

Métodos de Estimativa de Causalidade em Séries Temporais Aplicação ao LMXB 4U 1636–53

Marcio G B de Avellar (ITA), Lucas Massaroppe (IAG)

Uma das principais motivações para o estudo de binárias de raios-X é que a acreção sobre estrelas de nêutrons e buracos negros fornece uma janela única para a física do movimento no regime de fortes campos gravitacionais e da matéria densa. A relatividade geral, enquanto testada e confirmada com precisão em campos fracos ($GM/R \ll c^2$), ainda não foi testada pela observação direta do movimento de partículas no forte campo gravitacional próximo a objetos compactos dentro de alguns raios de Schwarzschild, $\simeq 3 M/M_\odot$ km, do objeto compacto.

Dado que as velocidades características nos arredores desse são da ordem $(GM/R)^{1/2} \simeq 0,5 c$, a escala de tempo dinâmico, dada por $(r^3/GM)^{1/2}$, é curta: $\sim 0,1$ ms a ~ 15 km e ~ 2 ms a 10^2 km de uma estrela de nêutrons de $1,4 M_\odot$. Essa escala de variabilidade é codificada na curva de luz em raios-X e deve-se, fundamentalmente, aos movimentos das inhomogeneidades através e com o fluxo.

As rápidas variações que diagnosticam o fluxo de acreção são estocásticas e, mais eficientemente, tratadas com técnicas estatísticas, sendo a análise de Fourier a ferramenta mais utilizada. Assim, várias componentes de variabilidade formam o espectro de potências e uma aperiódica, por definição, abrange geralmente muitos elementos de resolução de frequência. Estruturas em banda larga são chamadas de ruído e em banda estreitas são as oscilações quasi-periódicas (Quasi-Periodic Oscillations — QPOs).

As oscilações quasi-periódicas na faixa de quilo Hertz (kHz), as mais altas conhecidas, denominadas kHz QPOs, são as ferramentas usadas para o diagnóstico tanto da Relatividade Geral, quanto da física da matéria densa e são nosso foco.

Foi demonstrado que as frequências das QPOs detectadas correlacionam-se entre si, formando padrões específicos para determinada classe de fontes, como as Atoll, a qual a fonte de estudo deste trabalho, 4U 1636–53, pertence. Muitas tentativas foram feitas de se explicar esses padrões com variados graus de sucesso.

No entanto, não há registros na literatura de um estudo estatístico de estimativa de causalidade entre esses padrões espectrais. Neste estudo aplicamos a técnica da Coerência Parcial Direcionada (Partial Directed Coherence — PDC) para se estimar a influência entre as duas kHz QPOs.

A PDC é uma abordagem quantitativa usada para avaliar a influência mútua entre séries temporais múltiplas e simultâneas, especialmente no domínio da frequência. Através de modelagem conjunta e paramétrica de dados observados das kHz QPOs de baixa e alta energia e uso do comportamento assintótico dos estimadores frequenciais é possível inferir-se o sentido do fluxo de informação entre as oscilações quasi-periódicas que, no caso, é unidirecional, ou seja, o mecanismo de geração de kHz QPOs em bandas de alta energia está acoplado a geração de kHz QPOs em bandas de baixa energia.

Assim demonstra-se que essa técnica é promissora à elucidação de modelos para o mecanismo que gera as kHz QPOs, especificamente, e as QPOs de maneira geral.