

Segnali tipici → 500–1000 fotoelettroni per sciame Fondo tipico → 500,000 fotoni/(m² sr μs)



**FIGURE 6.4** Reconstruction geometry. Once the shower detector plane is determined, the remaining variables to be determined are  $R_p$  and  $\Psi$ . The shaded area  $d\theta$  represents the field of view of a tube.

Rumore ottico da:

- luce stellare
- radiazione diffusa dalla Galassia
- luce dovuta a processi chimici nell'atmosfera
- Luce Cerenkov da raggi cosmici

## Rivelatori di fluorescenza: rapporto segnale-rumore

#### Rumore:

 $N_{noise} \cong \left(\varepsilon \, A \, B \, \Delta \Omega \, \Delta t\right)^{\frac{1}{2}}$ 

- $\varepsilon = efficienza quantica dei PMT$
- A = area dello specchio
- B = luce di background
- $\Delta \Omega$  = angolo solido sotteso dal singolo PMT
- $\Delta t$  = tempo d'integrazione dell'elettronica

Segnale:

$$N_{ph} \cong N_e N_{\gamma} \varepsilon \left(\frac{1 + \cos\theta}{\sin^2\theta}\right) \frac{A}{4\pi r^2} e^{-r/\lambda_R} c \Delta t$$

 $N_e$  = numero di elettroni dello sciame nel campo di vista del PMT

 $N_{\gamma}$  = fotone prodotto per elettrone nel processo

 $\lambda_{\rm R}$  = lunghezza di scattering dei fotoni

nell'atmosfera (Rayleigh)

r = distanza del segmento di sciame visto dal PMT, da questo

 $\theta$  = angolo tra la direzione dello sciame e la

congiungente il segmento di sciame con il PMT

Rapporto segnale/rumore : S/N = 
$$N_{e}N_{\gamma}\sqrt{\frac{\varepsilon A \Delta t}{B \Delta \Omega} \frac{1 + \cos \theta}{4\pi R_{P}^{2}}} e^{-r/r_{\lambda}}$$

Dove R<sub>P</sub> e' la distanza tra la retta lungo cui si propaga lo sciame, ed il rivelatore

#### Rivelatori di fluorescenza: geometria e segnale



Numero di fotoelettroni al rivelatore:

$$p_e = \left[ (\Delta s \eta) \varepsilon \left( \frac{A}{4\pi r^2} \right) \delta \right] N_e; \text{ dove :}$$

A = area dello specchio (m<sup>2</sup>)  $\Delta s$  = lunghezza del segmento di sciame  $\varepsilon$  = efficienza ottica (prodotto dell'efficienza quantica del PMT, del coefficiente di trasmissione del filtro adoperato e della riflettivita' dello specchio)  $\eta$  = numero di fotoni di fluorescenza per metro r = distanza del segmento di sciame

 $\delta$  = trasmissione ottica sulla distanza r

$$r = r_P / \cos \theta; \quad \Delta s = r \Delta \theta / \cos \theta \implies \frac{p_e}{A} = \frac{\eta \varepsilon \Delta \theta}{4\pi} \frac{\delta}{r_P} N_e$$

#### Rivelatori di fluorescenza: numero di p.e.

 $\frac{p_e}{A} = \frac{\eta \varepsilon \Delta \theta}{4\pi} \frac{\delta}{r_p} N_e$ Numericamete, e.g.:  $\eta = 4.5 \text{ fotoni/m}; \varepsilon = 0.16; \Delta \theta = 1^o (0.0174 \, rad) \Rightarrow$   $\frac{p_e}{m^2 \, grado} \cong 10^{-6} \frac{\delta}{r_p} N_e \quad (\text{con } r_p \text{ in km})$ Per uno sciamedi  $10^{19} \text{ eV}$ , al massimodellosciame $\Rightarrow \approx 7 \times 10^9 \quad \text{particelle}$ inoltre, lunghezzad' attenuazione  $\cong 10 \, \text{km};$  segueche per  $r_p = 20 \, km$ :  $50 \, p_e/m^2 \quad \text{in un angolodi } 1^o$ 

#### Rivelatori di fluorescenza: ricostruzione degli eventi

#### SHOWER GEOMETRY



**FIGURE 6.4** Reconstruction geometry. Once the shower detector plane is determined, the remaining variables to be determined are  $R_p$  and  $\Psi$ . The shaded area  $d\theta$  represents the field of view of a tube.

