

مطالعه نورسنجی و طیف‌سنجی ستاره Cyg V1584

داود جسور

مرکز پژوهشی فیزیک کاربردی و تحقیقات ستاره‌شناسی، دانشگاه تبریز

دریافت مقاله: ۷۹/۷/۱۰ دریافت نسخه نهایی: ۷۹/۱۲/۲۵

چکیده

نورسنجی ستاره Cyg V1584 از نوع ستارگان Ap در سه نوار طول موجی U، B و V در یک دوره کامل ارایه شده است. با فرض اینکه تغییرات نوری مشاهده شده، به خاطر توزیع غیریکنواخت شدت نور در شیدسپهر ستاره باشد، دوره چرخشی ستاره تعیین شده است. با فرمولبندی لک ستاره‌ای، نشان داده شده است که یک منطقه دایروی که نسبت به شیدسپهر ستاره 1900 K داغتر بوده و در حدود $14/4\%$ شیدسپهر را می‌پوشاند می‌تواند تغییرات نوری مشاهده شده را توجیه کند. از مشاهدات طیفی این ستاره، زاویه بین محور چرخشی و خط دید و از مشاهدات نورسنجی متمم ارتفاع قطب مغناطیسی تعیین و مدلی برای ساختار مغناطیسی ستاره ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: ستارگان، Ap، سیلیکون‌دار، مغناطیسی

۱. مقدمه

زمانی دارند پیشنهاد شد که مسئول شدت غیرعادی می‌تواند ساختار شیدسپهری باشد زیرا به سختی می‌توان انتظار داشت که فراوانی شیمیایی دارای تغییرات زمانی باشد. بر این اساس، قسمت‌های مختلف سطح ستاره به خاطر اثر میدانهای مغناطیسی، دارای ساختار شیدسپهری متفاوت هستند و چرخش ستاره حول محورش، بخشهای مختلف آن را در زمانهای مختلف در معرض دید ناظر قرار می‌دهد و بدین ترتیب می‌توان تغییرات مشاهده شده در طیف ستاره را توجیه کرد. در این صورت لازم است که دوره تغییرات شدت خطوط با دوره چرخش ستاره برابر باشد. این پیشنهاد یک مشکل اساسی داشت: در بعضی از ستارگان Ap، دوره تغییرات خطوط طیفی با هم برابر نبودند و حتی دوره تغییرات بعضی از آنها با ضریب ۲ کوه‌تر از دوره چرخشی ستاره بود. در سال ۱۹۵۰، هنگامی که

ستارگان Ap^۱ ستارگانی هستند با نوع طیفی A که دارای میدانهای مغناطیسی بسیار شدیدی بوده و به خاطر ویژگیهای موجود در طیفشان به ستارگان Ap موسومند. در طیف این ستارگان خطوط مربوط به عناصر Sr، Cr، Eu، Si و Y و نیز خطوط سایر عناصر نادر خاکی که شدت آنها به طور غیرعادی زیاد است، مشاهده می‌شوند. بررسی طیفی نشان می‌دهد که فراوانی این عناصر در ستارگان Ap تا هزار برابر از فراوانی آنها در ستارگان Aی عادی بیشتر است. در ابتدا مشاهده فراوانی این عناصر با چنین ضرایب بزرگ از نظر بسیاری از ستاره‌شناسان غیرقابل باور بود و با وجود اینکه همه‌ساز و کارهای ممکن که به نظر می‌رسید بتواند شدت غیرعادی خطوط طیفی را توضیح دهد مورد بررسی قرار گرفتند اما توجیه قابل قبولی پیدا نشد. با توجه به اینکه شدت خطوط طیفی در ستارگان Ap تغییرات

1. Peculiar A Stars

وجود اینکه شکل میدان مغناطیسی ستارگان Ap به طور کامل فهمیده نشده است ولی واقعیت انکارناپذیر این است که شدت میدان مغناطیسی در دو قطب با هم برابر نیستند. به نظر می‌رسد که میدان مغناطیسی این ستارگان دارای دو مولفه باشد: میدانی شبیه به میدان دوقطبی و میدانی شبیه به میدان چهارقطبی. بدین ترتیب برآیند دو میدان در دو قطب یکسان نخواهد بود زیرا در یک قطب این دو میدان همجهت و در قطب دیگر درخلاف جهت یک دگبر خواهند بود (شکل ۱).

