



**RILEVAZIONE DI RAGGI COSMICI
TRAMITE FLUORESCENZA
ATMOSFERICA**

FLUORESCENZA

Fluorescenza: assorbimento di fotoni con eccitazione di stati elettronici molecolari e successiva riemissione a λ (generalmente) maggiore (tipicamente tra l'UV e il visibile)

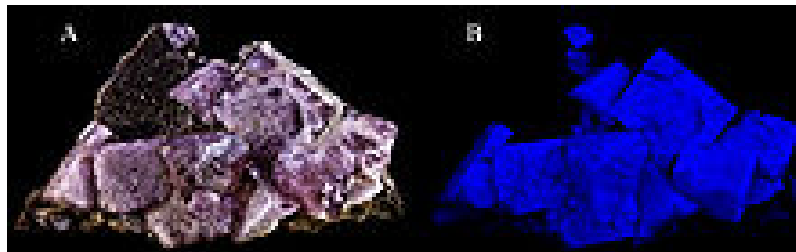
La fluorescenza è solo uno dei possibili decadimenti

Decadimenti non radiativi:

- Quenching
- Rilassamento vibrazionale
- Conversione
- Incrocio intersistema

Decadimenti radiativi:

- Fluorescenza
- Fosforescenza



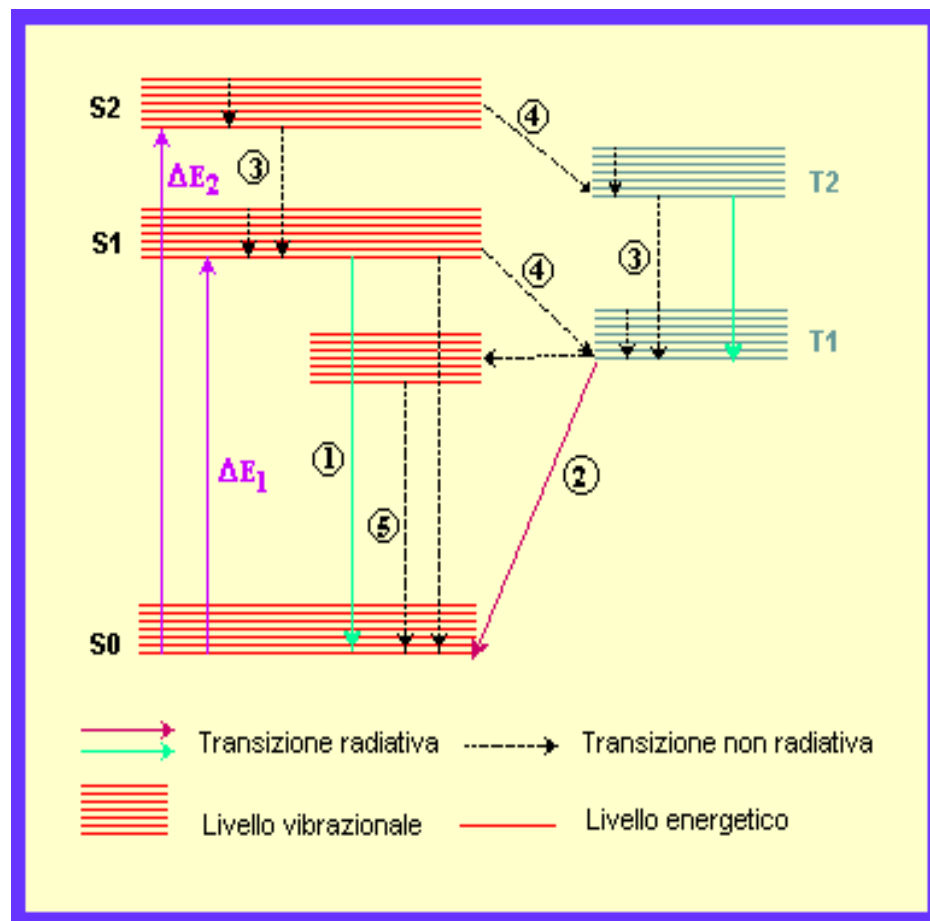
Differenza con la fosforescenza:

