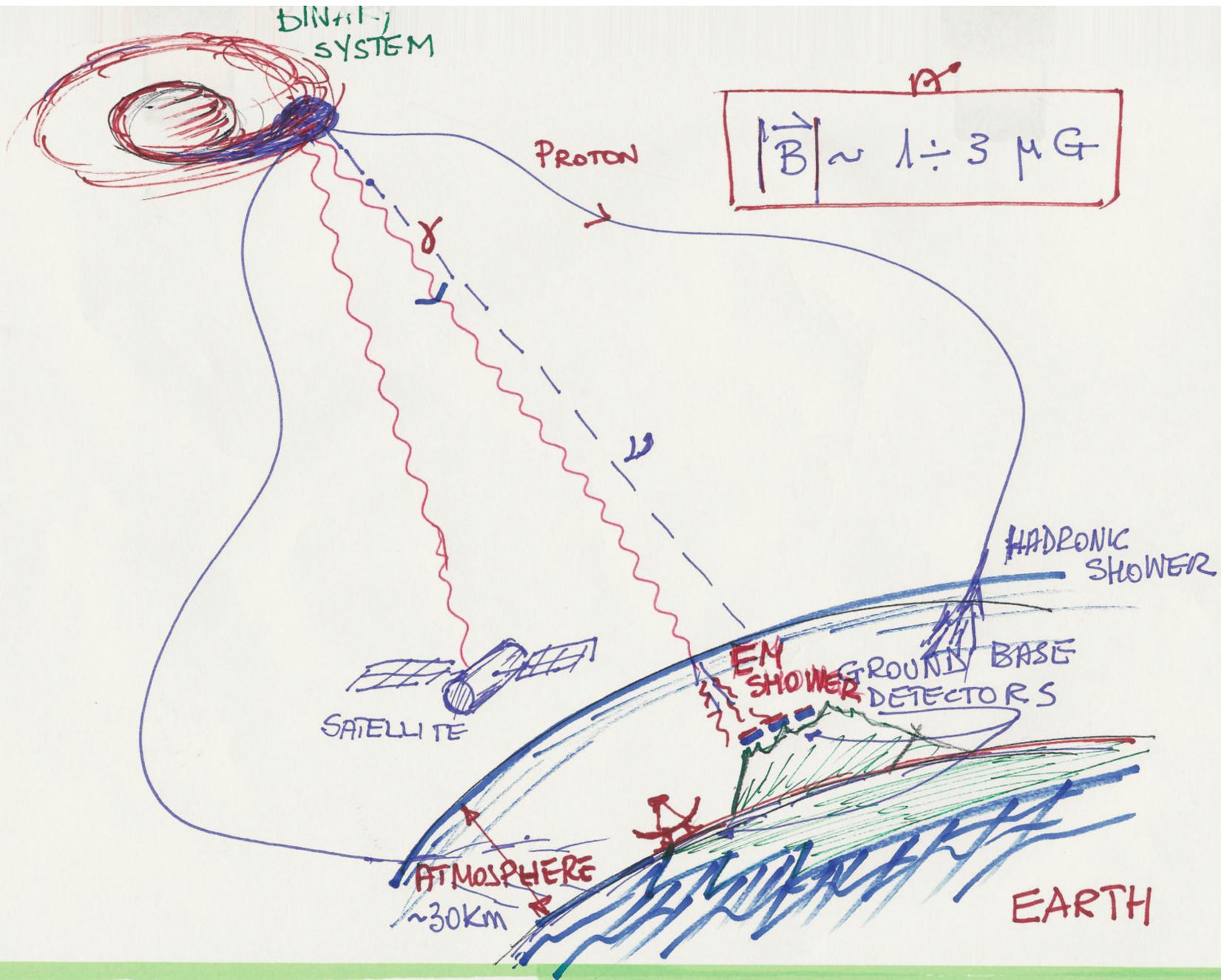


# L'Astronomia Gamma

- Motivazioni per lo studio della astronomia gamma
- Tecniche sperimentali
- Dati Sperimentali
- Prospettive Future



# Le motivazioni della Astronomia Gamma

- **Sonda per i meccanismi di accelerazione**
- **Origine dei raggi cosmici**
- **Studio di oggetti esotici**
  - **AGN**
  - **Pulsar**
  - **Sorgenti X binarie**
  - **Buchi Neri primordiali**
  - **GRB**
- **Altri fenomeni (neutralino, stringhe cosmiche ..**

## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

### SONDA DEI MECCANISMI DI ACCELRAZINE

Protoni ed elettroni di alta energia nelle vicinanze di oggetti astrofisica producono fotoni di alta energia.

Gli elettroni generano gamma di bassa energia attraverso radiazione di sincrotrone in campo magnetico. Questi fotoni possono venire accelerati alle energia del TeV interagendo a loro volta mediante il Compton inverso con elettroni di alta energia.

Protoni ed nuclei sono soggetti ad interazioni forti con la materia che li circonda, e producono gamma nello stato finale

L'osservazione di fotoni VHE contribuisce alla comprensione dei meccanismi di accelerazione delle particelle cosmiche, poiché distribuzioni energetiche e flussi sono caratterizzati dal modo di produzione (Modelli e Monte-Carlo)

## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

### ORIGINE DEI RAGGI COSMICI

La composizione elementare e lo spettro energetico dei raggi cosmici è oggetto di studi da molti anni. Tuttavia ancora oggi l'origine dei raggi cosmici è un problema molto controverso.

Protoni ed elettroni di alta energia nelle vicinanze di oggetti astrofisici producono fotoni di alta energia.

