مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۹- شماره ۱ - سال ۱۴۰۳

www.ElitesJournal.ir

بررسی تاریخچه و رسم منحنیO-C متغیرگرفتی TU Boo

علیرضا رحیمی

کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، رصدخانه انجمن نجوم هلال نو زرقان، فارس، ایران

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران

Sme.a.rahimi@gmail.com

ارسال: بهمن ماه ۱۴۰۲ پذیرش: فروردین ماه ۱۴۰۳

چکیده

دوتاییهای گرفتی نقشی اساسی در پژوهش های مدرن اخترفیزیکی ایفا می کنند. TU BOO یک متغیر گرفتی با رفتاری مبهم است که هدف این مقاله بیان نتایج و بررسی مقالات گذشته در خصوص آن می‌باشد. این ستاره دارای تغییرات زیاد در دوره تناوب، نرخ انتقال حرارت و پایداری حرارتی است که همه این عوامل باعث ایجاد آشفتگی در سیستم ستاره ای شده و ارزش علمی کار بر روی این ستاره را افزایش می‌دهد. جمع آوری مقالات از منابع مختلف و بررسی آنها نشان می‌دهدکه تاکنون مدلسازی های مختلفی جهت تعیین رفتار مبهم این ستاره ارائه شده است. با بررسی مدل های ارائه شده مشخص میشودکه احتمالا این ستاره دارای نرخ انتقال جرم بالا و لکه در سیستمش باشد. با توجه به دوره تناوب کوتاه مدت این ستاره، داده برداری کامل و بررسی منحنی نوری طی چند شب امکان‌پذیر است. در ادامه ستارگان مقایسه، مرجع و فیلترهای مناسب رصد این متغیر تعیین شده است و منحنی O-C ستاره از جدیدترین مقالات و داده برداری ها محاسبه و بررسی شده است.

واژگان کلیدی: ستارگان متغیر، دوتایی‌گرفتی، اخترفیزیک، دوره تناوب، منحنی نوری.

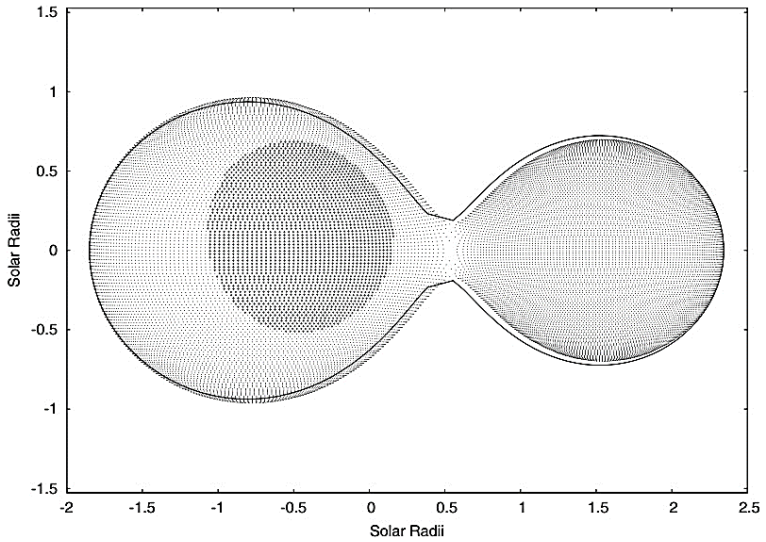
۱– مقدمه

ستاره متغیرTU Boo با تغییرات قدر۱۱/۸+ تا۱۲/۵+ در فیلتر مرئی، یک دوتایی گرفتی با دوره تناوب کوتاه۰/۳۲۴ روز است که نخستین بار در سال۱۹۲۶ توسط گاتنیک به عنوان متغیر گرفتی کشف شد[۱]. در سال۱۹۴۷ توسط شوآسمن و همکارش، گونه طیفی این ستاره از نوع G3 تعیین شده است[۲]. بررسی و تحلیل زمان‌های کمینه در مطالعات انجام شده، تغییرات تناوبی پریود مداری سیستم را نشان می-دهد که علت آن‌را می‌توان مرتبط با فعالیت های مغناطیسی ستاره و یا احتمال وجود عضو سوم دانست و در برخی مقالات انتقال جرم بین همدم ها نیز محاسبه شده است[۳].