Per determinare i parametri geometrici dello sciame occorre:

- Il piano che contiene sia lo sciame che Il rivelatore
- l'angolo  $\psi$  che in tale piano lo sciame forma con il piano orizzontale

#### Rivelatori di fluorescenza: timing



FIGURE 6.5 Typical event showing phototubes triggered by light from the EAS.

Timing dell'evento

I fotomoltiplicatori forniscono segnali consecutivamente, via via che lo sciame entra nel "campo di vista" di ciascun PMT

Velocita' angolare dell'immagine di uno sciame verticale: ~1°/µs ad una distanza di 20 km. Cambia molto al cambiare della inclinazione dello sciame

### Rivelatori di fluorescenza: evento tipico



L'informazione in alto a sinistra, insieme alla direzione in cui punta ciascun PMT, serve a definire il piano che contiene il rivelatore e lo sciame (SDP). La normale a tale piano e' determinata con la precisione di qualche decimo di grado.

In alto a destra: tempo d'arrivo dei fotoni su ciascun PMT in funzione dell'angolo  $\chi_i$ . Utile per determinare la direzione dello sciame nel piano SDP



#### Ricostruzione "Mono"

#### Rivelatori di fluorescenza: Fit Mono



Fit ai dati sperimentali  $\chi_i$  vs t<sub>i</sub> facendo uso della formula ricavata  $\rightarrow$   $R_p$ ,  $\Psi$ , t<sub>o</sub> che caratterizzano lo sciame

Spesso piu' combinazioni di  $t_0$ ,  $R_p \in \Psi$  fittano i punti sperimentali L'ambiguita' puo' esser risolta misurando il tempo d'arrivo a terra del fronte dello sciame (Rivelatori ibridi) o anche il metodo "stereo")

**FIGURE 6.6** Typical event timing curve. Solid line is result of fit to relative timing of Eq. 6.4

## Fit Mono: ambiguita'

Spesso piu' combinazioni di  $R_p \in \Psi$  fittano i punti sperimentali L'ambiguita' puo' esser risolta misurando il tempo d'arrivo a terra del fronte dello sciame

(Rivelatori ibridi o metodo stereo)



## Fit Mono vs Rivelatore "Ibrido"

Errore su R <sub>p</sub> (m)		Errore su Ψ(gradi)	
Rivelatore Mono	921	8.05	
Rivelatore Ibrido	21	0.24	

#### Rivelatori di fluorescenza: Metodo "Stereo"



**FIGURE 6.7** Reconstruction geometry for EAS seen in stereo.  $\theta_1$  and  $\theta_2$  are emission angles with respect to Fly's Eye I and II.

Ricostruzione molto migliorata facendo uso di due o piu' rivelatori distanti (metodo stereo)

Ma accettanza ridotta !

#### Rivelatori di fluorescenza: profilo dello sciame



Profilo dello sciame a varie profondita'



## Rivelatori di fluorescenza: energia mancante

Rivelatori a fluorescenza efficienti solo ad altissime energie (maggiori di ~ 10<sup>17</sup> eV)



Fig. 8.18. Fraction of missing energy (%) in extensive air showers as a function of the primary energy. Circles indicate proton showers, squares are for primary He, dots for CNO, and filled squares for Fe.

L'energia vista e' sostanzialmente quella associata alla componente elettromagnetica dello sciame

Necessario apportare correzioni per l'energia non rivelata (mesoni µ...)

