

# Un candidato per le osservazioni: RX J1713.7-3946

Francesco Vissani

Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Gruppo Teorico

Riportiamo lo **stato della discussione** di un resto di supernova, RX J1713.7-3946, candidato ad essere osservato dai telescopi di neutrini nel Mediterraneo. Discutiamo se abbiamo un obiettivo di fisica **garantito** ed il ruolo cruciale di **altre** osservazioni complementari. Commentiamo sul senso in cui l'informazione dai neutrini è davvero **essenziale** e cosa potremmo **imparare** da essa. Cominciamo però con una (semplicissima) introduzione.

# 1 Introduzione

Una bella introduzione alla discussione che segue è l'articolo di Carlo De Marzo nel Vol. 11 di INFN - NOTIZIE (2002) sul sito web <http://www.infn.it/notiziario/not11/Art.4.pdf>

Per gli aspetti tecnici e la documentazione dettagliata dei calcoli che presento rimando a:  
Costantini, FV, *Astrop.Phys*, 2004; FV, *Astropart.Phys.*, 2006; Villante, FV, *PRD*, 2008.

Per aspetti più generali sulla astronomia dei neutrini, richiamo i miei talks in Comm.2 del Dicembre 2008 e dell'Aprile 2009, ed il lavoro di rassegna "Neutrini dallo spazio" sul *Nuovo Saggiatore* 25, no.3-4, 2009.

Ringrazio Roberto Battiston per l'invito, e Paolo Lipari per innumerevoli ed utilissime discussioni e suggerimenti.

## 1.1 I resti di supernova

Sono oggetti di primissima importanza per l'ambiente galattico, in un caso specifico, investigati da frequenze che vanno dal radio a 100 TeV (!)

Anche in assenza di modelli completi, spesso si ha una comprensione dei meccanismi che portano alla emissione di radiazione osservabile.

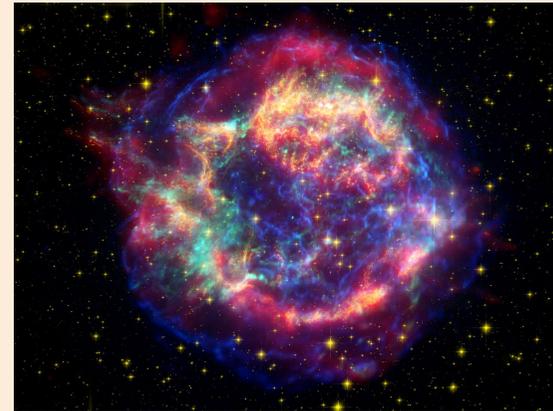
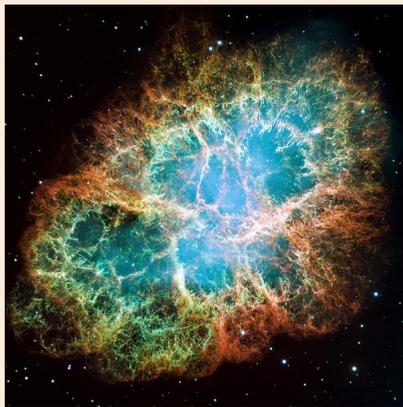


Figura 1: *La nebulosa del Granchio è un “plerione”; la stella di neutroni che è inclusa in essa rifornisce l'ambiente di  $e^\pm$ , che irradiano. Cassiopea ha invece una fisionomia a gusci (“shell”); i  $\gamma$  osservati potrebbero avere diversa origine.*

## Resti di supernova e raggi cosmici galattici

La Galassia irradia raggi cosmici; è necessario che ci siano degli acceleratori che pòmmino energia in raggi cosmici.

*Le onde d'urto ed i campi magnetici turbolenti nei resti di supernova permettono di convertire energia cinetica in raggi cosmici. Stime teoriche (con modelli semplificati) concludono che le efficienze sono molto grandi, anche maggiori del 50%.*

Inoltre, l'energia cinetica delle supernove galattiche è all'incirca un ordine di grandezza più grande di quella in raggi cosmici.