در این مقاله نورسنجی ستاره Cyg V1584 از نوع ستارگان Ap است ارایه شده است و نتایج حاصل از تحلیل منحنیهای نوری مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۴. نورسنجی

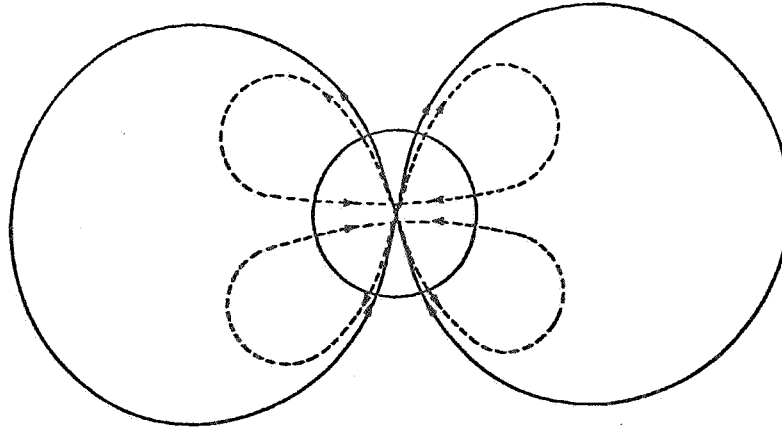
نورسنجی ستاره Cyg V1584 از اواسط بهار ۱۳۷۶ تا اواسط پاییز همان سال در رصدخانه خواجه نصیرالدین طوسی دانشگاه تبریز انجام شده است [۲]. یک نورسنج تک کاناله مجهز به صافیهای استاندارد دستگاه UBV و لوله تخریب کننده از نوع 1P21 متصل به کانون کاسگرین تلسکوپ بازتابی ۴۰ سانتیمتری مورد استفاده قرار گرفته است. جریان خروجی از نورسنج به یک تقویت کننده جریان هدایت شده و خروجی آن توسط یک واسطه پس از تبدیل از قیاسی به رقمی وارد کامپیوتر شده است.

در طول مشاهدات ستاره HD 193536 با قدر ۶/۴۵ و نوع طیفی B2V به عنوان ستاره مقایسه و HD 192802 با قدر ۷/۲۴ و نوع طیفی B9.5 V به عنوان ستاره کنترل انتخاب شده‌اند.

