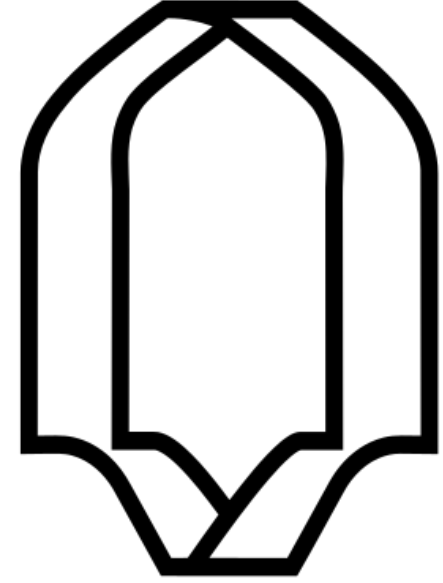




دانشگاه یزد



به نام خدا

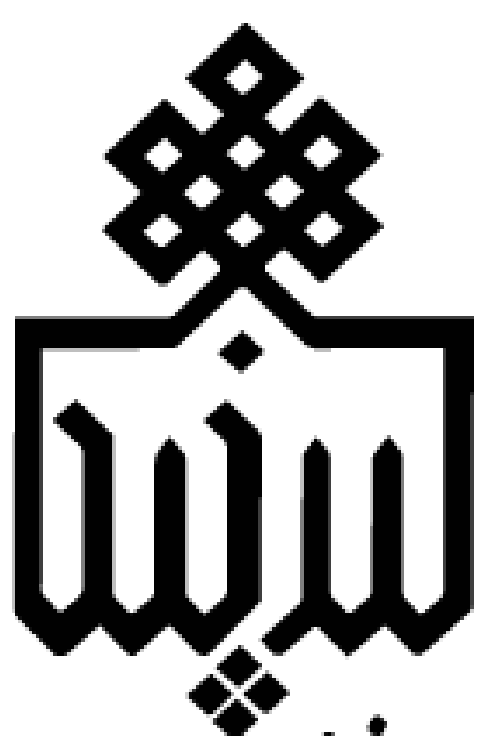
شانزدهمین همایش ملی نجوم و اخترفیزیک ایران ۲۶ و ۲۷ بهمن ۱۴۰۱، یزد، دانشگاه یزد

## استخراج منحنی سرعت شعاعی از منحنی نوری یک سامانه دوتایی با همدم تپنده

پارسا، محمد مهدی<sup>۱</sup>؛ عابدی، عباس<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه فیزیک، دانشکده علوم ، دانشگاه بیرجند، بیرجند

<sup>۲</sup>رصدخانه دکتر مجتهدی، دانشگاه بیرجند، بیرجند



دانشگاه بیرجند

### مقدمه

بسامد تغییرات درخشندگی ستاره‌های تپنده هنگامی که در ستارگان دوتایی یافت می‌شوند به‌خاطر اثر داپلر ناشی از حرکت مداری مُدوله می‌شود. برای هر بسامد تپش، این موضوع خود را به‌صورت یک چندگانه جدا شده با بسامد مداری در طیف دامنه- بسامد ستاره نشان می‌دهد. از روابط نظری که در مراجع بدست آمده بهره‌برداری کرده و از داده‌های نورسنجی به کمک تبدیل فوریه، برای بدست آوردن برخی پارامترهای یک سامانه‌ی دوتایی شامل تابع جرم، نیم محور اصلی تصویر شده، زمان عبور از قرین ستاره‌ای و دوره‌ی تناوب مدار استفاده می‌کنیم که به‌طور سنتی از سرعت‌های شعاعی طیف‌سنجی بدست می‌آید. این یک روش جدید است که حتی خود سرعت‌های شعاعی را از انتقال داپلر یک بسامد تپش محاسبه می‌کند بنابراین، نیاز به داشتن طیف را از بین می‌برد. سپس این نظریه را با سامانه‌ی دوتایی KIC ۴۱۵۰۶۱۱ با داده‌های ماهواره‌ی کپلر می‌آزماییم.