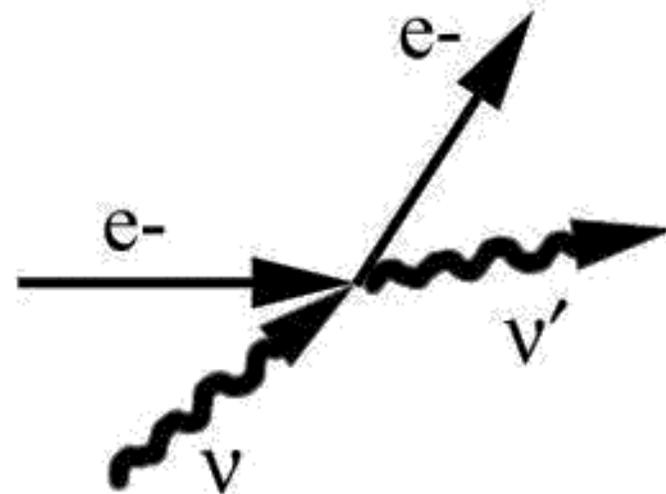
Lo studio dell'origine dei raggi cosmici è una delle più importanti motivazioni della astrofisica dei raggi gamma

## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

### Produzione dei raggi gamma

- 1) Elettrone accelerato + Compton inverso su gamma di bassa energia
- 2) Variante el. attraverso B radiazione di sincrotrone + Compton inverso su questi fotoni (SSC)

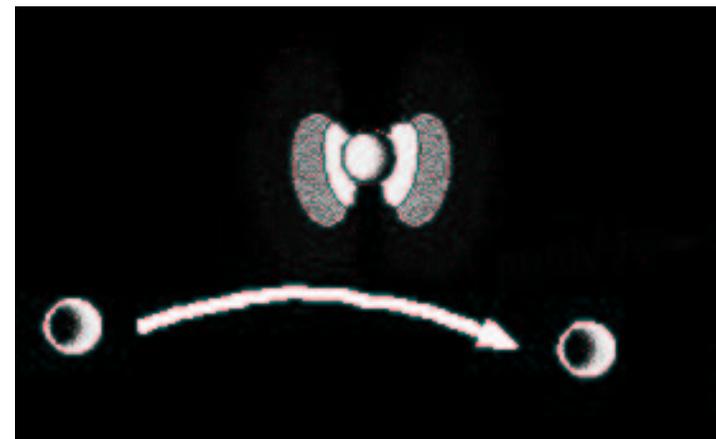
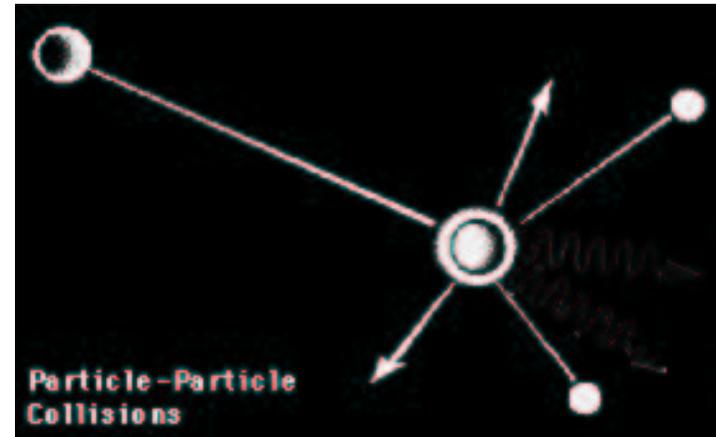
Inverse Compton scattering



$$\nu' > \nu$$

High energy  $e^-$  initially  
 $e^-$  loses energy

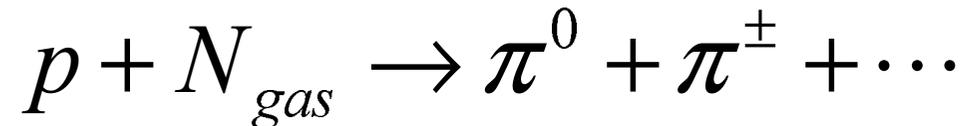
# Meccanismi di produzione dei raggi Gamma



Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

## Produzione dei raggi gamma (cont.)

B) Produzione adronica



Variante: el. attraverso B radiazione di sincrotrone + Compton inverso su questi fotoni (SSC)

C) Decadimento di particelle supersimmetriche.

## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

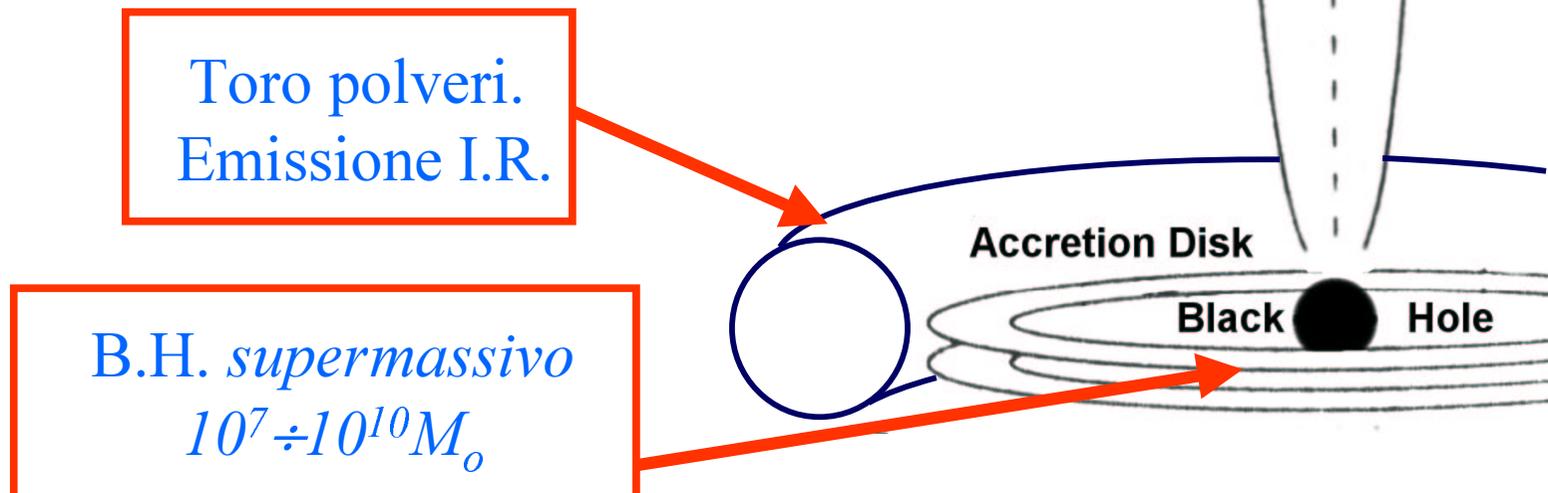
### AGN

- Proliferazione di classi e sub-classi di AGN (quasar, galassia di Syfert (tipo I e tipo II) galassie radio quiet e radio loud etc. etc. , derivate da proprietà osservazionali ottiche e radio
- Modello unificato di AGN

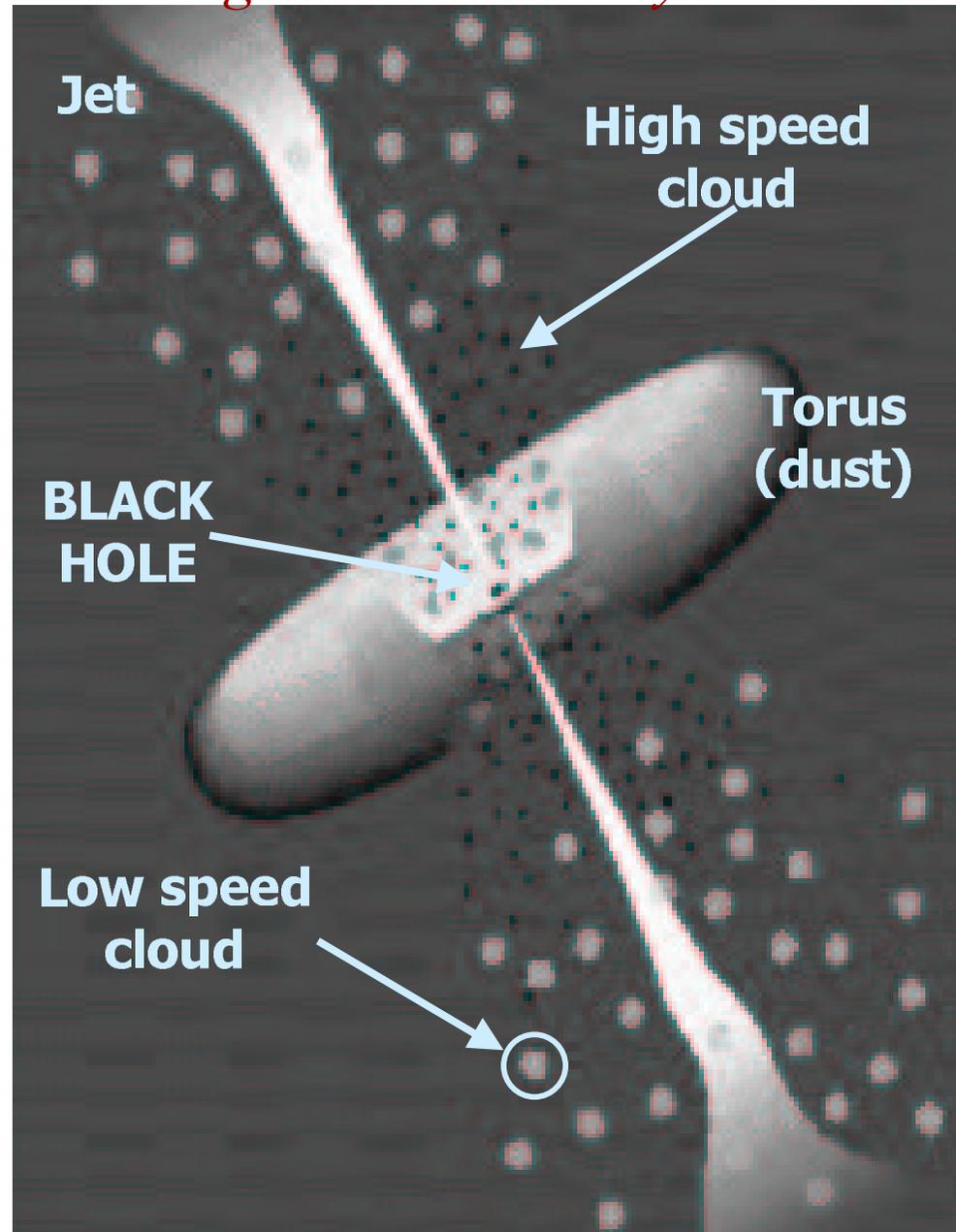
Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