Molto importanti anche le correzioni per l'attenuazione della luce, legata allo scattering Rayleigh e Mie (sugli aerosol).

Importante un continuo monitoring dell'attenuazione della luce.

Scattering Rayleigh → dimensioni del centro diffusore « λ (lunghezza d'onda della luce) →Intensita' luce diffusa ~ 1/λ<sup>4</sup> (legge di Rayleigh) Mie scattering ← dimensioni del centro diffusore maggiori di λ → Debole dipendenza dell'intensita' da λ. Inoltre forte asimmetria della luce diffusa

#### Rivelatori di fluorescenza: correzioni

Variazioni temporali della lunghezza d'attenuazione al sito di Auger



Figure 28: The horizontal attenuation length at the Auger Observatory site, 1400 meters elevation.

#### Rivelatori di fluorescenza: fondo Cerenkov

Effetti del "fondo" dovuto alla luce Cerenkov diretta ed a quella diffusa



La luce Cerenkov e' concentrata a piccoli angoli rispetto alla direzione dello sciame. Se questo punta verso il rivelatore (entro circa 25°) il contributo della luce Cerenkov diviene importante. Via via che lo sciame si allarga questo genera una ulteriore luce Cerenkov diffusa ad angoli maggiori.

Figure 29: A typical light curve vs time measured by one of the Auger fluorescence telescopes. The points with errors are the observed photons/ $m^2/100$ ns entering the telescope. Shown is the total signal and the contributions to it by Cherenkov light. The direction of this shower was chosen to show both direct Cherenkov light (dots) and scattered Cherenkov light (dashes).

#### Rivelatori di fluorescenza: misura dell'energia

Determinazione dell'energia dello sciame. Nota la dimensione Ne(X) dello sciame, l'energia (elettromagnetica) e' ottenibile da:

$$E = \left(\frac{\varepsilon_0}{X_0}\right) \int N_e(X) dX$$

 $\varepsilon_0$  = energia critica

 $X_0 =$  lunghezza di radiazione

$$\frac{\mathcal{E}_0}{X_0} \cong 2.18 \, MeV \, g^{-1} \, cm^{-2}$$

Occorre poi correggere per l'energia non rivelata (non e.m.) quale quella associata ai neutrini, agli adroni ed ai mesoni  $\mu$ Correzioni tipiche sono di circa il 13% a 10<sup>17</sup> eV e di circa il 5% a 10<sup>19</sup> eV Gli errori statistici tipici sono di +/-15%; quelli sistematici di +/-20%

#### Fluorescenza: Fly's Eye[1]

Rivelatore Fly's Eye: Utah. 160 km a sud di Salt Lake City operativo tra il 1981 ed il 1992 Due rivelatori: FE-I ed FE-II distanti 3.4 km

FE-I: 67 specchi con diametro di 1.6 m Ciascuno specchio visto da 12-14 PMT → totale 880 PMT

FE-II: 36 specchi con un totale di 464 PMT

Ricostruzione con solo FE-I  $\rightarrow$  monoculare Ricostruzione con FE-I + FE-II  $\rightarrow$  stereo

## Fluorescenza: Fly's Eye[2]

Rivelatore Fly's Eye: Utah. 160 km a sud di Salt Lake City



## Fluorescenza: Fly's Eye[3]

Rivelatore Fly's Eye: Utah. 160 km a sud di Salt Lake City



### Fluorescenza: Fly's Eye[4]



FIG. 13. Longitudinal profile of the  $3 \times 10^{20}$ -eV event, the highest-energy event detected by Fly's Eye I. From Bird *et al.*, 1995.