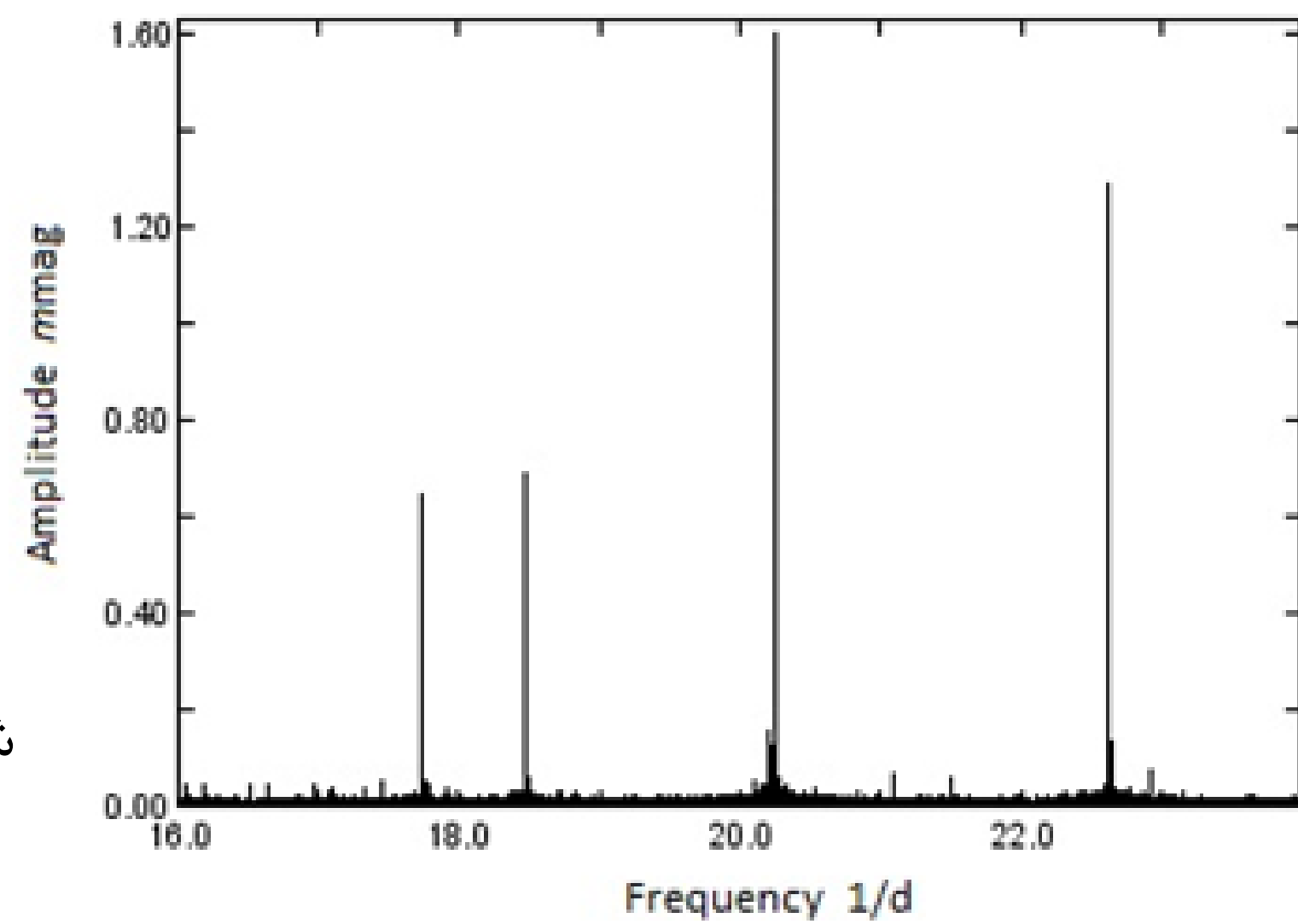
The frequency of brightness changes of pulsating stars when they are found in binary stars is modulated due to the Doppler effect caused by the orbital motion. For each pulsation frequency, this manifests itself as an orbital frequency-separated multiplet in the amplitude-frequency spectrum of the star. We used the theoretical relationships obtained in the references and the data to using the Fourier transform to obtain some parameters of a binary system, including the mass function, the imaged semimajor axis, the transit time of the periastron, and the period of the orbit, which Traditionally, it is obtained from the radial velocities of spectroscopy. This is a new method that even calculates the radial velocities themselves from the Doppler shift of a pulse frequency, thus eliminating the need to have a spectrum. Then we test this theory with the binary system KIC 4150611 with Kepler satellite data.