## Modello unificato di AGN

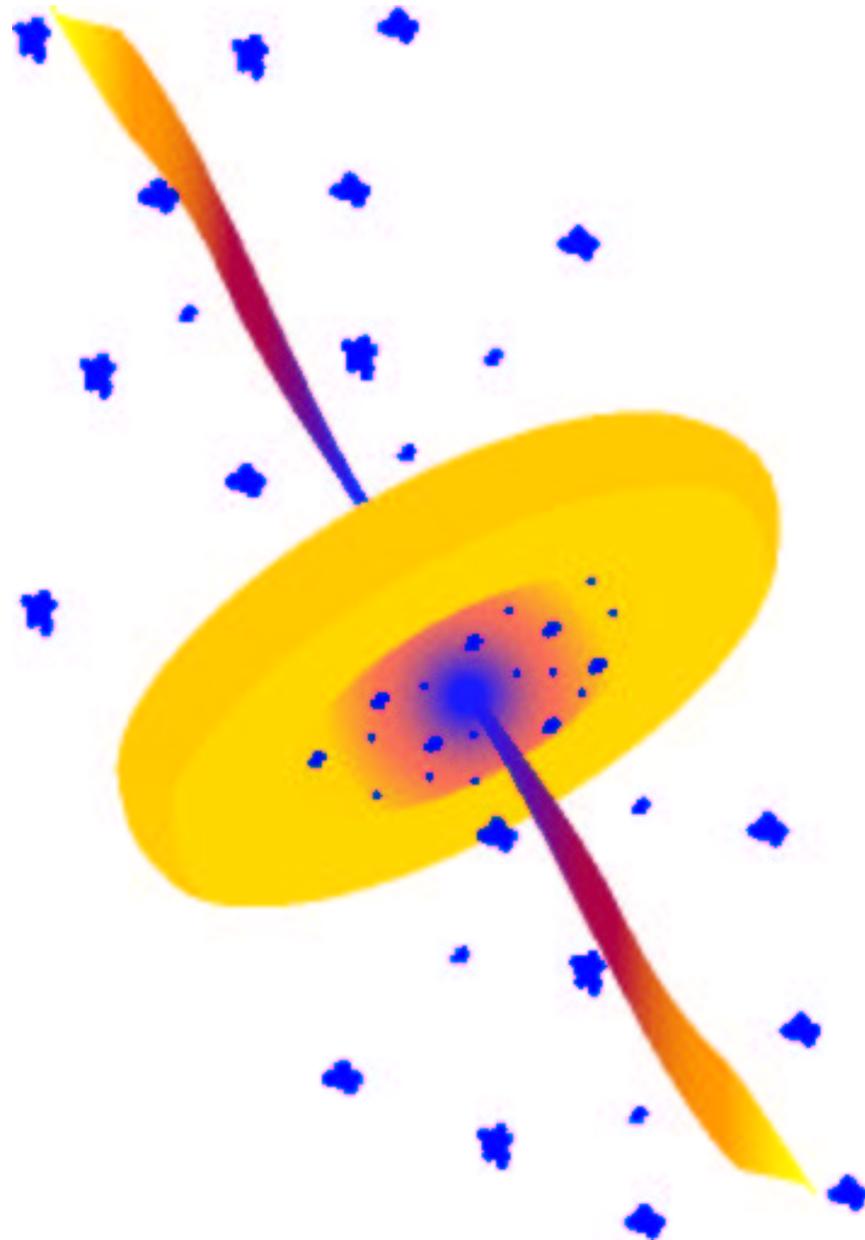
Al centro c'è un black hole (BH) supermassivo attorno al BH c'è un disco di accrescimento. Perpendicolarmente al disco di accrescimento c'è un jet nel quale si hanno particelle di alta energia (TeV)



## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*



# Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*



## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

### Accelerazione di particelle negli AGN

meccanismo:

- Inverse Compton (Levinson and Blandford 1991) e le sue varianti : SSC, external Compton e modelli inhomogenei
- Proton-initiated cascade (PIC) (Protheroe 1992, Mannheim 1993)
  - Attualmente l'ipotesi che sembra più rispondente ai dati è quella e.m. (Inverse Compton)

## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

### Osservazioni dei gamma da AGN e modelli

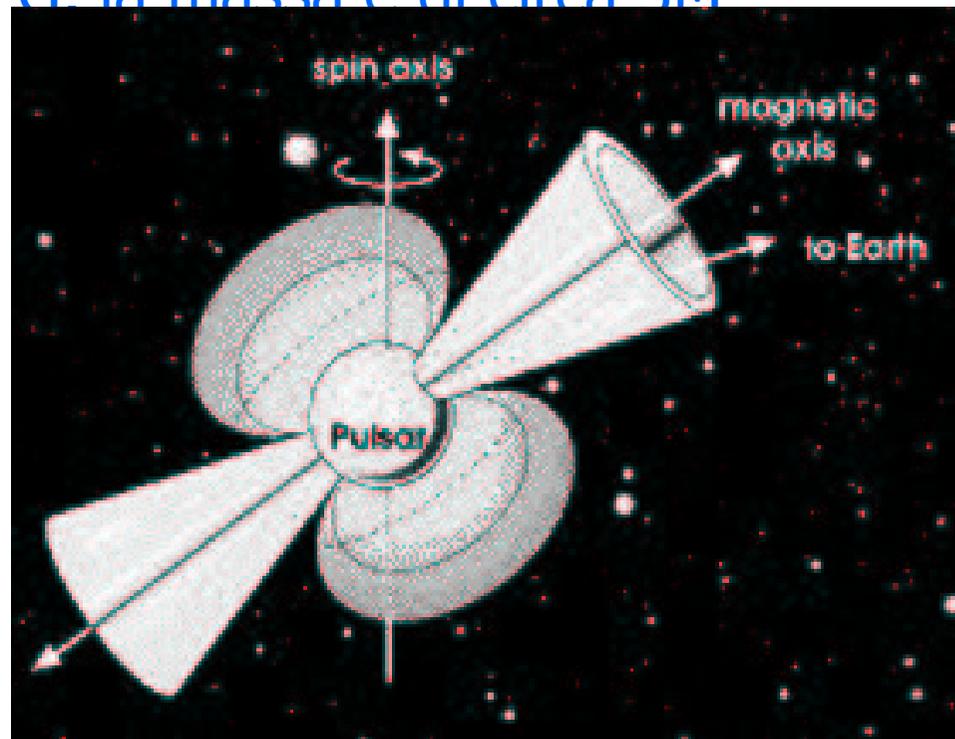
- Attività rapida di *flaring* favorisce i modelli e.m
- Energie maggiori di 10-20 TeV favoriscono modelli adronici
- Correlazione tra osservazioni in multifrequenza .favoriscono i modelli omogenei

