

ESTUDO DA VARIAÇÃO DOS INSTANTES DE ECLIPSE DO SISTEMA BINÁRIO SDSSJ03038+005444 E SISTEMA PLANETÁRIO WASP-4

Ayssi do Carmo Oliveira¹ e Marildo Geraldete Pereira².

1. Bolsista PIBIC/FAPESB, Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: ayssiessdocarmo@gmail.com

2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marildogp@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: binárias eclipsantes, efeito tempo luz, exoplanetas.

INTRODUÇÃO

O estudo sobre as variações do período orbital de sistemas binários eclipsantes e sistemas planetários proveem importantes como estrutura interna das estrelas, teste da teoria da relatividade geral, o problema de três corpos, transferência de matéria entre as componentes e ciclo de atividade magnética nas estrelas. A técnica de trânsito consiste na observação de eclipses do planeta sobre a estrela hospedeira ou dos eclipses entre as estrelas no caso do sistema binário eclipsante. A observação destes eclipses e a determinação de sua estrutura bem como a determinação precisa de suas efemérides permitem aferir se há outros corpos planetários ligado gravitacionalmente ao sistema. Para o sistema planetário, variações no período orbital indicam a presença de um segundo planeta no sistema perturbando a órbita do primeiro.

METODOLOGIA

Neste projeto, nós propomos a análise de uma amostra de sistemas binários compactos e eclipsantes, para os quais já existem dados disponíveis na literatura, em bancos de dados públicos e que foram observados pelo nosso grupo em anos anteriores, com o objetivo de medir os instantes do eclipse primário e investigar a(s) causa(s) das variações no período orbital desses sistemas. Para os dados brutos foi utilizada uma rotina IRAF (www.iraf.net) que realiza a operação de divisão por "flat-field", subtração de "bias" e fotometria diferencial automaticamente. O resultado principal desse trabalho (o instante do eclipse primário) é obtido a partir da fotometria diferencial. Nosso grupo tem uma ferramenta que utiliza o código desenvolvido por [9] junto com o algoritmo genético Pikaia [10] e com o procedimento de Monte Carlo com cadeia de Markov (MCMC) [11] para obter a melhor solução e o erro na medida da época do eclipse primário. O diagrama (O-C) é construído a partir do ajuste de uma efeméride linear aos instantes do eclipse primário. Neste diagrama é possível analisar se o sistema em estudo apresenta alguma variação periódica que poderia ser atribuída à perturbações externas. Assim, no caso de uma sinal positivo, a equação do efeito tempo-luz apresentada em [1] será ajustada aos dados do diagrama (O-C) usando um procedimento de MCMC. Desta última análise é possível ter acesso aos principais parâmetros do(s) corpo(s) externo(s), tais como: massa, período, época, separação entre o corpo externo e o sistema binário, etc.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira parte do projeto contempla o estudo do sistema binário SDSS J030308+005444 (daqui em diante chamado de SDSS J0303+00). Ele é constituído por uma anã branca e por uma anã vermelha com massa total de 0,8 massa solar em uma órbita cerrada de 3,2 horas. Observações foram feitas entre Novembro de 2010 e Agosto de 2013 no OPD/ LNA usando uma câmera CCD acoplada aos telescópios de 1,6-m e 0,6-m. Em posse das primeiras observações, deu-se início a redução dos dados. Foram utilizadas rotinas do programa IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) que consiste da subtração de uma imagem de bias combinada e da divisão da imagem resultante por uma imagem de flatfield normalizada.

Em seguida foi usada uma rotina que realiza a fotometria diferencial do alvo com relação a um objeto constante do campo se obtendo a conhecida com curva de luz. Para medir o instante do meio do eclipse primário, foram feitos ajustes das curvas de luz por meio do código desenvolvido por

Wilson & Deviny (1971) com o procedimento de Monte Carlo com cadeia de Markov (MCMC) para obter a melhor solução e o erro na medida da época do eclipse primário. O ajuste é feito conforme Fig. 1. Parâmetros iniciais são necessários para esse programa de ajuste, dos quais foram retirados de Pyrzas et al. (2008). Os ajuste das curvas de luz dos tempos de meio eclipse são então obtido com precisão da ordem de décimos segundos. A esses instantes são adicionados outras medidas encontradas nos artigos Pyrzas et al (2009), Parsons et al. (2010) e Backhaus et al. (2012). Uma efeméride linear é ajustada a todos os instantes do meio do eclipse de acordo com a seguinte equação: $T_{min} = T_0 + E \times P_{bin}$ (1) onde T_0 é o tempo mínimo, E o número do ciclo e P_{bin} o período orbital da binária. A partir daqui então é calculada uma diferença em valores observados (O) e valores calculados (C) sendo possível construir o diagrama ($O-C$). Assumindo que essa variação seja produzida pela interação gravitacional com uma terceira componente no sistema, a seguinte equação será utilizada para ajustar os instantes do meio do eclipse de SDSS J0303+00.

