

# ESTUDO DA SENSIBILIDADE DE TELESCÓPIOS DE PARTÍCULAS AOS PARÂMETROS DO ESPECTRO ENERGÉTICO DE NEUTRINOS DE SUPERNOVAS



Natália do Carmo Carvalho, Ernesto Kemp  
IFGW – UNICAMP – Brasil

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Palavras-chave: Neutrinos - Supernovas - Testes de Hipótese



## 1. Introdução

## 4. Resultados e Discussão

A potência da explosão de uma supernova desperta grande interesse no meio astrofísico. Uma vez que a maior parte da energia expelida na explosão é carregada por neutrinos, estas partículas tornaram-se uma importante ferramenta na investigação dos processos físicos relacionados a esse fenômeno.

Visto que neutrinos são partículas de difícil detecção, devido à sua baixa seção de choque, detectores de grande massa vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados em busca de uma melhor compreensão das informações que estas partículas podem trazer de colapsos estelares. Trabalhou-se, em particular, com o LVD (Large Volume Detector), um experimento subterrâneo, instalado no laboratório do Gran Sasso - Itália.

Esse experimento está sujeito à diferentes fontes de interferência, desde a radiação cósmica até a própria radiação natural de suas vizinhanças. Isso gera a necessidade de um maior refinamento das análises pertinentes.

Nesse sentido, o foco da nossa discussão foi a investigação do desempenho de dois testes de hipóteses:  $\chi^2$  e *Kolmogorov-Smirnov*, em suas sensibilidades quanto a distinção e ao reconhecimento correto do espectro energético de neutrinos de supernovas esperado no LVD.

## 2. Metodologia

Foram desenvolvidos alguns programas de cálculo computacional, em linguagem C e C++ e executados no software científico ROOT.

Primeiramente esses programas deveriam simular espectros de supernovas, segundo a variação de dois parâmetros: a temperatura da neutrinosfera (T) e o parâmetro de pseudo-degenerescência ( $\eta$ ), que distingui o espectro de supernova de um espectro de corpo negro. A variação destes parâmetros determina uma variação no número de eventos no detector. Paralelamente, outros programas foram construídos com o objetivo de realizar os cálculos do  $\chi^2$  e *Kolmogorov-Smirnov*.

Com as ferramentas computacionais disponíveis, puderam-se realizar as simulações dos espectros de supernova, inserindo, inclusive, as principais flutuações estatísticas esperadas e simulando também a resolução finita em energia do LVD.

## 3. Cálculo do Número de Eventos Esperados

O principal canal de detecção do LVD é o canal  $\beta$ -inverso, cuja seção de choque é dada por:

$$\sigma_{\nu e P}(E\nu) = 94 \cdot 10^{-44} (1 + \delta_{WM}) (E\nu - \Delta_{np}) \sqrt{(E\nu - \Delta_{np})^2 - m_e^2} \text{ cm}^2 \quad (1)$$

Onde  $\delta_{WM}$  é a correção magneto-fraca,  $\Delta_{np}$  é a diferença de massa nêutron-próton;  $m_e$  a massa do elétron e  $E_\nu$  a energia do neutrino. O número de eventos esperados no LVD pode ser encontrado através de:

$$N = \frac{NT}{4\pi D^2} \int_{E_l}^{\infty} \frac{dN\nu}{dE} \sigma(E)\epsilon(E)dE \quad (2)$$

Onde  $N_\nu$  é o total de partículas alvo; D é distância Terra-supernova;  $\frac{dN\nu}{dE}$  é o número de neutrinos por intervalo de energia;  $\sigma(E)$  é a seção de choque e  $\epsilon(E)$  é a eficiência do detector.

O espectro de emissão em números de neutrinos por intervalo de energia segundo o modelo de Janka e Hillebrabdt (J&H) é:

$$\frac{dN\nu}{dE} = A \frac{E^2}{1 + e^{x+\eta}} \quad x = \frac{E}{kT} \quad (3)$$

Onde A é a constante de normalização por energia.

Através da Figura 1 podemos observar o comportamento do espectro segundo a variação dos parâmetros  $\eta$  e T.