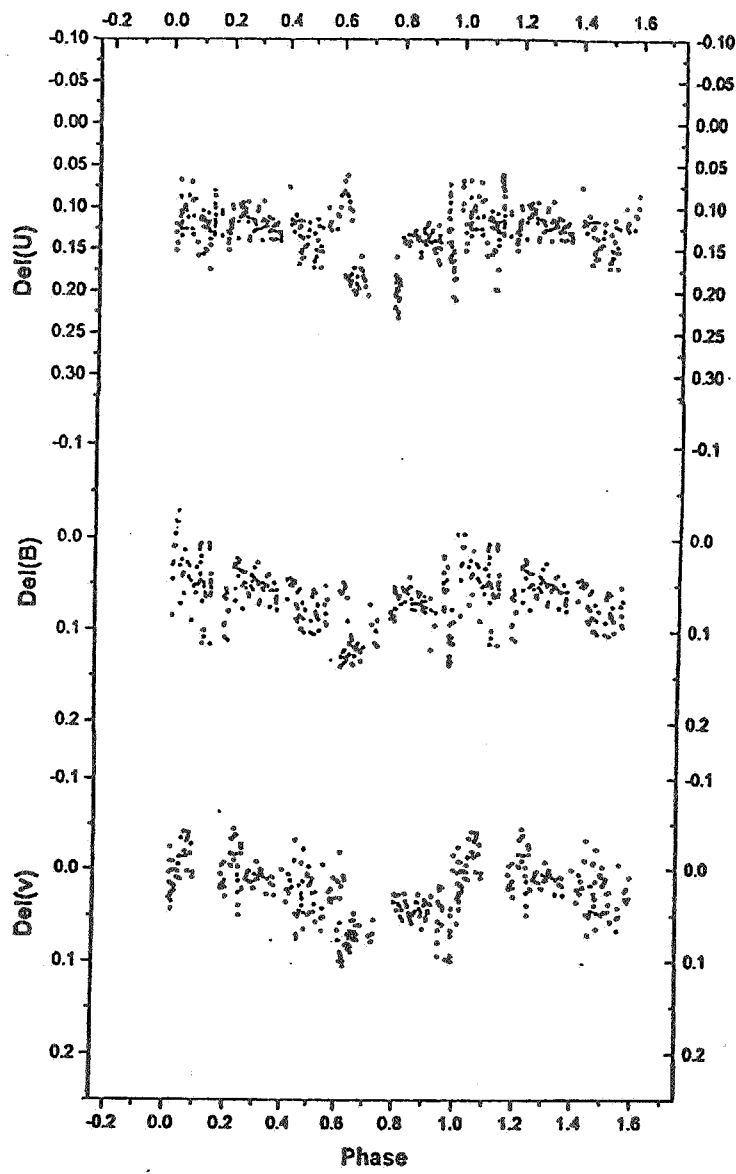
برای اطمینان از ثابت بودن نور ستاره مقایسه، در هر شب دو یا سه مرتبه ستاره کنترل رصد شده است. با محاسبه اختلاف قدر ستاره مقایسه و کنترل معلوم شده است که تغییرات نور ستاره مقایسه در حدود دقت اندازه‌گیری یعنی ۰/۰۱ ≈ قدر است. داده‌های به دست آمده از این مشاهدات توسط یک نرم‌افزار به دستگاه قدر و فاز تبدیل شده است. در شکل ۲ منحنی نوری ستاره متغیر در یک دوره کامل در سه صافی U، B و V رسم شده است. دامنه تغییرات در نوارهای طول موجی U، B و V به ترتیب ۰/۰۵۶، ۰/۰۵۸ و ۰/۰۶۰ قدر می‌باشد. وابستگی دامنه تغییرات به طول موج نشانگر این واقعیت است که عامل این تغییرات منشا حرارتی دارد و احتمالاً مناطقی از شید سپهر ستاره نسبت به سایر مناطق داغترند.

بابکوک اندازه‌گیری شدت میدانهای مغناطیسی را در ستارگان شروع کرد دریافت که همه ستارگان نوع A که دارای میدانهای مغناطیسی هستند از ستارگان Ap می‌باشند. او همچنین متوجه شد که همه ستارگان Ap که دارای $V_r \sin i$ (مؤلفه‌ای از سرعت دوران ستاره در امتداد دید ناظر) کوچکتر و در نتیجه خطوط طیفی باریکتری هستند به طوری که اثر زیمن در آنها قابل اندازه‌گیری است دارای میدانهای مغناطیسی شدیدی هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که همه ستارگان Ap دارای میدانهای مغناطیسی شدید می‌باشد. میدانهای مغناطیسی اغلب ستارگان Ap به طور دوره‌ای تغییر می‌کند و دوره تغییرات با طولانیترین دوره تغییرات شدت خطوط طیفی مطابقت دارد. همه این ویژگیها با الگویی موسوم به الگوی چرخان مایل قابل توجیه هستند.