Profilo longitudinale dell'evento di 3x10<sup>20</sup> eV osservato da Fly's Eye



#### Fly's Eye: Accettanza



**FIGURE 6.10** "Fly's Eye" aperture in  $km^2$ -sr as a function of shower energy.

Calcolo del flusso dei raggi cosmici in funzione dell'energia :  $J(E) = \frac{dN/dE}{t \times A\Omega(E)}$  dN/dE = numeri di eventi osservati per bin di energia t = tempo effettivo di esposizione  $A\Omega(E) =$  accettanza del rivelatore (calcolabile con metodi montecarlo)

## **HiRes**

Successore di Fly's Eye High Resolution (Fly's Eye) experiment

Due stazioni separate di 12.6 km HiRes-I: 21 specchi (3.8 m²) con vista del cielo di 360° in azimuth e da 3 a 17° in elevazione. In opera dal 1997

HiRes-II: 42 specchi con vista del cielo di 336º in azimuth e da 3 a 31º in elevazione

Cielo visto in "spicchi" di 1ºx1º dai PMT HiRes e' sensibile a sciami aventi energie maggiori di 10<sup>18</sup> eV.

Lunghezze d'attenuazione tipiche in HiRes: ~ 15 km Cio' corrisponde a fattori correttivi di ~ 4 a distanze di 20 km e di ~7 a 30 km. Notare che gli eventi di piu' alta energia sono quelli che richiedono maggiori fattori correttivi. L'attenuazione inoltre dipende fortemente dalla lunghezza d'onda  $\lambda$  (va' come  $\lambda^4$ ) e cambia di quasi un fattore 5 fra 310 e 390 nm. E' quindi anche importante conoscere bene l'emissione di fluorescenza in funzione di  $\lambda$ .

# **Alcuni risultati di HiRes** Osservazione del cambiamento di pendenza nel flusso dei raggi cosmici a 2x10<sup>18</sup> eV

Table 1. Normalizations and spectral slopes of J(E)

Energy	range (eV)	power index	log( normalization )	normalized at
$10^{17.3}$	- 10 <sup>19.6</sup>	$-3.18 \pm 0.01$	-29.593	$10^{18} eV$
$10^{17.3}$	- 10 <sup>17.6</sup>	$-3.01 \pm 0.06$	-29.495	$10^{18} eV$
$10^{17.6}$	$-10^{18.5}$	$-3.27 \pm 0.02$	-29.605	$10^{18} eV$
$10^{18.5}$	- 10 <sup>19.6</sup>	$-2.71 \pm 0.10$	-32.623	$10^{19} eV$

#### **Rivelatori di superficie: AGASA**

Akeno, Giappone Rivelatore di superficie di circa 100 km<sup>2</sup> 111 scintillatori, ciascuno di 2.2 m<sup>2</sup>, spaziati di circa 1 km Operativo dal 1990 Situato ad un'altezza di 900 m (profondita' atmosferica: 920 g cm<sup>-2</sup>) Nel lato Sud-Est: Array di 156 scintillatori su una superficie di 1 km<sup>2</sup>



FIG. 11. The detector arrangement of AGASA, together with one of the highest-energy events observed by this array. Dots in the right-hand figure show the detector positions, and open circles are charged-particle densities observed by each detector, whose radius corresponds to the logarithm of the density. The left-hand figure shows the lateral distribution. From Hayashida *et al.*, 1997a.

# AGASA

Funzione laterale di distribuzione adoperata:

$$\rho(r) \propto \left(\frac{r}{R_{M}}\right)^{-1.2} \left(1 + \frac{r}{R_{M}}\right)^{-(\eta - 1.2)} \times \left[1 + \left(\frac{r}{1000}\right)^{2}\right]^{-0.6}$$

dove:

 $R_{M} = \text{raggiodi Moliere}(=91.6 \text{ m al livellodi Akeno})$  $\eta \equiv \eta(\theta) = (3.84 \pm 0.11) - (2.15 \pm 0.56)(\sec \theta - 1)$ 