Insomma, sembra che i resti di supernova possano rifornire la Via Lattea di raggi cosmici: questa è la congettura di Ginzburg e Syrovatskii.

## 1.2 Interpretazione dei raggi gamma VHE

Per interpretare l'origine dei raggi gamma di altissima energia (VHE) da una certa sorgente astrofisica, si possono genericamente porre le:

- *Ipotesi leptonica*: i  $\gamma$  provengono da processi e.m., per esempio Compton inverso,  $e + \gamma_{\text{CMB}} \rightarrow e + \gamma$ ;
- *Ipotesi adronica*: i  $\gamma$  provengono da  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$  ed i mesoni a loro volta provengono da urti  $pp$  o  $p\gamma$ .

Nel secondo caso, i  $\gamma$  forniscono informazioni su una popolazione locale di raggi cosmici; ad esempio, quella congetturata nei resti di supernova.

*L'ipotesi leptonica è quella di riferimento; non esiste alcuna sorgente puntiforme per la quale debba essere con certezza refutata.*

## 1.3 Motivazioni per l'ipotesi adronica

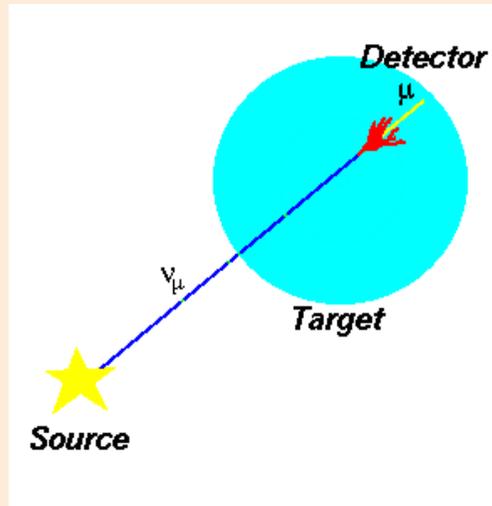
*Abbiamo comunque valide ragioni per sottoporre ad attento scrutinio l'ipotesi adronica, in particolare nei resti di supernova.*

- I resti di supernova di tipo “shell” presentano evidenti caratteristiche delle onde d'urto, che come abbiamo ricordato, molto probabilmente fungono da acceleratori di raggi cosmici.
- Se c'è della materia che funge da bersaglio, i raggi cosmici producono  $\pi^0$  (e dunque  $\gamma$ ) e  $\pi^\pm$  (e dunque  $\nu$ ). Normalmente, l'assorbimento è trascurabile.
- La situazione è favorevole 1) se l'oggetto è prossimo all'osservatore; 2) se c'è un'associazione con nubi molecolari, che aumentano i possibili bersagli.

*Tale associazione è plausibile per supernove a collasso gravitazionale; entrambi gli oggetti sono caratteristici dei siti di formazione stellare.*

## 1.4 Gamma a sud, neutrini a nord

Figura 2: Il flusso di  $\nu_\mu$  e  $\bar{\nu}_\mu$  da sorgenti cosmiche (e dall'atmosfera terrestre) induce un flusso di muoni che si propagano fino al rivelatore, e che costituiscono il segnale osservabile.



Le sorgenti galattiche (in particolare i resti di supernova) si addensano nel cielo sud. Dunque, è più probabile osservarle a sud con i gamma VHE ed a nord con i neutrini.