- Storica = Tempi di riemissione
- Attuale = Molteplicità di spin degli stati coinvolti nella transizione



DIAGRAMMA DI JABLONSKY

La radiazione eccita lo stato di singoletto S_0 in S_1 o S_2 (gli stati di tripletto T sono proibiti)

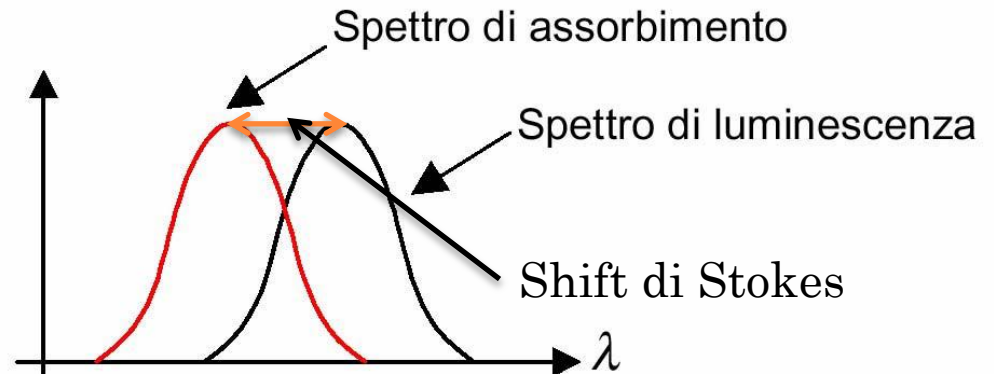


1. La molecola in S_1 (T_2) ricade in S_0 (T_1) radiativamente (**fluorescenza**)
2. La molecola in T_2 decade radiativamente in S_0 (**fosforescenza**)
3. La molecola eccitata in S_2 (T_2) ricade in S_1 (T_1) mediante *conversioni interne*, ovvero dissipazioni non radiative con emissione di calore
4. La molecola eccitata in S_1 o S_0 (T_1) sottostà a un interscambio senza radiazione che richiede il disaccoppiamento di spin passando a uno stato di tripletto (singoletto) (*incrocio intersistema*)
5. La molecola in S_1 ricade in S_0 non radiativamente

SPETTRO DI FLUORESCENZA

Legge di Stokes:

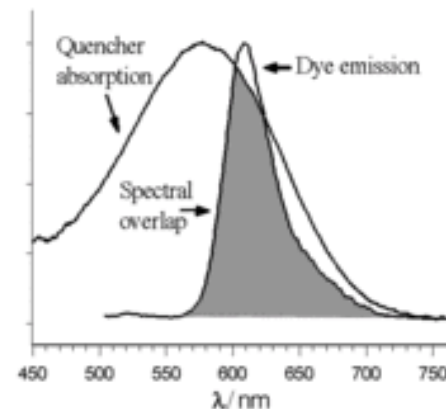
L'energia del fotone emesso per luminescenza appartiene ad una regione di spettro spostata a λ maggiori indipendente dalla radiazione eccitatrice



Fattori che influenzano la fluorescenza:

- Struttura della molecola e dei livelli
- Temperatura (favorisce la conversione interna)
- Presenza di quenchers (lo stato eccitato si depopola per altre vie)

Quenching (smorzamento) = serie di effetti che smorzano la radiazione di fluorescenza



FLUORESCENZA ATMOSFERICA

Elettroni che attraversano l'atmosfera perdono energia tramite collisioni inelastiche (ionizzazione) con le molecole dell'aria. Una piccola frazione di questa energia viene riemessa tramite fluorescenza UV (290–430nm), proveniente principalmente dai sistemi 2P dell' N_2 e 1N dell' N_2^+

Composizione chimica dell'atmosfera terrestre



Ipotesi di unico processo:

Sezione d'urto di eccitazione diretta σ_v proporzionale al fattore Frank-Condon

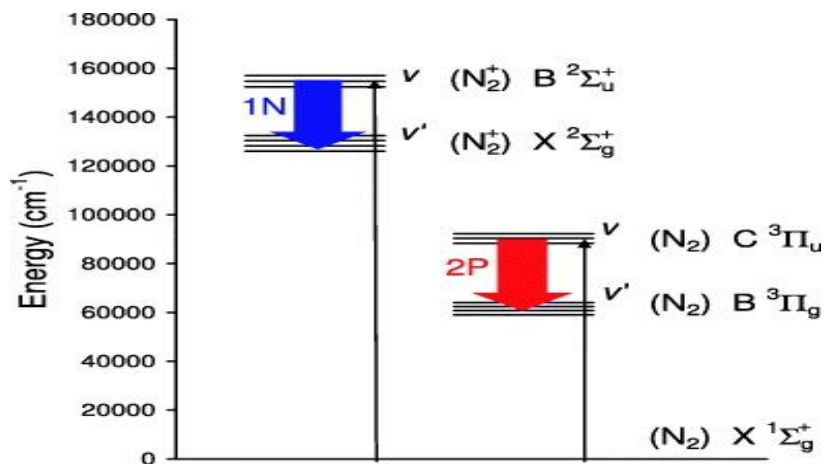
$q_{X \rightarrow v}$



Rilassamento a v' con emissione di fotone $v-v'$ con probabilità per unità di tempo $A_{vv'}$, (coefficiente di Einstein)

$$\epsilon_{vv'} = N\sigma_v \frac{A_{vv'}}{A_v} = N\sigma_v B_{vv'} = N\sigma_{vv'}, \rightarrow$$

Intensità di fluorescenza proporzionale a $q_{X \rightarrow v} B_{vv}$

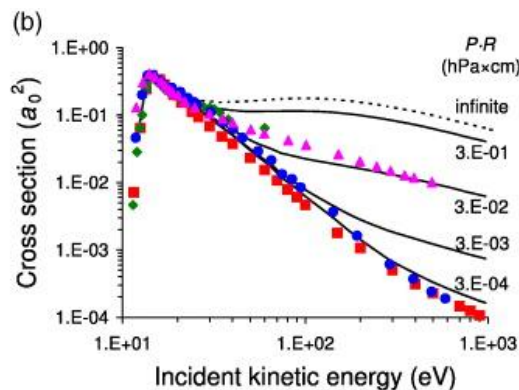
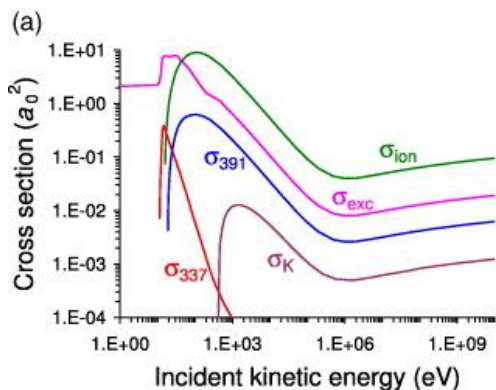


FLUORESCENZA ATOMSFERICA

Le diseccitazioni radiative (quenching) diventano significative a pressioni moderate

$$A_v^c(P) = A_v \frac{P}{P'_v} \Rightarrow \epsilon_{vv'}(P) = N\sigma_{vv'} \frac{1}{1 + P/P'_v}$$