### Ruolo centrale delle osservazioni nella regione VHE

## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

### PULSAR :

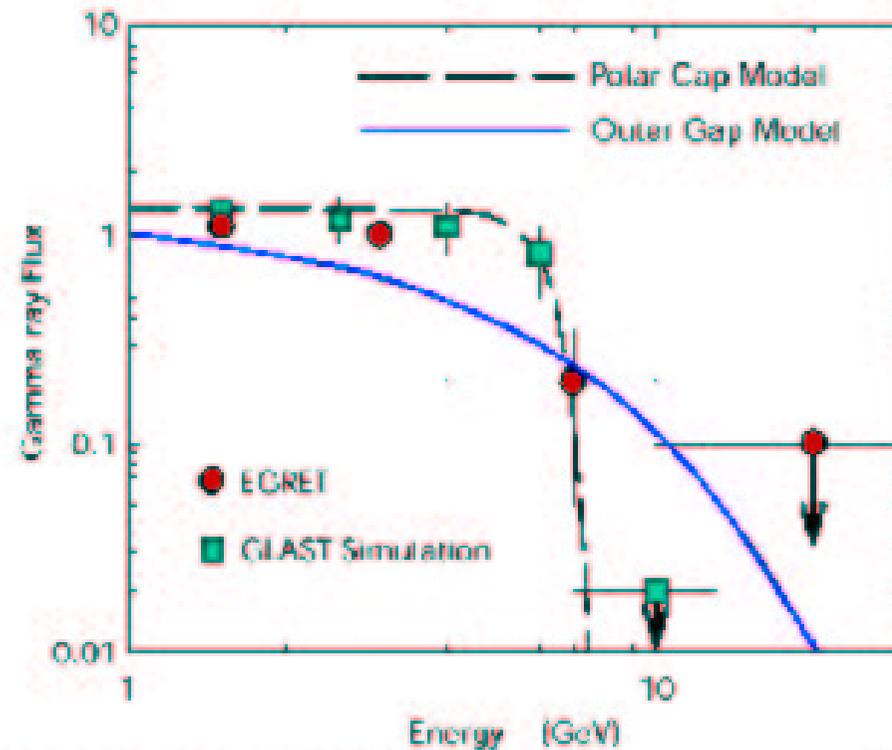
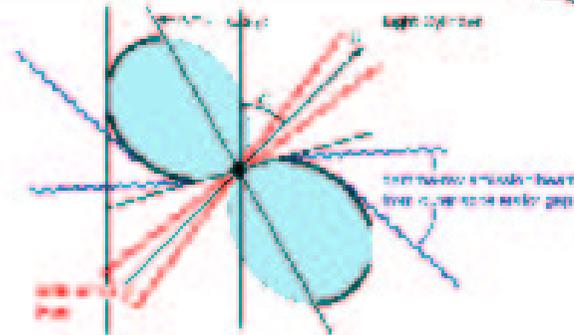
Stelle di neutroni rapidamente ruotanti (periodo  $10^{-3}$  - 1 s),  
nei pressi della stella è  $B \approx 10^{12} \text{G}$ , la massa è di circa  $3M_{\odot}$   
ed il raggio è circa 10 km