۱–۱– پیشینه پژوهش

علی‌رغم اینکه حدود صد سال از کشف این ستاره متغیر می‌گذرد، تحقیقات کمی بر روی آن صورت گرفته است. برای نخستین بار، نیارکوس و همکارانش در سال۱۹۹۶ این ستاره را مدل سازی کرده و راه حل فوق تماسی را برای سیستم ارائه کردند[۴]. آنها برای حل مشکل ناهنجاری در منحنی نوری و اثر O'Connell مشاهده شده، مدلسازی را بر اساس دو فرض کلی بدون لکه و با لکه انجام دادند که در مدلسازی لکه ای سازگاری بیشتری حاصل شد. از آنجا که در راه حل های مبتنی بر لکه ممکن است مدل های ترکیبی مختلف دیگری نیز به خوبی با نتایج سازگار شوند[۶-۵]، نیارکوس از ساده ترین مدل ممکن دارای مفهوم فیزیکی استفاده

کرد که شامل یک لکه سرد روی ستاره اصلی و یک لکه گرم روی نزدیکی گلوگاه ستاره دوم بود. آنها این ستاره را جز گروهA دسته بندی کردند اما توجه داشتند که این ستاره بسیاری از ویژگی‌های رایج ستارگانW دب اکبر مانند نسبت جرم متوسط، چگالی بالا، دوره تناوب کوتاه و ناهنجاری منحنی نوری را نیز دارد[۴]. در سال۲۰۰۷ اقای جی‌وولی و همکارانش برای اولین بار به مطالعه فتومتریکی این ستاره بر اساس تمام داده های موجود تا آن زمان و رصدهای خودشان اقدام کردند. بهترین سازگاری در مدلی حاصل شد که یک لکه گرم و یک لکه سرد هر دو روی عضو دوم قرار داشت. نتایج بدست آمده از منحنی نوری جدید نشان می داد که این ستاره یک دوتایی به هم چسبیده با گرفت کامل و از زیر مجموعه A و با یک اختلاف دمای کم ۶۳ درجه ای می‌باشد[۷]. آنها همچنین نرخ کاهش مداومی را در دوره تناوب ستاره بصورت محاسبه کردند که احتمالا ناشی از انتقال جرم بصورت حرارتی از ستاره اصلی پرجرمتر به سمت عضو دوم سردتر می‌باشد[۷]. در سال۲۰۰۸ آقای کاگلین و همکارانش مدلسازی داده هایشان را با استفاده از نرم افزار PHOBE [8] انجام دادند که مدل شامل یک لکه گرم روی عضو دوم بهترین سازگاری را با نمودار منحنی نوری داشت که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل سه بعدی TU Boo در فاز۰,۲۵ که لکه بصورت یک لکه گرم با۱۳۰ درجه کلوین پایین تر از دمای سطح نشان داده شده است. خط توپر خروجی مدل۱۹۸٤ است که افزایش اندازه ستاره دوم را در طول دوره نشان می‌دهد.

آنها همچنین رابطه‌ای بین تغییرات اندازه عضو دوم با ناهماهنگی های موجود در منحنی نوری یافتند و مشخص شد که عامل آن یک انتقال جرم سریع در مقیاس بزرگ بین دو عضو است که اثر متقابل این انتقال جرم به سیستم اجازه می‌دهد که با وجود نیمه تماسی بودن، دمای سطحشان را تقریبا مساوی نگه دارند[۳]. رفتار دوگانه این ستاره متغیر و داشتن برخی ویژگی های مشترک با هر دو زیر مجموعهA وW دب اکبری باعث شده است که تعیین دقیق دسته بندی آن هنوز با ابهام مواجه باشد، بگونه ای که حتی در روشی که توسط آواکوموا و همکارش در سال ۲۰۱۴ تدوین شد و موجب طبقه بندی موفق ۴۷۰۰ ستاره دوتایی بدون طبقه شد، گروه این ستاره همچنان به عنوان uncertain معرفی شده است[۹].

با بررسی منابع معتبر بین المللی، مشاهده می شود که در سال های اخیرتحقیقات بسیار کمتری مستقیما به مدل سازی رفتار و بررسی داده های رصدی این ستاره پرداخته اند. جدیدترین تحقیقی که در سال۲۰۲۳ توسط آقای وانگ و همکارانش انجام شده است، تایید می کند که این ستاره یک دوتایی نیمه تماسی از زیر مجموعهA و با اختلاف دمای کم بین همدم ها می‌باشد. آنها همچنین نرخ کاهش مداومی را در دوره تناوب ستاره مشاهده کردند که احتمالا ناشی از انتقال جرم بصورت حرارتی از ستاره اصلی پرجرمتر به سمت عضو دوم سردتر می‌باشد[۱۰].