Emissione fortemente piccata a basse energie

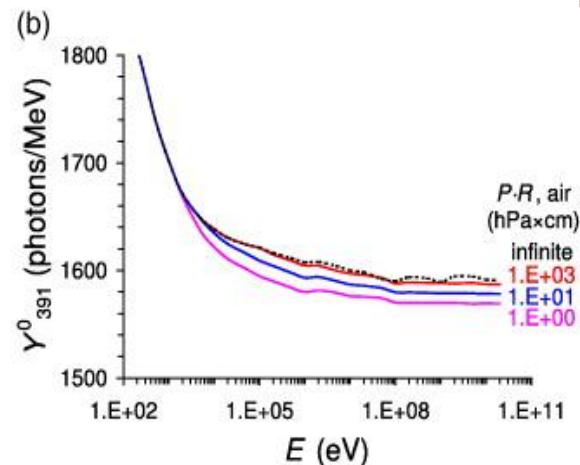
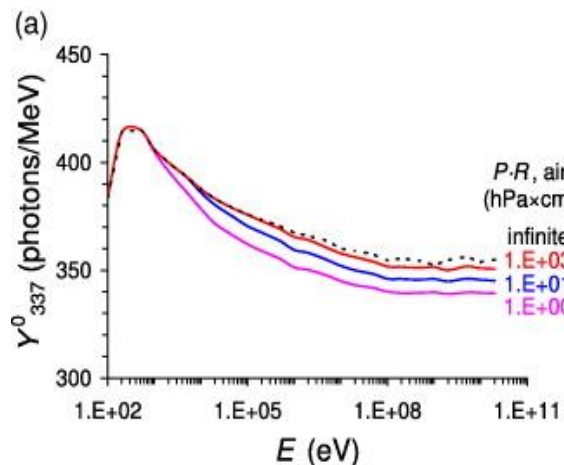


Contributo importante degli elettroni secondari!

$$\epsilon_{vv'} = N\sigma_{vv'}^{eff}(E, P) \frac{1}{1 + P/P'_v}$$

Resa della rivelazione di fluorescenza

$$Y_{vv'} = \frac{\epsilon_{vv'}}{(dE/dx)_{dep}}$$

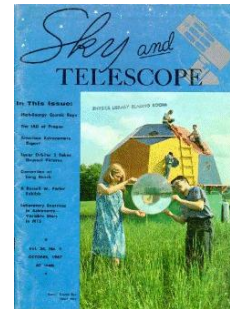


STORIA DELLA AFT

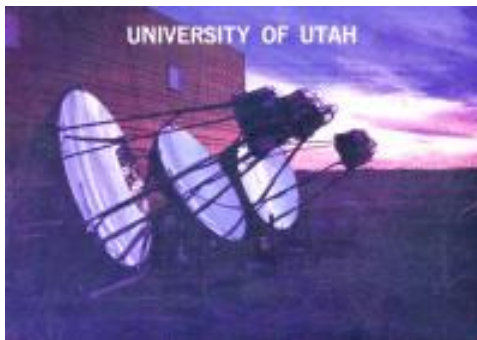
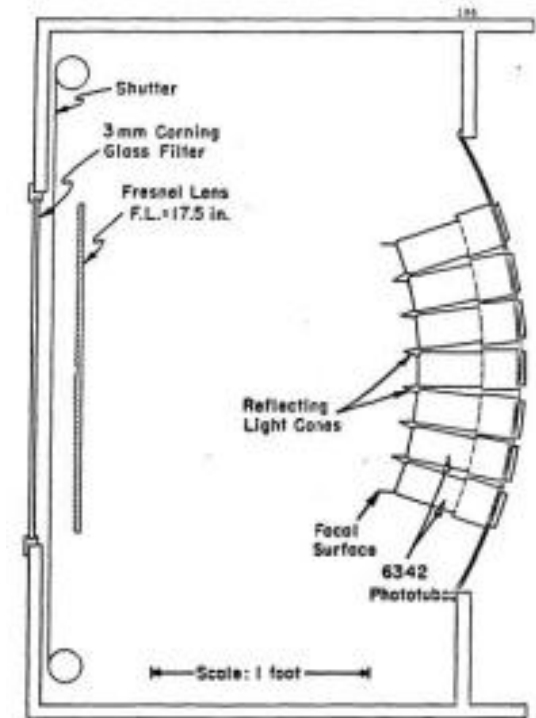
Nel 1967 Greisen costruì il primo esperimento basato sulla rilevazione della fluorescenza. Il detector osservava il cielo notturno usando 500 PMT, ognuno dei quali corrispondeva a un pixel dell'angolo solido (0.01 strad).