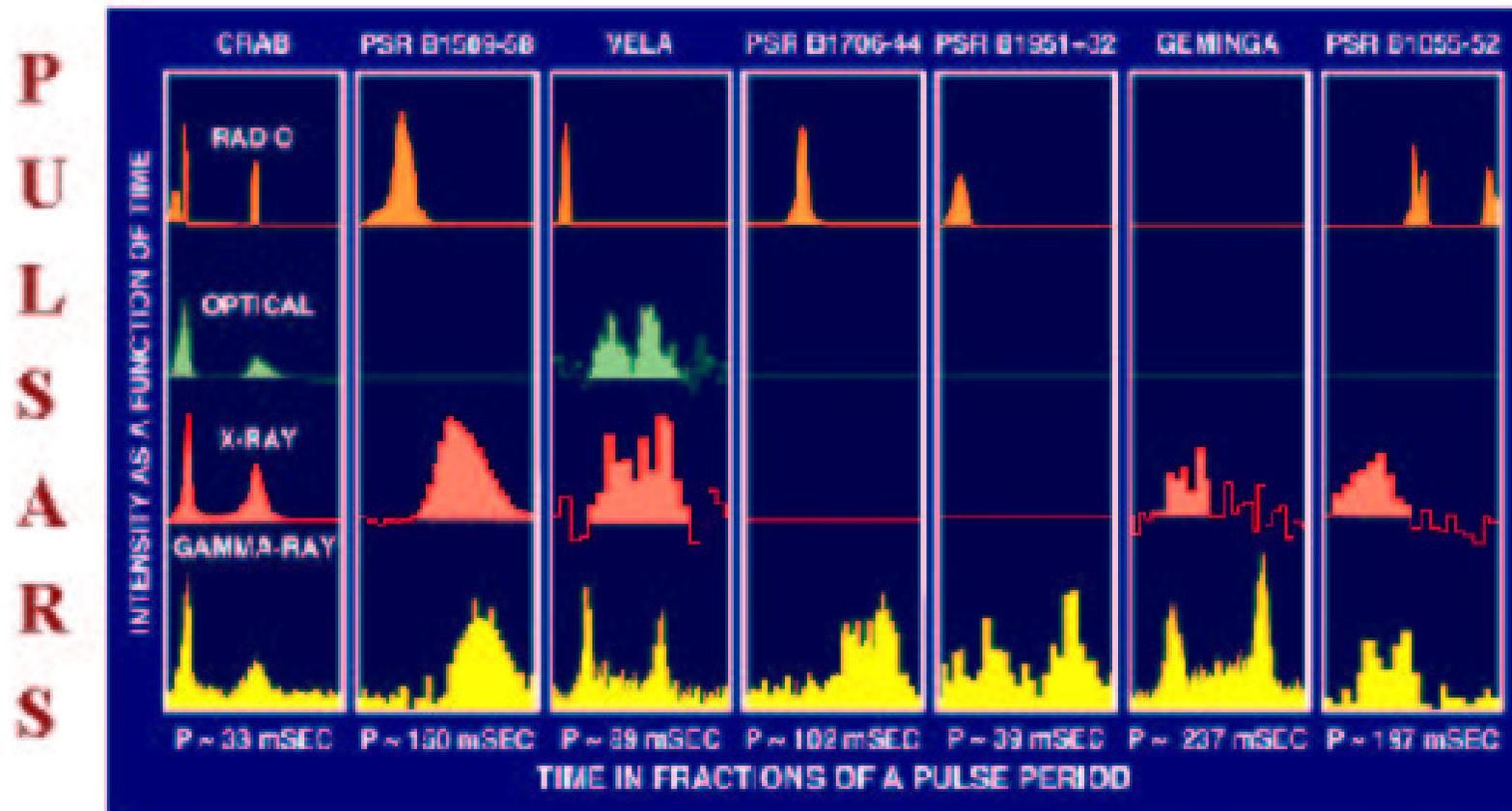
# Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

## Pulsars

- Tutte le pulsars nei raggi gamma hanno un cut-off ad alta energia
- Il Polar Gap model predice un ripido cut-off
- Outer gap model predice un cut-off più graduale
- I dati di EGRET non consentono di discriminare fra i diversi modelli



## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*



Multiwavelength light curves of the seven pulsars detected by GRO .

Multiwavelength observations of more will severely constrain theoretical model for pulsar emission.  
High energy gamma-ray may dominate and can provide unique information on the map of pulsar magnetosphere and emission mechanism.

## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

### Gamma Ray Bursts (GRB)

- Fenomenologia:

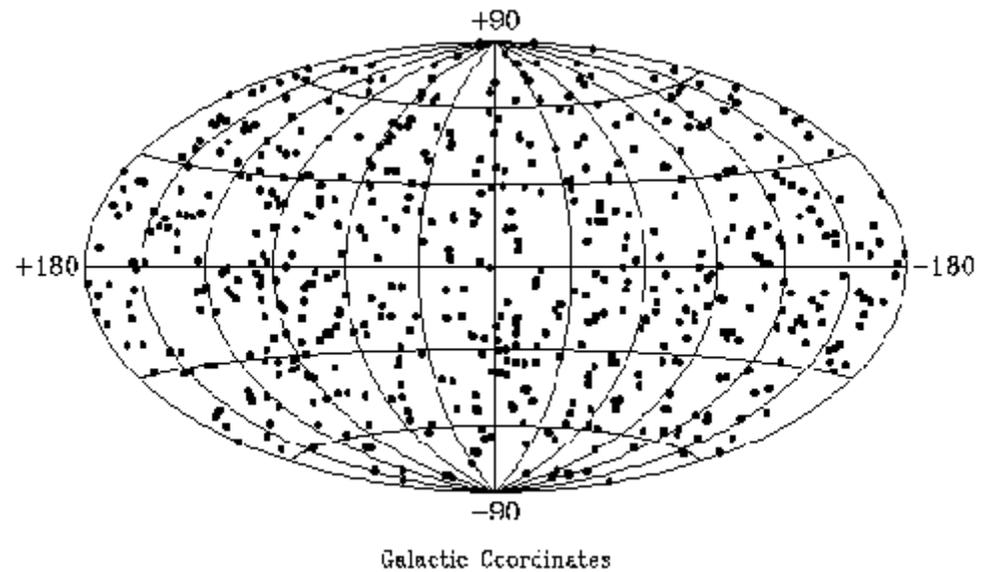
- Brevi emissioni di fotoni ( durata  $10^{-2}$  -  $10^2$  secondi)
- Energie tra pochi *keV* e le decine di *Gev*
- Fluenza totale  $\sim 10^{-6}$  -  $10^{-3}$  erg/cm<sup>2</sup>
- Grande variabilità nelle caratteristiche dello spettro
- Frequenza 1/giorno
- la maggior parte ad alto *z* ma qualcuna a basso *z*