در روشی که ما دنبال خواهیم کرد تمام اطلاعات را از تحلیل فوریه ای منحنی های نوری پیوسته ای که از دوتایی هایی که یک مولفه تپنده دارند بدست خواهیم آورد. به دلیل حرکت مداری ستاره تپنده، پدیده ای بنام اثر نور- زمان در بسامد یا بسامدهای آن بوجود می آید که خود را در طیف منحنی نوری به نمایش می گذارد البته به دلیل گاف هایی که در نورسنجی ممتد دوتایی ها در پروژه هایی مانند کپلر وجود دارد بسامدهای کاذبی نیز در طیف ایجاد می‌شود. فرمول‌بندی مدولاسیون بسامد امواج رادیویی FM (frequency modulation) در نظریه‌ی مهندسی رادیویی به خوبی شناخته شده است اما برای اکثر منجمان ناآشناست [1]، [2] و [3]. در این‌جا FM را برای ستاره‌های تپنده در سامانه‌های ستاره‌ای دوتایی بررسی می‌کنیم.

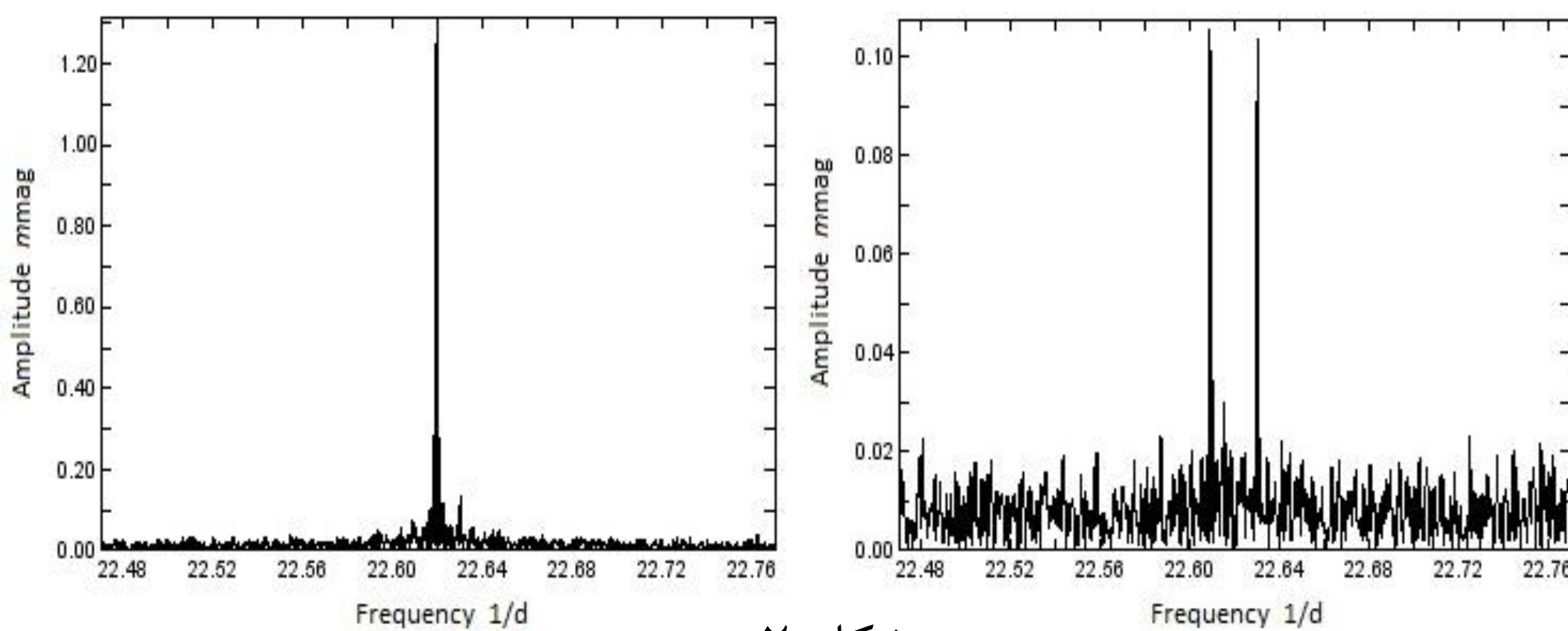
### تحلیل منحنی نوری ستاره دوتایی گرتی KIC ۴۱۵۰۶۱۱