## 2 L'unico resto noto dal radio fino a sopra 100 TeV: RX J1713.7-3946

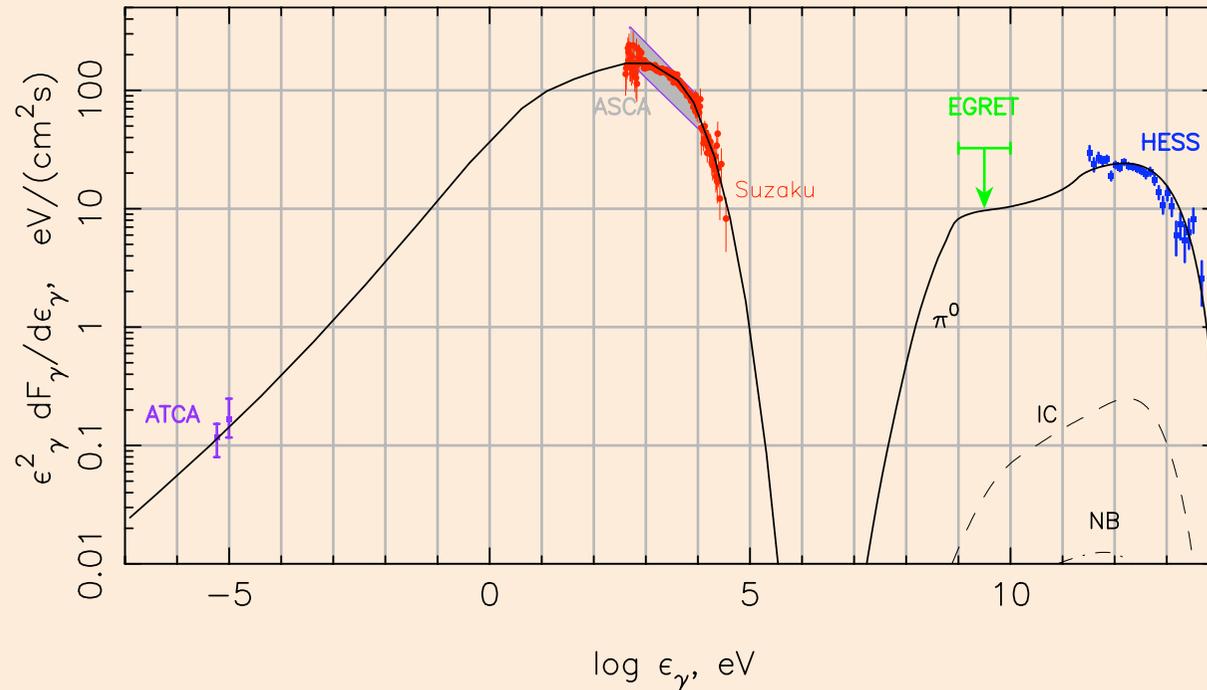


Figura 3: Osservazioni a varie lunghezze d'onda di una delle sorgenti gamma più intense nel cielo sud, RX J1713.7-3946. Radio (ATCA), X (ASCA, Suzaku);  $\gamma$  (EGRET); VHE  $\gamma$  (HESS). Compilato in Berezhko & Völk 08. L'interpretazione teorica proposta dalle varie linee continue è discussa nel seguito.

## 2.1 Discussioni recenti su RX J1713.7-3946

Negli anni recenti e sulla scorta di dati osservativi, la discussione di RX J1713.7-3946 è avanzata in vari punti:

1. sono stati ottenuti dei precisi **limiti superiori** sul flusso di neutrini da quello dei gamma, basati l'ipotesi adronica;
2. sono state avanzate **critiche** e riscontrati punti a **favore** delle ipotesi leptonica ed adronica;
3. sono stati proposti **modelli** della sorgente, che consentono di capire quale sia la giusta ipotesi per i gamma VHE.

*Tali approcci sono informati dal desiderio di discutere i neutrini, l'origine dei raggi cosmici, oppure il resto di supernova stesso. L'ultimo è quello col minor bias, ma anche quello che presenta le maggiori difficoltà.*