$T_{min} = T_0 + E \times P_{bin} + \tau_3$ (2) onde, $\tau_3 = z_3 / c = K_3 \cdot [(1-e_3^2) \cdot \text{sen}(f_3 + \omega_3) / (1 + e_3) \cdot (f_3)]$ (3) é o efeito tempo-luz. Na última equação, $K_3 = a_3 \cdot \sin I_3 / c$ e a_3 semi-amplitude, e_3 e a excentricidade, ω_3 e o argumento do periastro e f_3 e a anomalia verdadeira.

Esses parâmetros são relativos a órbita do centro de massa da binária interna ao redor do centro de massa comum do sistema triplo, que é composto pela binária interna e pelo terceiro corpo. Os parâmetros a_3 , I_3 , e c na equação da semi-amplitude são o semi-eixo maior, a inclinação e a velocidade da luz, respectivamente. O procedimento do ajuste do diagrama ($O-C$) usa o algoritmo Pikaia (Charbonneau 1995) para procurar pela solução global e, em seguida, um procedimento MCMC para amostrar os parâmetros da Eq. 2 em torno da solução global. O diagrama ($O-C$) do objeto SDSS J0303+00 é representado pela Fig2.

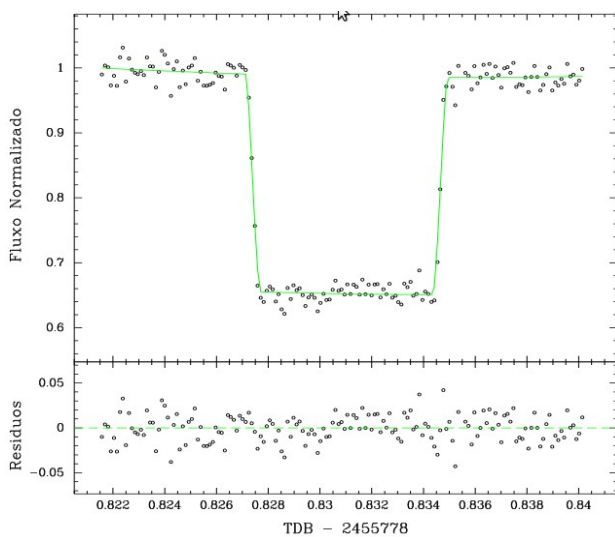


Figura 1: Painel superior: Curva de luz do eclipse primário de SDSS J0303+00 observado em 04/08/11, sobreposto pelo modelo ajustado. Painel inferior: Os resíduos obtidos a partir do ajuste.

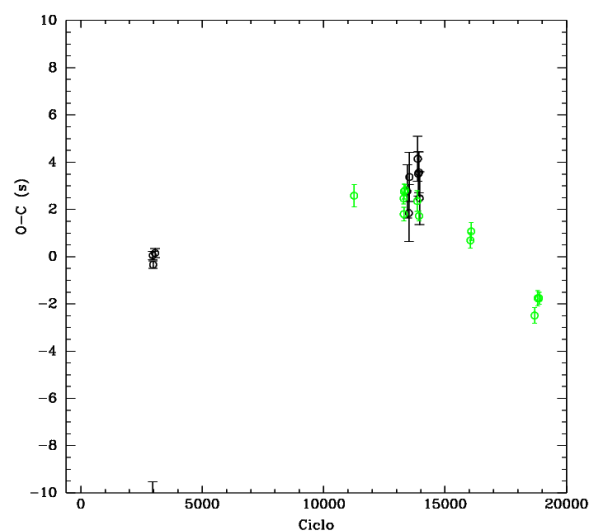


Figura 2: Diagrama ($O-C$) dos instantes do meio do eclipse primário de SDSS 0303+00. Os círculos pretos e verdes são os dados coletados da literatura e nossas medidas respectivamente.

O segundo sistema analisado foi o WASP-4. Ele é composto por uma estrela de tipo espectral G7V e um planeta tipo Júpiter com período orbital de 1,34 dias (Wilson et al., 2008). A intenção aqui é identificar a presença de um segundo planeta que estaria perturbando a órbita do primeiro (Wasp-4b) como foi proposto por Leonardo, Jablonski & Pereira (2012). Para isso foi testado os trânsitos planetários em uma ferramenta específica: o Pacote de Análise de Trânsito (TAP – Transit Analysis Package) (Gazak et al., 2012).