۲– مواد و روش‌ها

۲–۱– تعیین ستاره های مقایسه و مرجع

توجه شده است که ستارگان مقایسه و مرجع جزو ستارگان دوتایی یا متغیر نباشند، برای هردو این ستاره ها فاصله با متغیر کم باشد و شباهت از نظر گونه طیفی و قدر ظاهری وجود داشته باشد. همچنین قدر ستاره مرجع در تمام فیلترهای بکار رفته و قدر ستاره مقایسه در فیلتر مرئی مشخص باشد. لازم به ذکر است که میدان دید فرضی برای مشخص کردن ستارگان مقایسه و مرجع در سایت سازمان ستارگان متغیر AAVSO وSIMBAD در مقیاسF تعیین شده است که مربوط به تلسکوپ۱۴ اینچ اشمیت-کاسگرین، رصدخانه انجمن نجوم هلال نو شهرستان زرقان است. با توجه به این نکات و بررسی مقالات[۳،۷،۱۰] ستارگان انتخاب شده و به همراه خصوصیاتشان در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات ستاره متغیر، مقایسه و مرجع انتخابی

نام ستاره	قدر در فیلتر V	قدر در فیلتر B	قدر در فیلتر R	قدر در فیلتر J	گونه طیفی	رنگ	کاربرد رصدی
TU Boo	۱۱/۶۱	۱۲/۲۲	۱۲/۰۹	۱۰/۳۰۶	G3	زرد	Variable
GSC 2012-878	۱۱/۶۷	۱۲/۵۹	۱۱/۳۹	۱۰/۴۲۸	G5[7]	زرد	Com1 [7]
GSC 2545-811	۱۱/۸۰	۱۲/۵۸	۱۱/۵۱	۱۰/۵۲۰	----	زرد	Ref1 [7]
GSC 2545-1000	----	۱۲/۶۰	۱۲/۳۴	۱۱/۱۰۱	----	زرد	Ref2 [7]
GSC 2012-479	----	۱۳/۳۰	۱۳/۳۷	۱۲/۲۹۳	----	زرد	[3]
GSC 2012-831	----	۱۴/۵۰	۱۴/۷۱	۱۳/۴۰۳	----	زرد	[3]

۲–۲– فیلترهای پیشنهادی

از آنجا که مدل های مختلف از تراشه هایCCD دارای پاسخ های طیفی مختلف هستند، بسیار مهم است که هنگام مشاهده فتومتریک ستارگان متغیر فیلتر مناسب استفاده شود. در مقاله آقای جی‌وولی و همکارانش[۷] از سه فیلترBVR سری جانسون و در مقاله آقای جفری و همکارانش[۳] از پنج فیلترUBVRI سری جانسون استفاده شده است. با توجه به مقالات منتشر شده در سال‌های اخیر و ویژگی های ستاره مرجع، استفاده از تعداد بیشتری از فیلترها دامنه وسیعتر و نتیجه دقیق‌تری بدست می‌آورد.

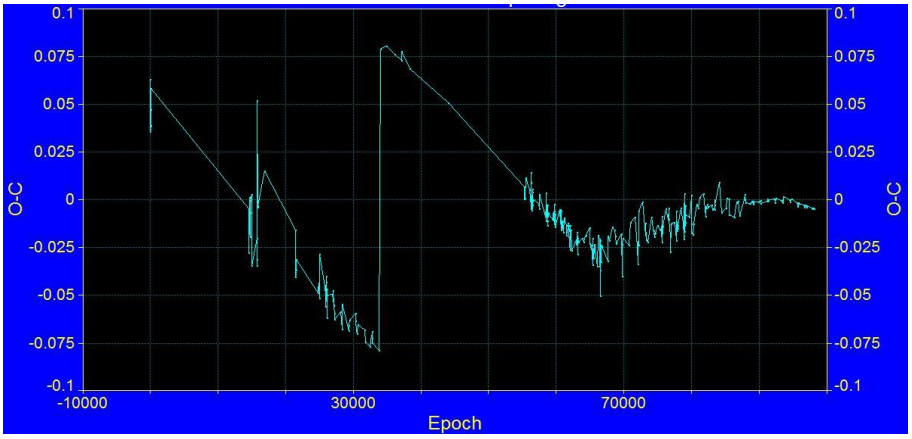
۳– نتایج و بحث

۳–۱– محاسبه O-C ستاره

دوره تناوب یکی از مهمترین پارامترهای اصلی در سیستم های دوتایی است، به نحوی که تعیین آن و محاسبه تغییرات آن ابزاری برای بررسی وضعیت تحولی یک سیستم دوتایی می باشد. این پارامتر با تحلیل نمودارO-C بدست می‌آید. برای رسم نمودار از مینیمم های گزارش شده توسط آقای نلسون استفاده شده است. بعد از آن با استفاده از فرمول افمری ارائه شده در رابطه ۱ که از مقاله آقای کوگلن استخراج شده است[۳] زمان مینیمم مبنا T_{pri} برحسب دوره تناوب Eبدست آمده است.

$$T_{pri}(HJD) = 2424609.539 + 0.32428316E \qquad (۱)$$

با انجام محاسبات و استفاده از نرم افزار Excel و Table Curve نمودارO-C بصورت شکل ۲ بدست آمد.