## 2.2 Limite superiore sui neutrini

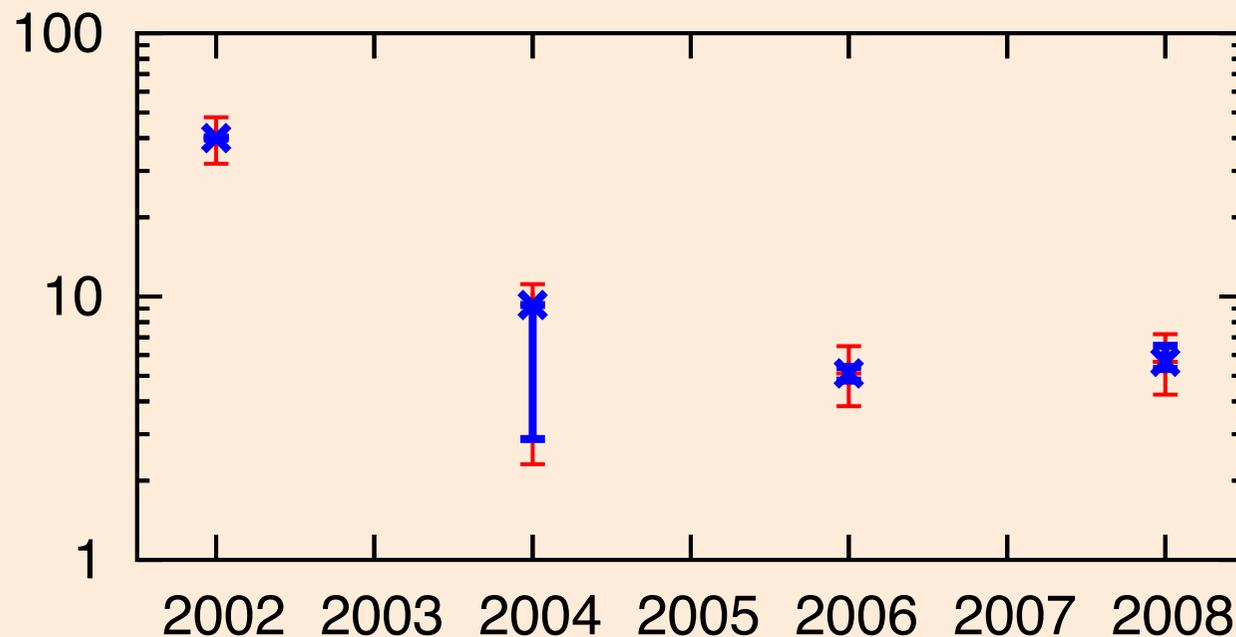
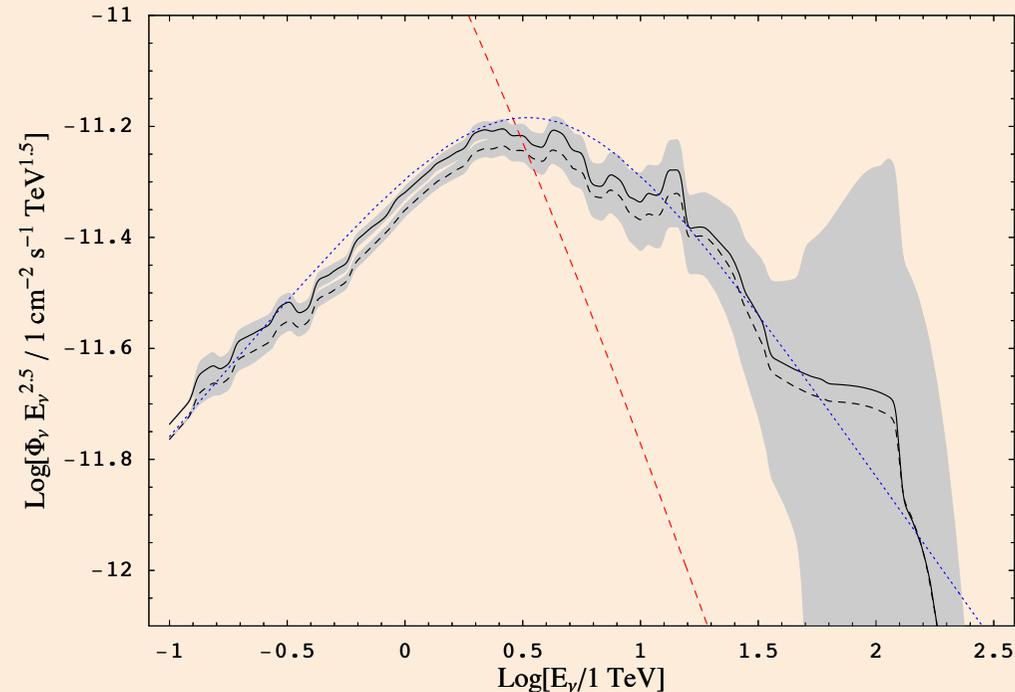


Figura 4: Evoluzione delle aspettative teoriche per RX J1713.7-3946 [assumendo](#) l'ipotesi adronica e ponendo la soglia a 50 GeV: Halzen et al 2002, LNGS 2004-2006-2008. In blu, effetto delle incertezze osservative, in rosso delle teoriche (sito di Antares).