Este pacote de análise, utiliza uma linguagem de descrição de interface chamada IDL e usa a técnica MCMC (Monte Carlo e Cadeia de Markov) para ajustar curvas de luz de trânsitos utilizando o modelo analítico de Mandel e Agol (2002). O pacote incorpora a utilização de função de verossimilhança baseada em wavelet (Carter & Winn, 2009), a qual permite ao MCMC parâmetros

incertezas mais robustamente que o tradicional método χ^2 , como Fig. 2. Neste trabalho serão apresentados os procedimentos e valores obtidos de instantes de trânsito com o TAP, sendo as medidas de erros destes instantes comparadas com os valores usuais encontrados na literatura.

A redução dos dados foi feita utilizando observações fotométricas no infravermelho obtidas no OPD/LNA. As imagens tiveram tratamento como subtração de bias e normalização flat-field. As análises realizadas neste trabalho visam determinar principalmente os instantes do centro dos trânsitos (Mid Transit), e para isso foram realizadas simulações com várias configurações em busca da obtenção da redução do erro associado com as medidas de centro de trânsito. Porém os valores dos instantes de centro de trânsito, mostrados na Tab. 2, são compatíveis com os valores obtidos com outros métodos, como Wilson-Devinney por exemplo (Kallrath, et al., 1998). Porém os valores dos erros associados σ_T são maiores que 50% em relação ao q fora publicado por Nikolov et al. 2012.

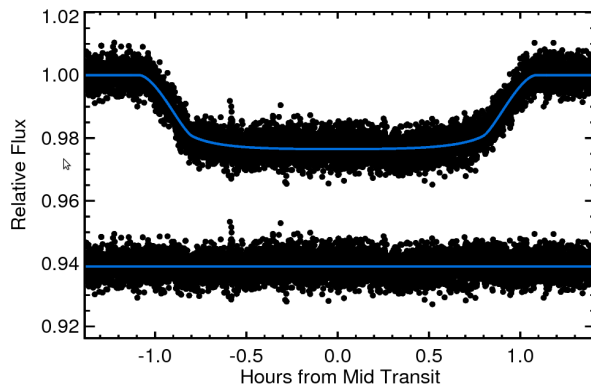


Figura3: Curva de luz do dia 05 Outubro de 2008 com ajuste gerado pelo TAP.

Data	σ
05Out2008	4744,63132 +0,00013 -0,00012
09Out2008	4748,64731 +0,00013 -0,00014
13Out2008	4752,66160 +0,00021 -0,00020
21Out2008	4760,69172 +0,00019 -0,00019
29Out2008	4768,72177 +0,00019 -0,00017
08Out2009	5112,6486 +0,0041 -0,0037

Tabela 2: Relação entre o número de cadeias e σ .

CONCLUSÃO

Para o objeto SDSS J0303+00 apresentou uma variações de instante de eclipse próxima a 2,5s como se pode ver na fig.2. Efeitos desse tipo devem ser gerados pela presença de um terceiro corpo atrelado ao sistema. O mecanismo Applegate não seria aplicado a esse tipo de sistema binário já que se trataria de uma estrela de baixa massa e a energia requerida por esse mecanismo é muito maior que a energia radiativa da estrela (como por exemplo Qian et al. 2011). Para o sistema WASP-4 foram realizadas várias simulações variando o número de cadeias em busca da redução do erro. Porém, de acordo com a Tab.2 o erro diminuiu de uma forma sutil não atingido valores esperados.

REFERÊNCIAS:

- [1] Irwin J. B., 1952, ApJ, 116, 211
- [2] Applegate, J. H., 1992, ApJ, 385, 621
- [3] Borges, B., et al. 2008, A&A, v. 480.
- [4] Beuermann, K., et al. 2010, A&A, 521, 60B
- [5] Qian, S. -B. et al. 2010, ApJ, 708L, 66Q
- [6] Qian, S. -B. et al. 2010, MNRAS, 401L,
- [7] Parsons, S. G. et al., 2010, MNRAS, 407
- [8] Almeida, L. A., Jablonski, F., IAUS, 276,
- [9] Wilson, R. E. and Devinney, E. J., 1971, ApJ, 166, 605
- [10] Charbonneau, P., 1995, ApJS, 101, 309
- [11] Gilks W. R., Richardson S., Spiegelhalter D. J. E., 1996, Markov Chain Monte Carlo in Practice, Chapman & Hall, London
- [12] Pyrzas, S. et al., 2009, MNRAS, 394, 978
- [13] Almeida, L. A. et al., 2012, MNRAS.
- [14] Wilson, D.M. et al. 2008 AAS, 675, L113
- [15] Anderson, D. R. et al 2008, MNRASL, 387.
- [16] Gazak, J. Z. et al., Advances in Astronomy, Vol. 2012, Article ID 697967.
- [17] Eastman, J., Gaudi, B. S.; Agol, E., Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 125(923), 83-112, 2013.
- [18] Carter, J. A. & Winn, Ap.J., 704, 2009.