

Análise Tsalliana de Séries Temporais de Raios-X Advindas de Sistemas Astrofísicos Binários com Emissão de Raios-X

Melina Silva de Lima* (Doutoranda MCTI), melinas_l_mel@hotmail.com

Marcelo A. Moret (PQ). (Orientador) mamoret@gmail.com

Faculdade SENAI CIMATEC

Palavras Chave: XRBS, Equação de Fokker-Planck, Mecânica Estatística de Tsallis, q-Gaussiana.

Introdução

Alguns sistemas estelares astrofísicos apresentam forte acoplamento gravitacional entre seus elementos, os quais orbitam um mesmo centro de massa e são denominados de sistemas estelares binários. Alguns destes emitem raios-X, devido a autogravidade do sistema, proporcionando um cenário singular em que os raios-X decorrem de processos difusivos oriundos de partículas atômicas que são submetidas ao seu campo gravitacional (MORET et al, 2010).

Objetiva-se assim a modelagem do processo difusivo de raios-X em sistemas binários estelares e utiliza-se uma metodologia lastreada na revisão de literatura em conjunto com os dados de campo coletados pelo satélite Rossi X-ray timing Explorer",

A análise das séries espectrais de raios-X de sistemas binários astrofísicos, coletados pelo satélite Rossi X-ray timing Explorer", bem como a modelagem dos dados, nos permite identificar que trata-se de uma lei de potência para o comportamento nesta região.

O desenvolvimento da pesquisa iniciou-se com uma revisão de literatura sobre a fenomenologia observada na teoria e nas observações dos sistemas astrofísicos binários, seus conceitos fundamentais, definições e funções de comportamento conhecidas. Posteriormente procedeu-se o estudo da base matemática da sua regência para que, em confronto com os registros das séries com os dados dos raios-X emitidos pelos mesmos sistemas pudéssemos focar nos sistemas binários com emissão de raios-X (XRBS).

Resultados e Discussão

Na Figura 1, mostramos um exemplo de uma curva de uma XRBS, cujos resultados modelados mostram uma q-gaussiana e uma gaussiana como curvas de melhor ajuste aos pontos. Percebe-se claramente um melhor ajuste à q-gaussiana, demonstrando seu caráter tsalliano. Com isto modelamos os dados determinando valores específicos para o parâmetro q , determinado nesta pesquisa.

Foram analisadas 142 XRBS para este estudo.

Do ponto de vista inerentemente matemático, a mecânica estatística de Tsallis substitui o comportamento exponencial por uma lei de potência

na função entrópica e na distribuição de probabilidades.

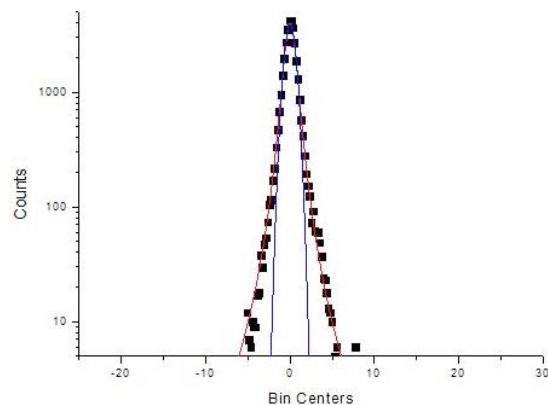


Figura 1. Curva de emissão de raios-X ajustada: resultados modelados para o XRBS xtej1720-318_562 (em azul) para uma q-gaussiana e vermelho para uma distribuição Gaussiana.

A Figura 1 mostra duas curvas, a q-gaussiana (azul) e a gaussiana (vermelho) ajustadas aos valores de emissão de raios-X de uma XRBS do tipo LM + BHC, com parâmetros $q=1,55751\pm 0,01$, $k=2,05363\pm 0,01$ e $A=4288,27\pm 8,69$. Pela análise de variância (ANOVA)¹, $F_{\text{value}}=140297$ com $\text{Prob}>F = 0$. Em todas as nossas análises, a q-gaussiana mostrou-se melhor ajustável aos pontos. Por outro lado, a gaussiana não se ajustou tão bem, como podemos ver a partir da figura e pela análise ANOVA.