Primo punto basato sui dati di Cangaroo; seconda include oscillazioni, assorbimento, ed effetti strumentali; terzo, lo spettro di HESS.

Figura 5: Calcolo dei flussi di  $\nu_\mu$  e  $\bar{\nu}_\mu$  da RX J1713.7-3946, **assumendo** l'origine adronica dei  $\gamma$  osservati; si noti che lo spettro devia fortemente da una legge di potenza. In rosso, stima del flusso verticale di neutrini atmosferici in un cerchio di raggio  $1^\circ$ .



L'osservazione dei neutrini di interesse sembra diventare possibile, a condizione di tagliare via quelli sotto il TeV (principalmente atmosferici).

$E_{\text{soglia}}$ (TeV)	$N_{\mu+\bar{\mu}}$	$\Delta N_{\mu+\bar{\mu}}$	$\frac{\Delta N_{\mu+\bar{\mu}}}{N_{\mu+\bar{\mu}}}$	$N_{\mu+\bar{\mu}}^{\text{Atmo}}$
0.05	5.65	0.35	0.06	20.5
0.2	4.67	0.33	0.07	6.6
<b>1</b>	<b>2.44</b>	<b>0.28</b>	<b>0.11</b>	<b>1.1</b>
5	0.57	0.17	0.30	0.1
20	0.08	0.07	0.95	0.007

Tabella 1: *Eventi di neutrino,  $N_{\mu+\bar{\mu}}$ , da SNR RX J1713.7-3946 per km<sup>2</sup> per anno calcolati con varie soglie di energia (sito di Antares). L'incertezza sul segnale,  $\Delta N_{\mu+\bar{\mu}}$ , ottenuta propagando l'errore osservativo sui gamma VHE, è piccola. Il fondo di neutrini atmosferici,  $N_{\mu+\bar{\mu}}^{\text{Atmo}}$ , è stimato dai calcoli di Lipari.*

## 2.3 Modellizzazione

In letteratura esistono vari modelli per interpretare l'emissione osservata.

1. MALKOV DIAMOND SAGDEEV 2005 – *l'emissione è adronica ed è dovuta ad una nuvola molecolare associata al resto di supernova*
2. BEREZHKO VOLK 2006 – *l'emissione è adronica ma dovuta alla materia stessa nel resto di supernova (nei gusci)*
3. ZIRAKASHVILI AHARONIAN 2009 – *possibilmente, esistono entrambi i contributi con importanze comparabili*

L'ultimo studio sembra più completo; è molto cauto verso l'ipotesi leptonica ma arguisce che l'ipotesi adronica o uno scenario misto sono i più plausibili. Ne riportiamo alcuni risultati nel seguito.