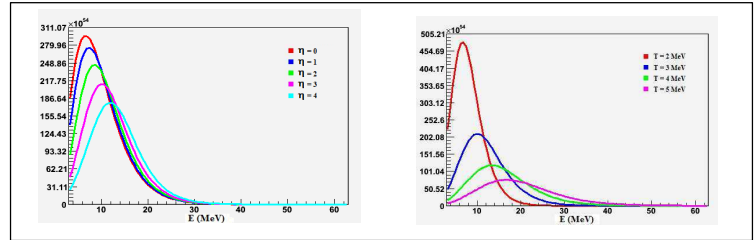


Figura 1 – (a) Espectro de energia para T = 3 MeV e  $\eta = 0, 1, 2, 3$  e 4. (b) Espectro de energia para  $\eta = 3$  e T = 2, 3, 4 e 5 MeV.

Os resultados para o teste  $\chi^2$  são apresentados na Figura 2:

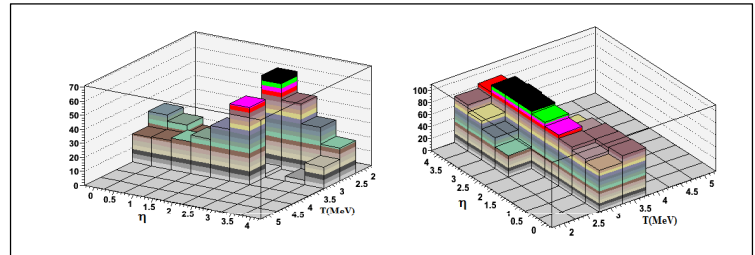


Figura 2 – (a) Valores de  $\chi^2$  para os pares ( $\eta, T$ ) aprovados pelo teste. (b)  $(100 - \chi^2)$  - Os picos correspondem aos pares com maior nível de aceitação. (Par verdadeiro  $\eta=3$  e T=3).

Os resultados para o teste *Kolmogorov-Smirnov* são apresentados na Figura 3:

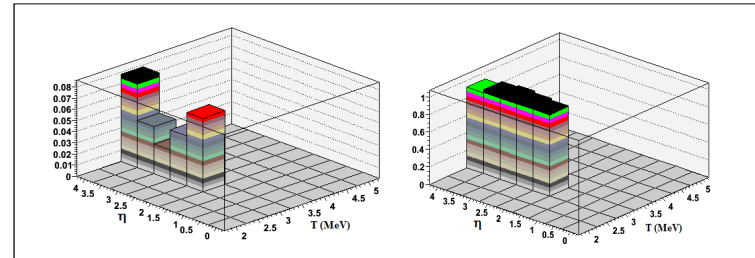


Figura 3 – (a) Valores de maior distância para os pares ( $\eta, T$ ) aprovados pelo teste. (b)  $(1 - Dn)$  - As “torres” mais altas correspondem aos pares com maior nível de aceitação. (Par verdadeiro  $\eta=3$  e T=3).

## 5. Conclusão

A princípio, é fácil verificar que o teste *Kolmogorov-Smirnov* demonstra uma sensibilidade bem maior que o teste  $\chi^2$  diante da comparação entre os espectros, isto porque ele é mais rigoroso na aprovação de uma hipótese. O teste  $\chi^2$ , contudo aceita um conjunto maior de pares ( $\eta, T$ ), o que diminui a chance de descartar a hipótese verdadeira (erro tipo 1). Todavia, este teste não é suficientemente preciso e aceita muitas hipóteses falsas (erro do tipo 2). Em contrapartida, o teste *Kolmogorov-Smirnov* apesar de não cometer com frequência erros do tipo 2, admitiu uma quantidade razoável de erros do tipo 1.

## 6. Referências

1. E. Kemp, “Caracterização da emissão de neutrinos de supernovas com o experimento LVD”, tese de doutorado – IFGW (2000).
2. Morris H. DeGroot, “Probability and Statistics”, 2ª ed., Addison-Wesley Publishing Company, (1989).
3. Hoel, P.G., “Estatística Matemática”, 4ª ed., editora Guanabara Dois, (1980).