Effettosistematico su S(600) dovuto ad incertezzein  $\eta(\theta) \Rightarrow \pm 7\%$ 

per angoli inferioria 45°

Apportate correzioniper attenuazione atmosferica per sciamiin clinati

Energia ricavata con il metodo  $S_o(600)$ :

 $E=2.03 \times 10^{17} S_0(600) eV$ 

dove S<sub>o</sub>(600) e' la densita' (per m<sup>2</sup>) misurata a 600 m dall'asse dello sciame (riportata a sciami ad incidenza verticale, cioe' corretta per l'angolo)

## AGASA

#### Eventi di alta energia osservati in AGASA (Dati 2003)


## AGASA

Verifica dell'energia ricostruita, facendo uso degli eventi che sono visti dal piccolo rivelatore della zona Sud-Est  $\rightarrow$ 156 scintillatori spaziati di 120 m. Confronto tra energia ricostruita con S<sub>0</sub>(600) con quella ottenuta da: E[eV] = 3.9x10<sup>15</sup> (N<sub>e</sub>/10<sup>6</sup>)<sup>0.9</sup>



Fig. 15. Comparison of energies determined from  $N_e$  and S(600) for one of the largest events landing inside the 1 km<sup>2</sup> array.



Fig. 16. S(600) and  $N_e$  for the events landing well inside the 1 km<sup>2</sup> array. A solid line is  $S(600)-N_e$  relation derived from Eqs. (1) and (17).

### Greisen-Zatsepin-Kuzmin cutoff

 $\mathbf{P} + \gamma \rightarrow \mathbf{n} + \pi^+$ 

 $(E+\epsilon)^2 - (P-\epsilon)^2 = E^2 - P^2 + 4 \epsilon E = (940+140)^2 MeV^2 =$ 

= $(1.08 \ 10^9)^2 \text{ eV}^2 \Rightarrow E_{\text{max}} = 7 \ 10^{19} \text{ eV}$ Calcolo dettagliato  $\rightarrow \underline{E}_{\text{max}} \sim 50 \ EeV$ 

Lunghezza d'assorbimento ~ 10 Mpc (sopra i 50 EeV)  $[\lambda_{\gamma p} = (n_{CMB} \sigma_{p+\gamma_{CMB}})^{-1}]$ con  $n_{CMB}$ =400 cm<sup>-3</sup> e  $\sigma_{p+\gamma_{CMB}} = 10^{-28} \text{ cm}^2]$ Il che implica che raggi cosmici di energia superiore a 50 EeV non possono aver origine da distanze superiori a about 50 Mpc



### **HiRes vs AGASA**



L'evidenza di AGASA per la violazione di GZK e' visibile nei dati. HiRes non osserva l'effetto

Figure 31: Plot of the AGASA spectrum (circles) and the HiRes I monocular spectrum (squares) for energies  $\geq 10^{18.5}$ .

# Auger project



#### **Auger details**

Rivelatore "ibrido" costituito da rivelatori di fluorescenza e di superficie

- Un rivelatore (3000 km2) in Argentina

-Un rivelatore (da costruire) negli Stati Uniti

Costruzione del primo rivelatore in stadio avanzato

Rivelatore di superficie, costituito da 1600 vasche d'acqua (rivelatori Cerenkov in acqua). Spaziatura 1.5 km vasche cilindriche: 3.6 m diametro; 1.2 m altezza (12 m<sup>3</sup> acqua) vista da 3 PMT da 9". Misura calorimetrica dell'energia Energia fornita da pannelli solari + batterie di scorta. Sistema completamente autonomo: wireless LAN comm.+GPS synchronization

Rivelatore di fluorescenza: 24 specchi raggruppati in 4 locazioni diverse

#### **Auger details**

Rivelatore di fluorescenza: 24 specchi raggruppati in 4 locazioni diverse Ciascun telescopio ha un campo di vista di 30° sia in azimuth che zenith. Le 4 stazioni alla periferia dell'array di superficie consistono ciascuna di 6 telescopi, con un campo di vista complessivo di 180° verso l'interno dell'array.