Sono forse il *puzzle* più intrigante della astrofisica attuale

## Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

### Modelli per i GRB

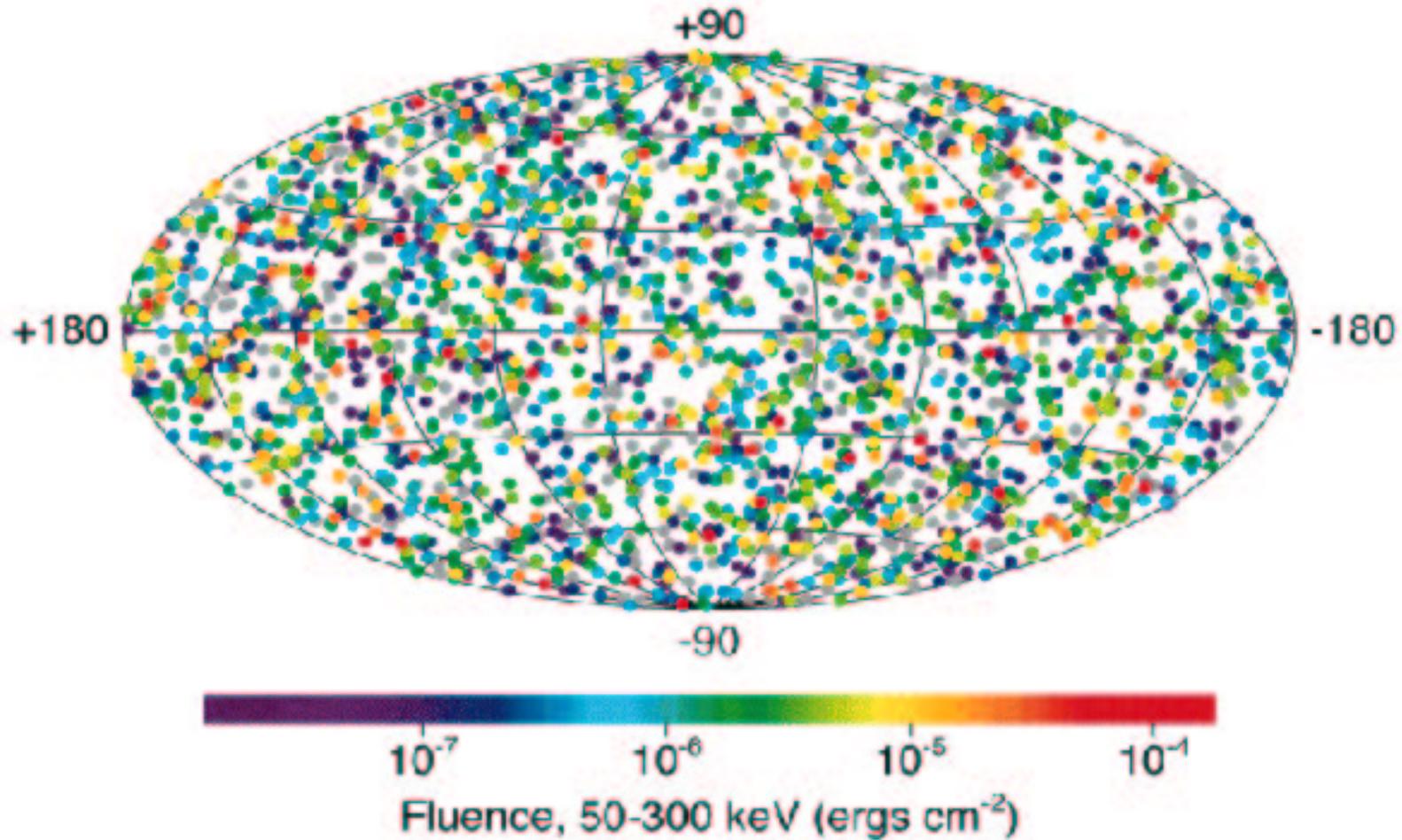
- Cosmologici
- Alone galattico



- Isotropia implica GRB extragalattici

Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

## 2512 BATSE Gamma-Ray Bursts



Motivazioni scientifiche della *gamma astronomy*

## Particelle Esotiche

Modelli teorici favoriscono materia oscura non barionica

⇒ particelle massive (TeV) supersimmetriche -  
Osservatori a terra dovrebbero essere in grado di  
osservare il processo:

$$\chi\chi \rightarrow \gamma$$

Dovrebbero essere rilevabili [Urban et al. Phys.Lett.B293(1999)]