I 500 PMT erano divisi in 10 moduli ciascuno dei quali equipaggiato con una lente di Fresnel di 0.1 m^2 e un filtro.

Il sistema era inadeguato a rivelare sciami UHE



Copyright © 1967 Sky and Telescope. Reproduced with permission.



Nell'esperimento messo in piedi nel 1976 dall'università dello Utah nel deserto del nuovo messico, 3 moduli composti da uno specchio di 1.8 m di diametro che amplificavano di 20 volte il segnale di 14 PMT (ciascuno dei quali copriva 0.008 strad)



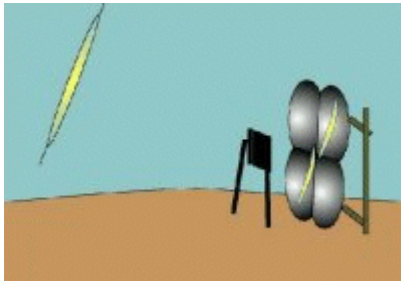
CARATTERISTICHE DI UN RIVELATORE DI FLUORESCENZA ATMOSFERICA

Luce di fluorescenza da sciame = lampadina da 100W che passa a c



Caratteristiche:

- Elettronica molto rapida
- Le migliori condizioni climatiche possibili



Vantaggi dell'AFT

- Permette un'accurata ricostruzione geometrica del fascio
- Assumendo l'intensità della radiazione di fluorescenza proporzionale all'energia EM depositata nell'atmosfera permette di misurare (indipendentemente) l'energia dello sciame

Svantaggi dell'AFT

- Bassa accuratezza rispetto ai surface array (es Auger 15% su 22% totale di errore sistematico), specialmente per gli elettroni energetici ($> 1 \text{ KeV}$)

Importanza della calibrazione!

Fattori di calibrazione:

- Pressione
- Composizione
- Umidità
- Temperatura



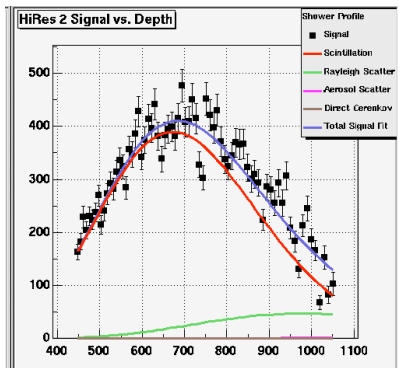
AFT OGGI - HIRES

1980-1993 Fly eye.
101 specchi in 2 siti
distanti 3.4Km, 12-14
pixel per specchio (ognuno
per un cono di 5 gradi).
Nel 1991 osserva
violazione del GZK cut-off

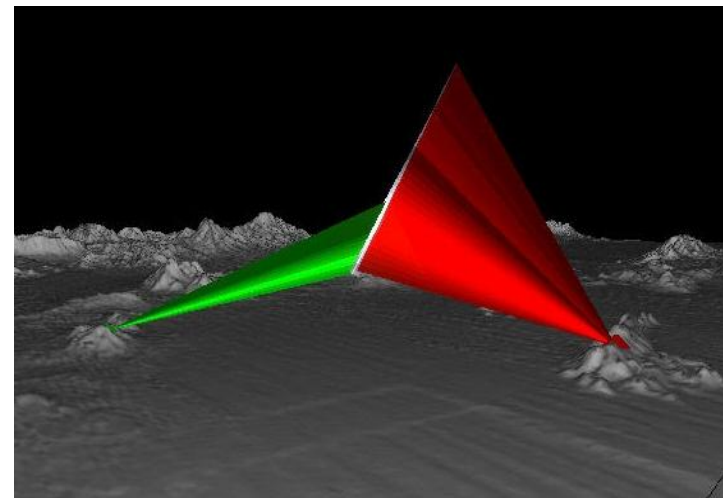


2003 HiRes = High resolution fly eye

- 2 siti a 12.6Km di distanza
- Ricostruzione stereoscopica della geometria e dell'energia del fascio