این منظومه از یک ستاره A Sct δ که در مداری دایره‌ای حول یک جفت ستاره K با دوره‌ی مداری  $۰.۱ \pm ۹۴.۱$  روز می‌گردد تشکیل شده است. داده‌هایی که استفاده می‌کنیم، داده‌های آهنگ طولانی (LC) ۱Q تا ۱۷Q با زمان‌های ادغام ۲۹.۴ دقیقه هستند که بازه زمانی ۱۴۷۰.۴۶۲ روز را پوشش می‌دهند. بسامد نایکوئیست (Nyquist) برای این داده‌ها حدود ۲۴.۵ بر روز است. هم‌چنین داده‌های کپلر آهنگ کوتاهی (SC) برای این ستاره با زمان‌های ادغام ۵۸.۹ ثانیه داریم که نشان می‌دهد تپش‌های δ Sct دارای بسامدهای کم‌تر از بسامد نایکوئیست آهنگ طولانی هستند. شکل ۱ طیف دامنه را برای این داده‌ها نشان می‌دهد. جایی که چهار قله خودنمایی می‌کند.

آن‌چه در این‌جا می‌خواهیم بررسی کنیم، لب‌های جانبی این چهار قله با دامنه بزرگ تر است. به عنوان نمونه قله با بسامد ۲۶.۶۲ بر روز را انتخاب می‌کنیم (شکل ۲).