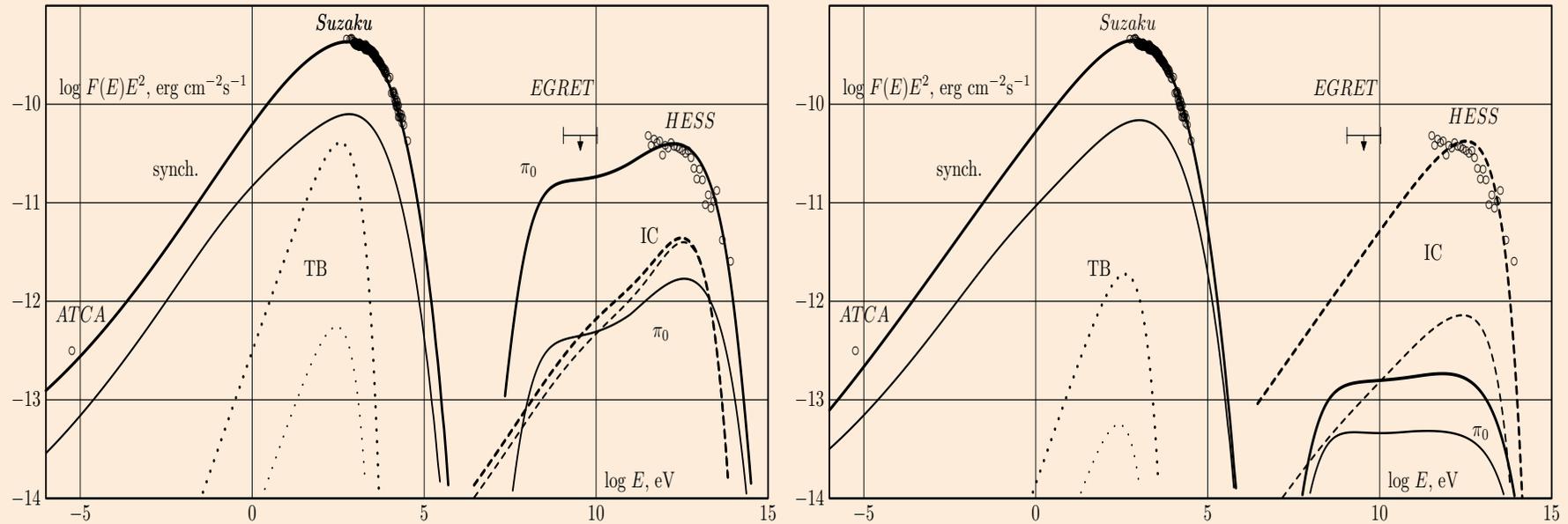


Figura 6: Interpretazione delle osservazioni di RX J1713.7-3946 tramite emissione di sincrotrone, Compton inverso e decadimento di mesoni neutri, secondo Zirakashvili e Aharonian. Sinistra, interpretazione adronica; destra, interpretazione leptonica. (Le linee spesse e sottili si riferiscono alla radiazione da forward e da reverse shock)