شکل ۲- نمودارO-C رسم شده با استفاده از نرم افزارTable Curve

۳-۲- بررسی O-C ستاره

هرچه معادله افمری یک ستاره و نمودار O-C آن ساده تر باشد، تغییرات درخشندگی و رفتار ستاره یکنواخت تر است. از آنجا که نمودار O-C ستاره مورد بررسی خط راست بدست نیامده است، رفتار ستاره و دوره تناوب آن متغیر می‌باشد. این تغییرات می‌تواند بدلیل فرآیندهای واقعی یا ظاهری رخ داده باشد. وجود عضو سوم یکی از عوامل ظاهری تغییرات دوره تناوب است که توسط آقای جی‌وولی و همکارانش برای ستارهTU Boo بررسی شد که نتیجه بدست آمده بیان کننده عدم وجود عضو سوم بود[۷]. همانطور که بررسی شد این ستاره دارای انتقال جرم بین همدم هایش است[۳] و این یعنی تغییرات دوره تناوب ناشی از دلایل واقعی می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به سابقه حدود صد ساله در کشف این متغیر، تحقیقات کمی در مورد آن انجام شده است. در این مقاله سعی شده بود که تمام مقالات موجود جمع آوری شده و بررسی شوند. علی‌رغم تغییرات زیاد در دوره تناوب، نرخ انتقال حرارت و پایداری حرارتی این ستاره، مزیت این سیستم داشتن دوره تناوب کوتاه است که قابلیت داده گیری کامل را در طی چند شب فراهم می‌کند. به نظر می‌رسد عامل تغییرات دوره تناوب انتقال جرم بین دو عضو باشد که بخاطر نوسانات حرارتی ناشی از حالت نیمه تماسی سیستم بوجود آمده است. اگرچه تاکنون نتایج خوبی از تحقیقات بر روی این ستاره بدست آمده است اما گروه بندی این سیستم بهWدب اکبری یا Aدب اکبری، سیر تکاملی این سیستم، دوره تناوب دقیق و تغییرات درخشندگی از جمله سوالاتی است که هنوز باقی مانده است. همچنین هیچ کدام از مدل‌های ارائه شده نتوانسته است بطور صد در صد رفتار این سیستم را توضیح دهد. در نتیجه با ابزار دقیق‌تر و تحقیقات بیشتر روی این سیستم می‌توانیم پاسخ‌های دقیق‌تری بدست آوریم.

۵- مراجع

1. Guthnick, P. and Prager, R. (1926). Drei neue Bedeckungsveränderliche, Astronomische Nachrichten, 228(6), 228- 327.

2. Schwassmann, A. and van Rhijn, P. J. (1947). Bergedorfer Spektral-Durchmusterung Bd. 3, Hamburg-Bergedorf: Hamburger Sternwarte, Germany.

3. Coughlin, J. L. and Dale, H. A. and Williamon, R. M. (2008). Long-term Photometric Analysis of the Active W UMa-type System TU Bootis, The Astronomical Journal, 136(3), 1089-1096.

4. Niarchos, P. G. and Hoffmann, M. and Duerbeck, H. W. (1996). TU Bootis: an ambiguous W Ursae Majoris system, Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 117(1), 105-112.

5. Maceroni, C. and Van Hamme, W. and Van't Veer, F. (1990). A spotted component in the very close late-type binary system VZ Piscium, Astronomy and Astrophysics, 234(1-2), 177-180.

6. Maceroni, C. and Van't Veer, F. (1993). The uniqueness of photometric solutions for spotted W Ursae Majoris binaries. Astronomy and Astrophysics, 277, p515.

7. Lee, J. W. and Kim, H. I. and Kim, S. L. (2007). A period study and spot model for the eclipsing binary TU bootis. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 119(860), p1099.

8. Prša, A. and Zwitter, T. (2005). A computational guide to physics of eclipsing binaries. I. Demonstrations and perspectives, The Astrophysical Journal, 628(1), p426.

9. Avvakumova, E. A. and Malkov, O. (2014). Assessment of evolutionary status of eclipsing binaries using light-curve parameters and spectral classification, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 444(2), 1982–1992.

10. Wang, J. J. and Guo, M. and Jiang, L. Q. and Zhang, B. (2023). New Photometric Investigations of G-type Contact Binary TU Boo, Research in Astronomy and Astrophysics, 23(4), 045010.