شکل ۱

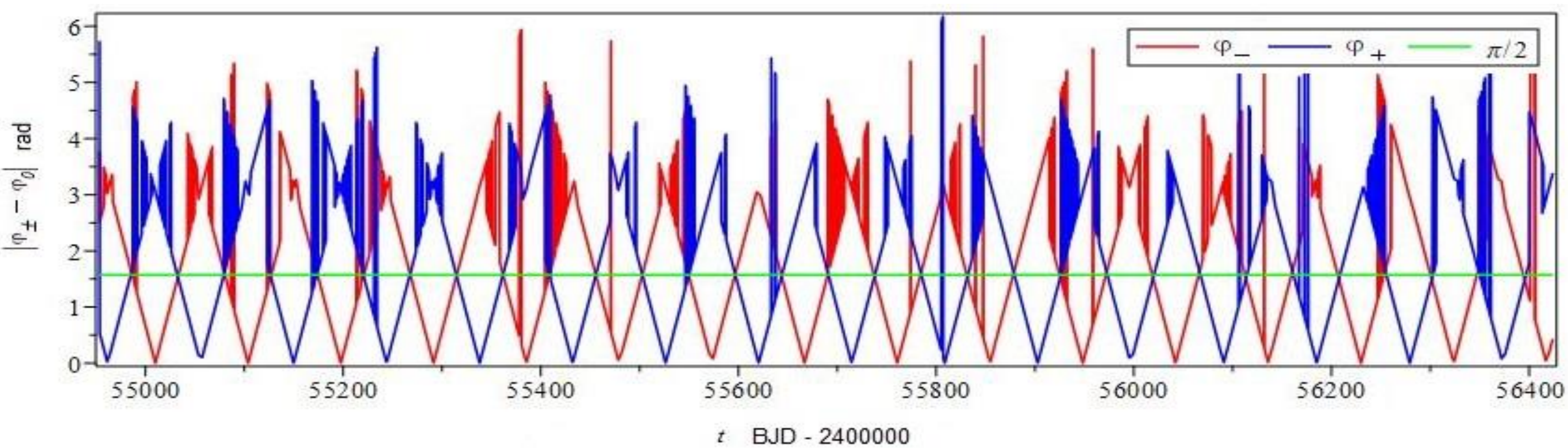


شکل ۲

تصویر چپ، طیف دامنه که در قله  $۲۲.۶۲ \text{ d}^{-۱}$  مرکزیت یافته است. تصویر راست، طیف دامنه که قله‌ی مرکزی پیش‌سفید شده است و نشان می‌دهد که دو لب کناری دقیقاً با بسامد مداری از قله‌ی مرکزی جدا شده‌اند.

### بحث و بررسی

شکل ۳ نمودار اختلاف فاز لب‌های جانبی از فاز مرکزی بر حسب زمان را نشان می‌دهد. نقاطی که دو منحنی یک- دیگر را قطع می‌کنند، همان زمان‌های  $t_0$  هستند. همان‌طور که رؤیت می‌شود در این نقاط، دو فاز لب‌های جانبی اول با هم برابر می‌شوند و از طرفی اختلافی برابر  $\frac{\pi}{۳}=۱.۵۷$  رادیان با فاز قله‌ی مرکزی دارند. با استفاده از یک الگوریتم ریشه یابی می‌توان نقاط برخورد سه منحنی را بدست آورد.