Area di ciascun telescopio: 12 m<sup>2</sup>

Uso di un filtro ottico e lente di correzione

Nel fuoco di ciascuno specchio: camera costituita da 20x22 pmt

Copertura angolare di ciascun pmt: 1.5x1.5 gradi.

13200 PMT in totale



#### **The Auger Collaboration**

Participating Countries - 50 Institutions, >250 Scientists

Argentina Australia Bolivia<sup>\*</sup> Brazil Czech Republic France Germany Greece \*Associate

**Participating US institutions:** 

UCLA Case Western Chicago Colorado Colorado State Fermilab (and ANL) Louisiana State

SAGENAP – April 2004 *P. Mantsch*  Italy Mexico Poland Slovenia Spain United Kingdom USA Vietnam<sup>\*</sup>

Michigan Tech Minnesota Nebraska New Mexico Northeastern Penn State Utah

#### Auger (sito)



Fig. 2. Location and layout of the Southern Pierre Auger Observatory in Mendoza, Argentina. Each dot represents one water Cherenkov detector. The four telescope stations are placed on small elevations called LEONES, COIHUECO, MORADOS and NORTE. The fields of view for some telescopes are indicated. The inset gives the expected number of events per year for the full configuration assuming the AGASA energy spectrum.



SAGENAP – April 2004 *P. Mantsch* 

#### Auger (layout)



Fig. 3. Layout of the Engineering Array. Black dots are at the positions of water Cherenkov tanks. The black square is at the position of the first fluorescence detector station on the Los Leones hill. The white lines indicate the fields of view of the individual telescopes. Right: Photographs of a water Cherenkov detector in the field and of the Los Leones telescope building.

# Auger status

Total area ~3000 km<sup>2</sup>

**1600 Surface detectors** ("water tanks")

24 fluorescence telescopes 6 in each of 4 buildings

About <sup>3</sup>/<sub>4</sub> installed and operational

**Completion in 2007** 





#### **The Fluorescence Detectors**

Schmidt Telescope at Los Leones



Los Leones



under construction

SAGENAP – April 2004 *P. Mantsch* 

# Auger (fluorescenza)



# Auger (fluorescenza)



# Auger (fluorescenza)





### **Atmospheric Monitoring** and Calibration

To realize the full advantage of the calorimetric fluorescence measurement, absolute calibration and careful atmospheric measurements are necessary.

- Atmospheric Monitoring
  - Lidar for atmospheric profiling and "shooting the showers" (atmospheric measurement along the shower path).
  - Fixed vertical and steerable lasers at array center for atmospheric monitoring, timing and calibration checks.
  - Continuous horizontal attenuation monitors.
  - Balloon borne atmospheric measurements.
- Absolute Calibration
  - End to end absolute calibration



SAGENAP - April 2004 P. Mantsch











laser optically linked detector tank)



### A surface detector ("water tank") installed in the Pampa



#### **Auger sensitivity**



#### **Risultati di AUGER**





#### Event 673411





 $N_e$  maximum ~ 7x10<sup>10</sup> for energy = 10<sup>20</sup> eV

FD energy ~ 2x10<sup>19</sup> eV (preliminary) SD energy = 2.1x10<sup>19</sup> eV

SAGENAP April 2004. J. Cronin



### One event of high energy:~ $10^{20}$ eV, $\theta$ ~ $60^{\circ}$



#### Angular resolution from the surface detector depends on the number of tanks



**Improved for hybrid events:** 

~ 0.6 degrees

# **Atmospheric Fluorescence**

Nitrogen emission spectrum 300 - 400 nm

Photon yield as a function of height Error about 15%



Longitudinal profile of showers from the FD telescopes

#### Fit with empirical formula of Gaisser-Hillas

#### **Calorimetric measurement of the energy.**



# **Correction for energy loss (neutrinos, muons)**





Figure 1: Map of CR overdensity significances near the GC region on angular scales of 5° radius. The GC location is indicated with a cross, lying along the galactic plane (solid line). Also the regions where the AGASA experiment found their largest excess as well as the region of the SUGAR excess are indicated.