در این الگو فرض می‌شود که شدت بعضی از خطوط طیفی در بخشی از سطح ستاره شدیدتر از سایر بخشها باشد (منطقه لک‌دار). هنگامی که این بخش، به خاطر چرخش ستاره، در حال ظاهر شدن در نیمکره مرئی ستاره است سرعت شعاعی آن به طرف ناظر بوده و منفی خواهد بود. و به همین ترتیب، وقتی این بخش در حال محو شدن از دید ناظر است سرعت شعاعی آن مثبت خواهد بود. براساس این الگوی ساده می‌توان دلیل اینکه چرا دوره تغییرات شدت بعضی از خطوط با ضریب ۲ از دوره دوران ستاره کوتاه‌تر است را نیز فهمید: این خطوط از دو منطقه لک‌دار روی سطح ستاره سرچشمه می‌گیرند و بنابراین در هر دوران ستاره دارای دو بیشینه هستند. در این الگو محور دوران ستاره و محور مغناطیسی آن بر هم منطبق نیستند و بنابراین اگر بتوانیم این میدان را میدان دوقطبی تلقی کنیم با دوران ستاره، قطب شمال و جنوب مغناطیسی به طور متناوب در معرض دید ناظر قرار می‌گیرند و بدین علت است که ما در اغلب ستارگان Ap شاهد معکوس شدن قطبیدگی میدان مغناطیسی هستیم (اگر محور دوران ستاره و محور مغناطیسی ستاره موازی باشند آنگاه همواره طرح ثابتی از میدان مغناطیسی را مشاهده می‌کنیم). فرض اینکه میدان مغناطیسی ستارگان Ap شبیه میدان دوقطبی است، چه اندازه با مشاهدات مطابقت دارد؟ بر طبق محاسبات استییز [۱]، الگوی چرخان مایل همواره با میدان مغناطیسی دوقطبی، تغییرات سینوسی را برای میدان مغناطیسی پیش بینی می‌کند. هر چند که اندازه‌گیریهای بابکوک چنین الگویی را نشان نداده است اما روشهای جدید اندازه‌گیری که با استفاده از قطبش خطوط طیفی هیدروژن انجام می‌گیرد وجود چنین تغییراتی را کم و بیش نشان می‌دهد. با



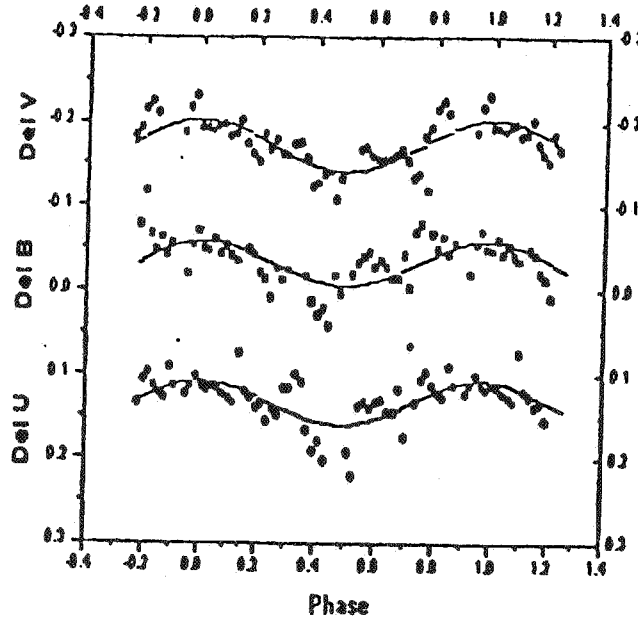
شکل ۱. برآیند میدانهای دو قطبی و چهار قطبی.



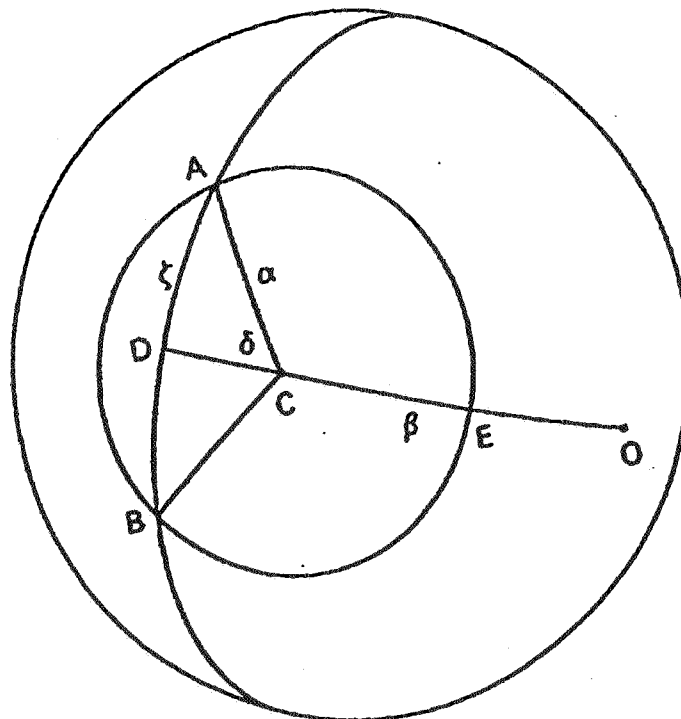
شکل ۲. منحنی نوری ستاره Cyg V1584 در فیلترهای U، B و V