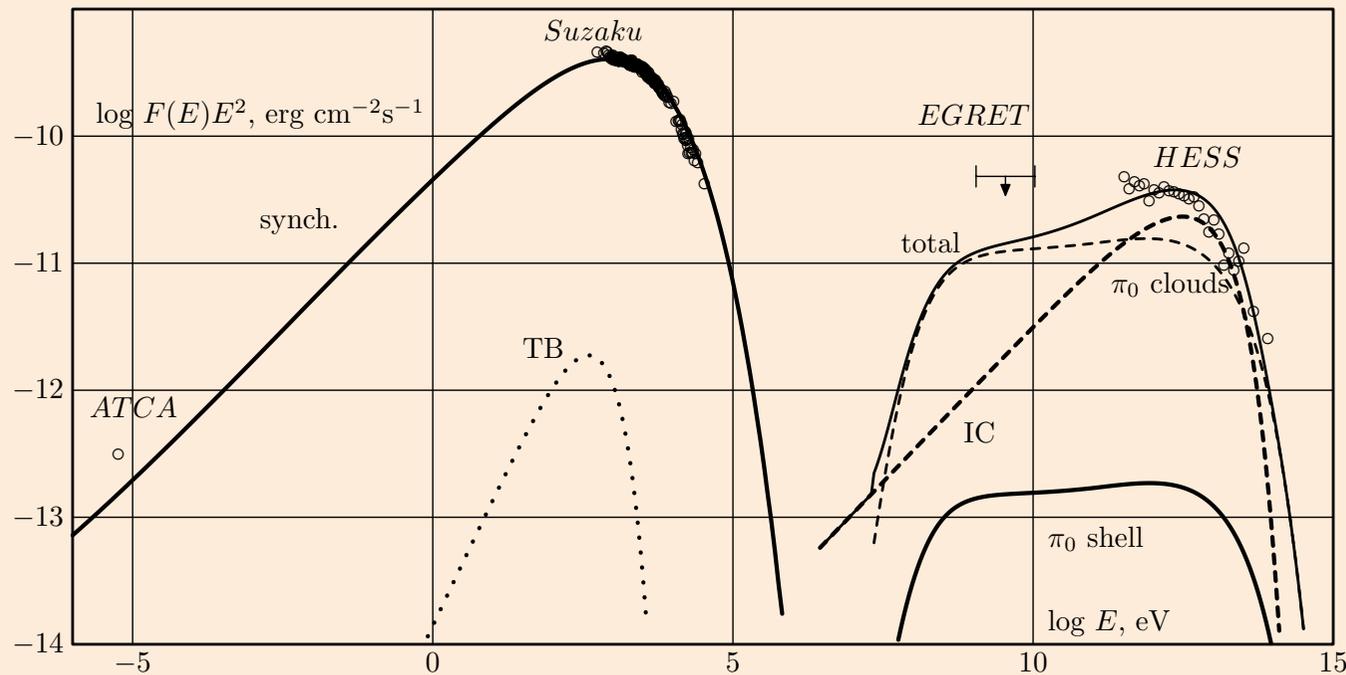


Figura 7: Come sopra, in uno scenario in cui le emissioni leptoniche ed adroniche sono comparabili. Le prime dominano l'emissione nei gusci di RX J1713.7-3946; le seconde dominano l'emissione dai siti in cui il resto di supernova interagisce con la nube molecolare ad esso associata. Si noti che sopra il TeV ( $10^{12}$  eV) il contributo adronico è presente ma non è dominante.

## Ruolo delle misure nella regione del GeV

I modelli teorici attuali predicono che l'emissione gamma sia un ordine di grandezza più intensa nel caso della emissione adronica, vedi figure precedenti.

*Purtroppo, non è impossibile che un modello più realistico della sorgente possa eventualmente suggerire che le differenze teoriche sono state sovrastimate; per un argomento in questa direzione, si veda nuovamente Zirakashvili Aharonian 2009.*

Ma resta la speranza che il quadro venga chiarito da Agile o Fermi!

## 3 Altri resti di supernova

*Per avere molti  $\nu$ , serve che 1) il resto di supernova emetta copiosamente in  $\gamma$  e 2) lo spettro sia senza cutoff fino a 100 TeV ed oltre.*

La prima condizione è certamente soddisfatta da Vela Jr e Vela X (il secondo è un plerione, ma chi lo sa per certo se l'accelerazione dei raggi cosmici è una prerogativa esclusiva delle shell?)

Quanto alla seconda, purtroppo, non è ancora noto: mancano le misure dei  $\gamma$  nella regione delle alte energie.

*Speriamo si sappia presto...*

## 4 Sommario

- la rivelazione di neutrini VHE da sorgenti cosmiche in particolare, da resti di supernova costituirebbe una importantissima impresa scientifica
- abbiamo considerato il caso meglio definito al momento – anche se non necessariamente il migliore – quello di RX J1713.7-3946
- abbiamo evidenziato alcuni legami sottesi dalla teoria tra neutrini, gamma VHE ed osservazioni multifrequenze
- l'osservazione dei neutrini metterebbe su basi solide l'ipotesi adronica; la loro misura permetterebbe di chiarire i meccanismi di accelerazione
- crediamo non sia esagerato sostenere che obiettivi *quasi* garantiti esistano ma che siano necessarie esposizioni di vari  $\text{km}^2 \times \text{anni}$
- sembra essenziale fare affermazioni affidabili sul fondo sperimentale

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	I resti di supernova . . . . .	2
1.2	Interpretazione dei raggi gamma VHE . . . . .	4
1.3	Motivazioni per l'ipotesi adronica . . . . .	5
1.4	Gamma a sud, neutrini a nord . . . . .	6
<b>2</b>	<b>L'unico resto noto dal radio fino a sopra 100 TeV: RX J1713.7-3946</b>	<b>7</b>
2.1	Discussioni recenti su RX J1713.7-3946 . . . . .	8
2.2	Limite superiore sui neutrini . . . . .	9
2.3	Modellizzazione . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Altri resti di supernova</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Sommario</b>	<b>17</b>