Conclusões

A entropia termodinâmica de Boltzman e Gibbs é considerada apropriada apenas sob estritas condições, tais como homogeneidade, interações de curto alcance entre os elementos do sistema e em um contexto ergódico, que costumam ser caracterizados matematicamente e computacionalmente por meio de equações lineares e distribuições estacionárias gaussianas (Ribeiro, 2012).

Nos sistemas cujos elementos são fortemente correlacionados, a entropia tsalliana (sempre não-

¹ A Análise de Variância (ANOVA) é um procedimento utilizado para comparar três ou mais tratamentos. Existem muitas variações da ANOVA devido aos diferentes tipos de experimentos que podem ser realizados.

aditiva), torna-se não-aditiva para um valor apropriado do parâmetro q , denominado de índice entrópico. Sistemas que apresentam estados estacionários, ou quase-estacionários, que não são consistentemente descritos pela estatística de *Boltzmann*, são não-aditivos. Eles são normalmente melhor caracterizados por correlações de longo alcance, espaciais e temporais; processos não-markovianos; equações não-lineares e distribuições não-gaussianas, como é o caso do objeto de estudo de nossa pesquisa, as XRBS. Neste caso estes sistemas são não-extensivos, pois as grandezas termodinâmicas se comportam dessa maneira, como pudemos verificar.

A partir das análises feitas, bem como a consulta às referências principais que tratam do tema, pretendemos sugerir um modelo matemático que trate da difusão destas ondas eletromagnéticas nos arredores dos respectivos pares binário com a proposta de modelagem baseada na equação de Fokker-Planck, inserida no modelo da Mecânica Estatística tsalliana (TSALLIS, 1988).

Agradecimentos

Agradecemos ao SENAI/CIMATEC por nos proporcionar desenvolver trabalhos nesta linha de pesquisa.

Referências

- Agostini, D.D.O. Soares-Pinto, M.A. Moret, C. Osthoff, P.G. Pascutti, J. Comput. Chem. 27 (2006) 1142. Author's personal copy 858
- Giacconi, R., Gursky, H., Paolini, F. R., & Rossi, B. B. (1962). Evidence for X-rays from sources outside the solar system. *Physical Review Letters*, 9, 439–443.
- Jr Rosa, J.C.O., J.C.O de Jesus., M.A. Moret., *Nonextensivity and entropy of astrophysical sources*. Physica A 392 (2013) 6079-6083.
- Madejsky, Rainer Karl (2014). *Curso de Astrofísica e Cosmologia. 1 – O sistema solar, as estrelas e a Via Láctea*. Feira de Santana, BA.
- Moret, Marcelo A. et al (2010). *X-ray Binary Systems and*
- M.A. Moret, P.G. Pascutti, K.C. Mundim, P.M. Bisch, E. Nogueira, Phys. Rev. E 63 (2001) 020901(R);
- M.A. Moret, P.M. Bisch, K.C. Mundim, P.G. Pascutti, Biophys. J. 82 (2002) 1123; F.P.
- M.A. Moret et al. / Physica A 389 (2010) 854–858.
- Nonextensivity*. Physica A 389 (2010) 854–858.
- Osorio, Yesson Fabian M. (2009). *Determinação do Período Orbital de Sistemas Binários Eclipsantes*, Dissertação de Mestrado, IF/UFRN, Natal.
- Ribeiro, Maurício de Souza. *Estudo de Equações de Fokker-Planck Não-lineares e Aplicações*. Dissertação de Mestrado, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, RJ, 2012.
- Skipper, Chris. (2015) “*Fast Spectral Variability in the X-ray Emission of Accreting Black Holes*”, Doutoral Thesis, University Southampton, UK.
- Tsallis, Constantino. (1988) “*Possible generalization of Boltzmann-Gibbs entropy*”, J. Stat. Phys, 52,479.