شکل ۳

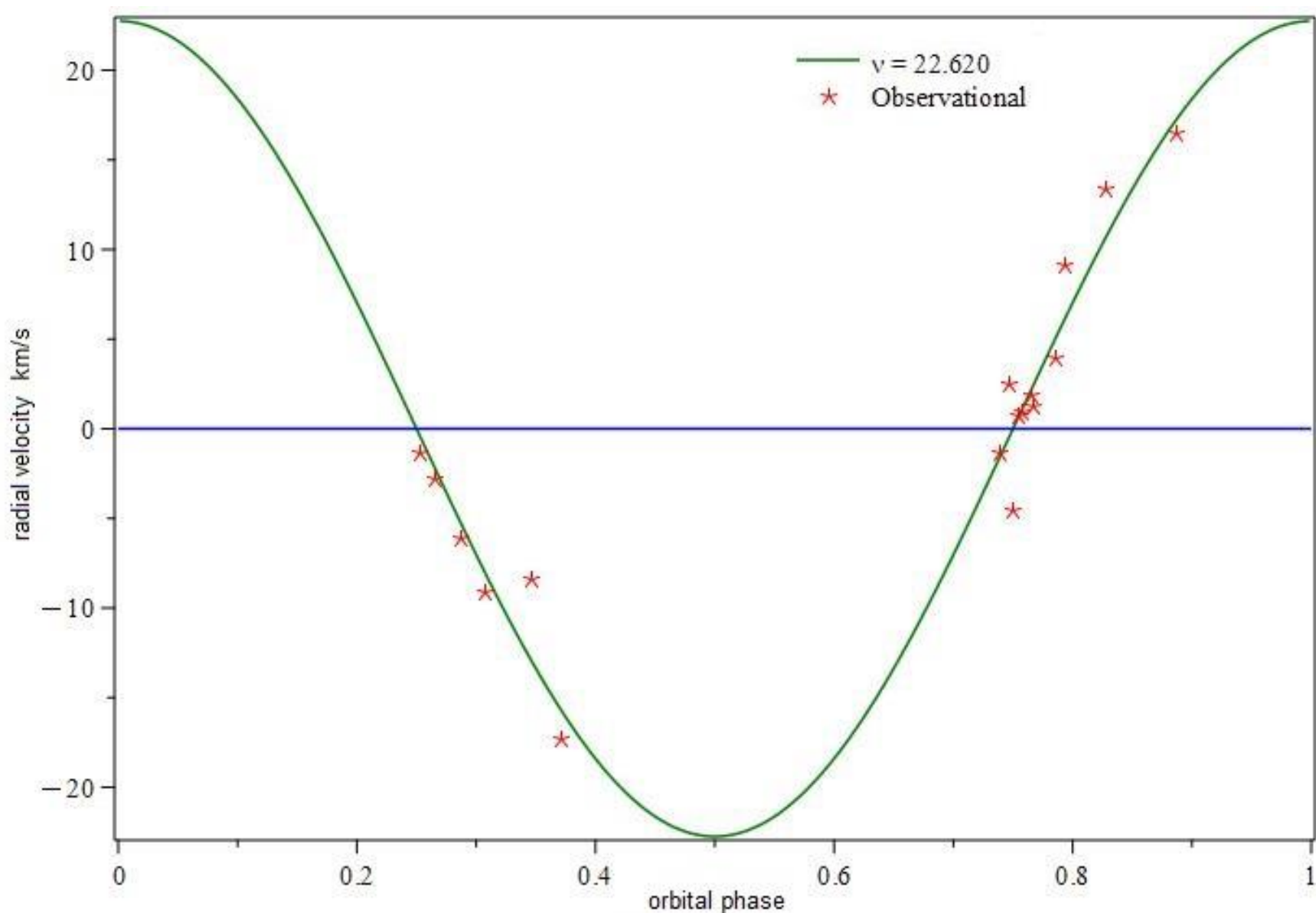
جدول ۱ برازش حداقل مربعات سه‌گانه بسامد را برای حالت تپش مذکور نشان می‌دهد. بسامدهای چندگانه با بسامد مداری از هم جدا می‌شوند. نقطه صفر برای فازها زمان عبور ستاره A از همراهانش،  $t_0 = \text{BJD } ۲۴۵۵۳۶۱.۷۵۰۹۱$  انتخاب شده‌است.

| بسامد<br>(روز/1)   | دامنه<br>(میلی قدر) | فاز<br>(رادیان)   | $\varphi_+ - \varphi_-$<br>(رادیان) | $\langle \varphi_{\pm} \rangle - \varphi_0$<br>(رادیان) | $(A_+ + A_-)/A_0$ | بسامد/ $\alpha$<br>(روز $\times 10^{-3}$ ) |
|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
| $۰.۰۰۰ \pm ۲۲.۶۰۹$ | $۰.۰۵۸ \pm ۰.۱۰۴$   | $۰.۰۸۸ \pm ۲.۰۴۸$ | $۰.۰۰۷ \pm ۰.۴۷۸$                   | $۰.۰۸۳ \pm ۰.۱۶۲$                                       | $۰.۰۸۳ \pm ۰.۱۶۲$ | $۳.۸۰۲ \pm ۷.۱۴۸$                          |
| $۰.۰۰۰ \pm ۲۲.۶۲۰$ | $۰.۰۵۸ \pm ۱.۲۸۶$   | $۰.۰۰۱ \pm ۰.۰۰۰$ | $۰.۰۰۷ \pm ۰.۴۷۸$                   | $۰.۰۸۳ \pm ۰.۱۶۲$                                       | $۰.۰۸۳ \pm ۰.۱۶۲$ | $۳.۸۰۲ \pm ۷.۱۴۸$                          |
| $۰.۰۰۰ \pm ۲۲.۶۳۰$ | $۰.۰۵۸ \pm ۰.۱۰۴$   | $۰.۰۸۹ \pm ۲.۰۴۸$ | $۰.۰۰۷ \pm ۰.۴۷۸$                   | $۰.۰۸۳ \pm ۰.۱۶۲$                                       | $۰.۰۸۳ \pm ۰.۱۶۲$ | $۳.۸۰۲ \pm ۷.۱۴۸$                          |