**Study of excess from the Galactic Center** 

**Comparison to AGASA** 

Energy interval (1.0 – 2.5 EeV), angular scale  $20^{\circ}$ 2116 / 2159.5 ratio = 0.98 ± 0.02 ±0.01

(22% excess would give 2634 and a 10- $\sigma$  excess)

**Comparison to SUGAR** 

Energy interval (0.8 – 3.2 EeV), angular scale  $5^{\circ}$ 

286 / 289.7 ratio =  $0.98 \pm 0.06 \pm 0.01$ 

(85% excess would give 536 and a 14.5- $\sigma$  excess)

# **Energy calibration – hybrid events**

**Energy obtained by the calorimetric measurement of the fluorescence detector sets the absolute energy scale Simulation not needed.** 



Statistics is now about 1/2 year of full Observatory (~7000 km<sup>2</sup> sr yr) Efficiency =100% above 3 EeV



# Auger





### Conclusion

**Technical performance excellent** 

Expect:

∼445000 events/year 10<sup>17</sup> - 10<sup>18</sup> eV

~125670 events/year 1018 - 1919 eV

~3150 events/year > 10<sup>19</sup> eV

10% of these are hybrid

(scaling from present yields)

**Greatest Problem:** 

**Cash flow from Western Hemisphere!** 

SAGENAP April 2004. J. Cronin



#### **Cost and Funding**

Auger South Total Project Cost: March 99 - \$54.6M October 01 - \$53.8M January 04 - \$47.5M
### **Auger USA**

## **Pruitt Mound in Colorado Site**



## **Auger USA**



# **Site Comparison**

		Southern Site	Northern Sites under Consideration	
Location/Geography				
	Country	Argentina	USA	USA
	State (Province)	Mendoza	Utah	Colorado
	Latitude	35 -35.3 South	39 North	37 45' North
	Longitude	68.9 - 69.4 West	112 West	102 45' West
	Altitude	1300 m (E) 1500 m (W)	1400-1450m	1330 m (SW) 1220 m (NE)
	Maximum Area (confirmed)	5,800 km <sup>2</sup>	7,200 km <sup>2</sup>	15,000 km <sup>2</sup>
	Geography	Flat with a gentle slope	Great Basin	High plains, gentie slope
	Land Usage	Ranching (goat, cattle), small farming	Ranching, farming	Ranching, farming
Infrastructure				
	Nearby Local Town	Malargue	Delta / Fillmore	Lamar
	Population	18,000	3,000 / 2,000	9,000
	Major City/ Airport	Mendoza, San Rafael	Salt Lake City	Denver
	Distance to Site	420 km, 200 km	210 km	320 km
Weather				
	Temperature (Summer)	January 20°C	July mean 24°C	July mean 25°C
	(Winter)	July 4°C	January mean -3°C	January mean -2°C
	"Cloudiness"		≈ 10%	≈ 7.5%
	Irradiance	≈ 380 W/m²	≈ 253 W/m²	≈ 250 W/m²
Land Ownership				
	Private	≈100 owners (95%)	≈200 owners (20%)	≈280 owners (95%)
	Federal-Owned	0 %	BLM (75%)	negligible
	State-Owned	≈ 5%	≈ 5%	≈ 5%

SAGENAP - April 2004

Katsushi Arisaka

# Rivelatori a fluorescenza vs superficie

#### J. Cronin:

In metaphorical terms the fluorescence technique resembles a beautiful prima donna who needs constant pampering. Then she will sing with such beauty that shivers run up and down your spine.

By contrast the surface array technique reminds one of a chanteuse in a smoky bar who sings with the same passion, no matter how she feels or how she is treated.