⇒ Rivelatori con buona risoluzione energetica

## *La propagazione dei raggi gamma nell'universo*

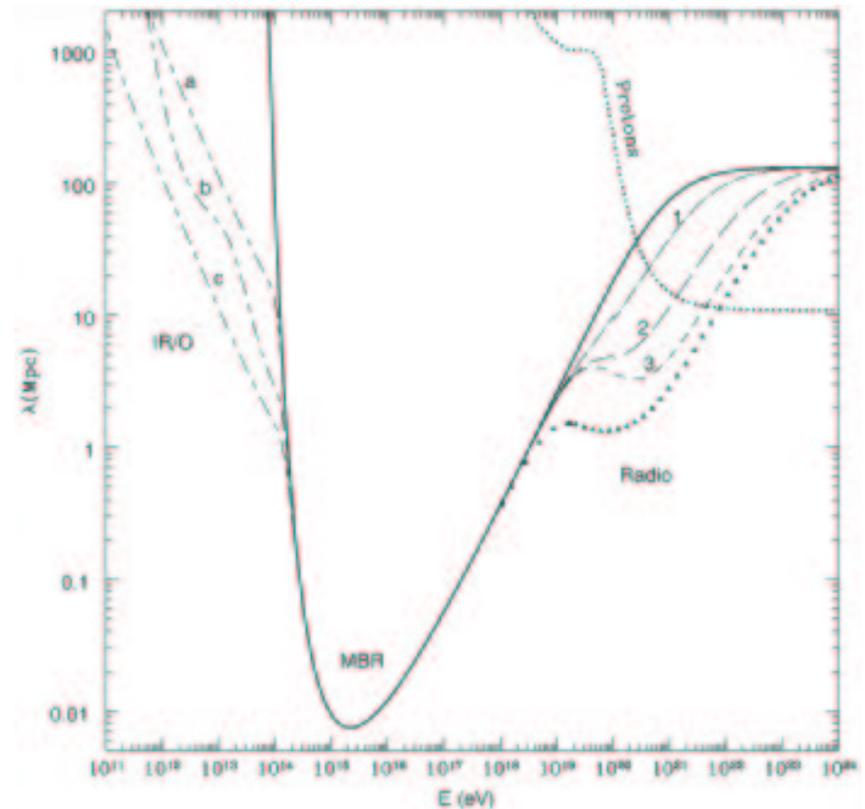
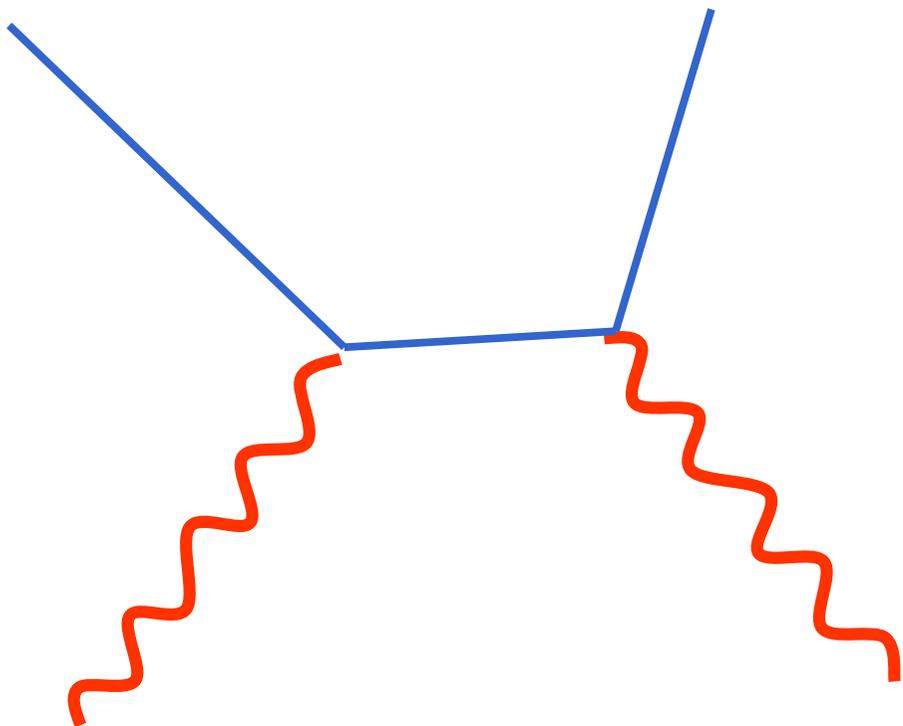
- Il campo e.m. , nonostante le equazioni di Maxwell, non è lineare. Infatti:

$$\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$$

- L'universo è immerso in un gas di fotoni (2.7K, I.R., luce visibile, etc.)
- $\Rightarrow$  L'universo non è trasparente ai gamma

# La propagazione dei raggi gamma nell'universo

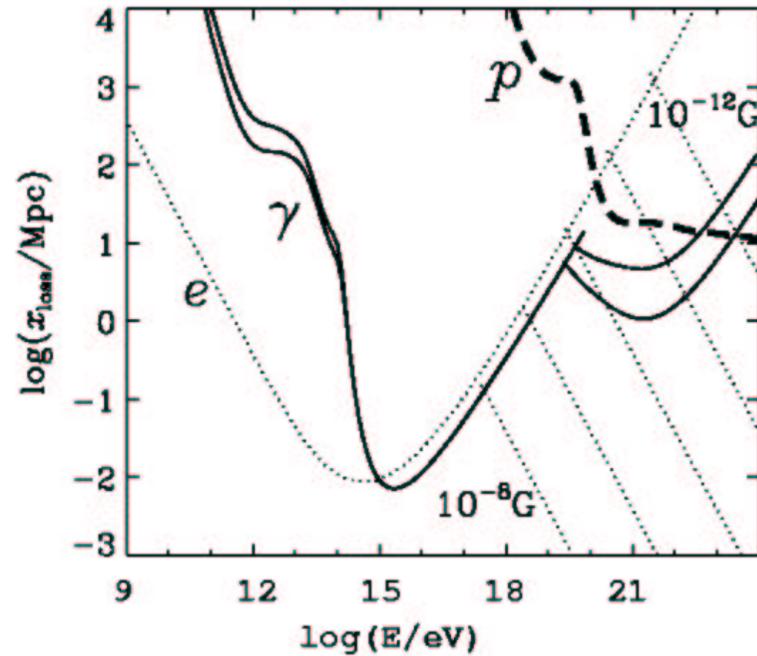
- La sezione d'urto  $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$



## Propagation through cosmic radiation

(from R.J.Protheroe)

$$x_{\text{loss}} = x_{\text{int}} / \text{mean inelasticity}$$



### Included processes:

Electrons: inverse Compton; synchrotron rad  
(for fields from pG to 10 nG)

Gammas: pair-production through IR, CMB, and  
radio backgrounds

Protons: Bethe-Heitler pair production,  
pion photoproduction

La reazione  $\gamma\gamma \rightarrow ee$  avviene alla soglia definita da

$$E_{\gamma_1} E_{\gamma_2} = 2m_e^2 \cong 0.5 \times 10^{12} \text{ eV}^2$$

La profondità ottica a 200 TeV è 1 Mpc ( $3 \times 10^{22}$  m)

Raggiungono la Terra SOLO gamma, di questa energia,  
che provengano dalla galassia e dintorni



# Transparency of the Universe