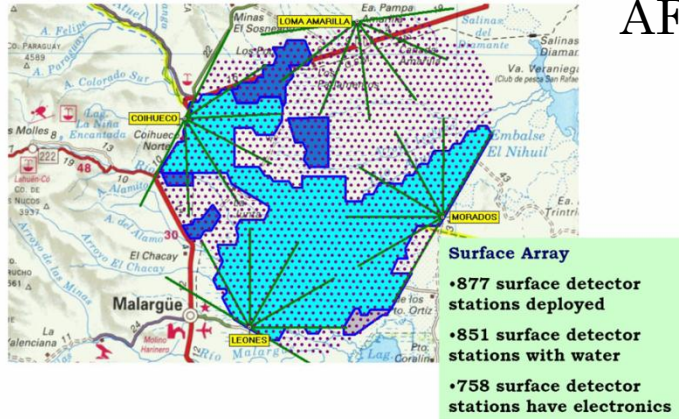
- Specchi da $5m^2$ con un cluster di 16×16 PMT ciascuno



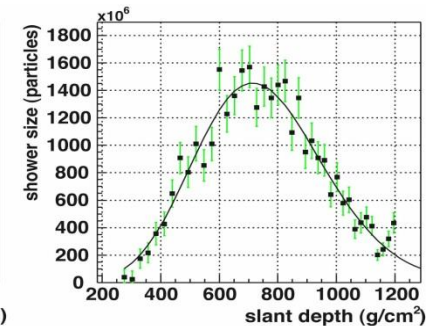
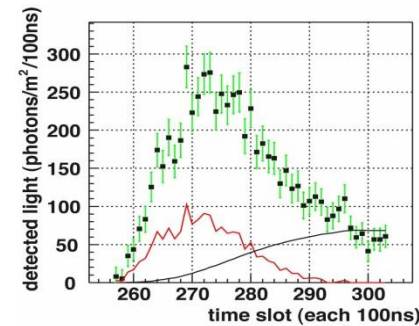
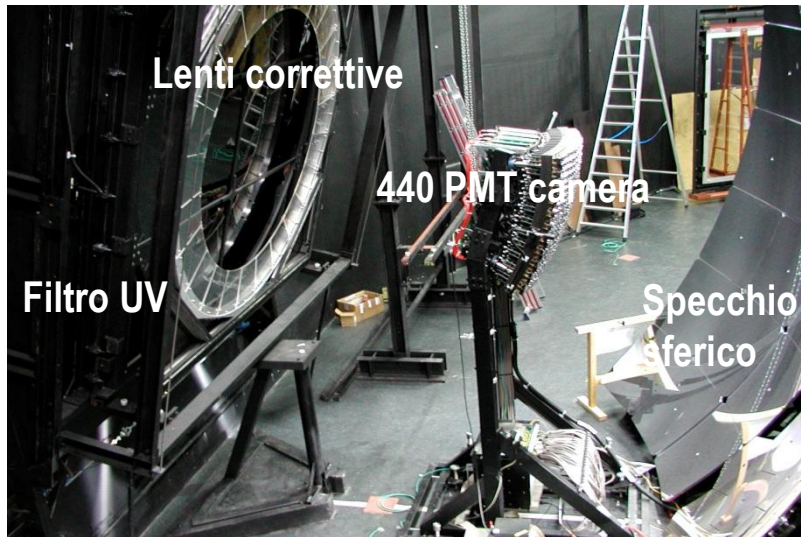
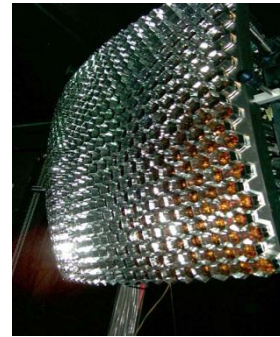
AFT OGGI – AUGER



Surface Detector News Deployment Status



Rivelazione ibrida:
AFT + Array di terra



Energia
ricostruita con
FD e correlazione
con i Cherenkov