جدول ۲

| دامنه سرعت شعاعی<br>(کیلومتر بر ثانیه) | $a_1 \sin i$      | $f(m_1, m_2, \sin i)$ |
|----------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| (واحد نجومی)                           | (جرم خورشید)      |                       |
| $۱.۸۵۰ \pm ۲۲.۷۴۹$                     | $۰.۱۰۰ \pm ۰.۱۹۷$ | $۰.۰۷۰ \pm ۰.۱۱۵$     |

از جداسازی اجزای سه‌گانه، دوره‌ی تناوب مداری ستاره  $۹۳.۹۷۱ \pm ۰.۱۲$  روز بدست می‌آید. جدول ۲ پارامترهایی را که به دنبال آن بودیم نشان می‌دهد.



شکل ۴

شکل ۴ منحنی سرعت شعاعی KIC ۴۱۵۰۶۱۱ را نشان می‌دهد که از روش نظری مشتق شده است. این نتیجه در مقایسه با سرعت‌های شعاعی بدست آمده با مشاهدات طیف‌سنجی توسط هلمینیاک (Helminiak) و همکاران (۲۰۱۷) [4] مقایسه شده است.

### نتیجه‌گیری

در جدول ۲ مشاهده می‌شود که داده‌ها با این نظریه تناسب بسیار خوبی دارند. هم‌چنین در شکل ۴ می‌بینیم که تفاوت‌ها کم است. مزیت تحلیل حاضر این است که مشاهدات نورسنجی توسط کپلر یک بازه زمانی طولانی را با وقفه‌های کمی پوشش داده است. این چرخه کاری بسیار برتر است از آن‌چه در حال حاضر با مشاهدات طیف-سنجی امکان‌پذیر است. اکنون نه تنها نیازی به توسل به نمودارهای  $O - C$  برای مطالعه حرکت مداری از منحنی نوری نیست، بلکه بهتر است این کار را مستقیماً با اطلاعات مربوط به بسامدهای حاصل از تبدیل فوریه انجام دهیم. این یک پیش‌رفت قابل توجه در مطالعه‌ی مدارهای ستاره‌های دوتایی است.

### مراجع

- H. Shibahashi and D. W. Kurtz, "FM stars: a Fourier view of pulsating binary stars, a new technique for measuring radial velocities photometrically," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. **422**, no. 1, pp. 738-752, 2012.
- H. Shibahashi, D. W. Kurtz, and S. J. Murphy, "FM stars II: a Fourier view of pulsating binary stars–determining binary orbital parameters photometrically for highly eccentric cases," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. **450**, no. 4, pp. 3999-4015, 2015.
- M. Montgomery and D. Odonoghue, "A derivation of the errors for least squares fitting to time series data," *Delta Scuti Star Newsletter*, vol. **13**, p. 28, 1999.
- K. Helminiak *et al.*, "KIC 4150611: A rare multi-eclipsing quintuple with a hybrid pulsator," *Astronomy & Astrophysics*, vol. **602**, p. A30, 2017.

شماره همراه نویسنده: ۰۹۱۵۷۵۶۲۷۹۲