جدول ۱. نتایج حاصل از برازش سینوسی به داده‌های رصدی

صافی	A0	A1	A2	P (روز)	دامنه تغییرات Δm
V	۰/۰۲۹	-۰/۰۳۰	۶/۳۳۰۱	۱/۱۴۱۳	۰/۰۶۰
B	۰/۰۷۰	-۰/۰۲۹	۶/۵۳۵۲	۱/۱۷۹۱	۰/۰۵۸
U	۰/۱۳۴	۰/۰۲۸	۶/۵۹۰۲	۱/۱۸۸۲	۰/۰۵۶



شکل ۳. برازش داده‌های رصدی توسط یک تابع سینوسی.



شکل ۴. هندسه یک لک دایروی بر شید سپهر ستاره.

$$\cos\beta = \cos i \sin\chi + \sin i \cos\chi \cos\psi \quad (۸)$$

که در آن i زاویه بین خط دید و محور چرخشی ستاره است. χ و ψ به ترتیب عرض و طول ستاره‌ای مرکز لک است. معادلات (۵) مستقل از مکان لک همواره صادق‌اند. با در نظر گرفتن مکان لک سه حالت مشخص وجود دارد:

$$A=B=0 \text{ و } \beta-\alpha \geq \frac{\pi}{4} - ۱$$

$$\delta=\xi=0 \text{ و } \beta+\alpha \leq \frac{\pi}{4} - ۲$$

$$\xi \text{ و } \delta \text{ و } \frac{\pi}{4}-\alpha < \beta < \frac{\pi}{4}+\alpha \text{ : قسمتی از لک قابل رویت است و } \delta \text{ و } \xi$$

به وسیله رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

با داشتن شعاع زاویه‌ای لک یعنی α و مکان لک بر روی شید سپهر ستاره یعنی χ و ψ می‌توان مقدار β را از رابطه (۸) محاسبه کرد و بنابراین مشخص کرد که کدام یک از حالت‌های ۱، ۲ یا ۳ باید به کار گرفته شود. در این صورت، محاسبه A و B کار ساده‌ای خواهد بود. منحنی نوری نظری ستاره چرخان با اعمال تصحیحات کوچک در مقدار ψ در معادله (۸) و محاسبه Δmag ساخته می‌شود.

۵. روش تحلیل منحنی نوری

روش تحلیل منحنی نوری و محاسبه مشخصات هندسی و فیزیکی لک براساس بهینه سازی انجام شده است. معیار برازش منحنی رصدی و منحنی نظری کمیت χ است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n [I_i^o - I_i^c] / \sigma_i^2$$

در این رابطه σ_i انحراف استاندارد شدت رصد شده، یعنی I_i^o و شدت محاسبه شده یعنی I_i^c و n تعداد نقاط نرمال می‌باشد. I_i^c تابعی از زاویه فاز یعنی ψ و مشخصات هندسی و فیزیکی لک یعنی a می‌باشد.

روش بهینه سازی بدین ترتیب است که با توجه به مقدار معینی از پارامتر a_j و با انتخاب مقدار مناسب Δa_j ، مقدار χ^2 به ازای مقادیر $a_j + \Delta a_j$ و $a_j - \Delta a_j$ محاسبه می‌شود و موردی که به ازای آن کمیت χ^2 کوچکتر باشد انتخاب می‌شود. این عمل برای همه پارامترهایی که باید تصحیح شوند تکرار می‌شود و در هر تکرار اختلاف دو مقدار χ^2 محاسبه می‌شود. حال اگر دقت Δa_j نظیر پارامتر a_j برای تصحیح مناسب نباشد در تکرار بعدی

نیمکره مریی است. محیط لک، محیط قرص مریی ستاره را در نقاط A و B قطع می‌کند به طوری که فاصله زاویه‌ای آن دو نقطه برابر ξ است. در مثلث کروی ABC (مرکز لک است) داریم:
 $ABC = \gamma\delta$

واضح است که $0 < \delta < \pi$ و $0 < \xi \leq \alpha$.

از این روش می‌توان رابطه زیر را به دست آورد:

$$\Delta mag = -\gamma\delta \log \left[1 - \frac{aA - bB}{\pi \left(1 - \frac{\mu^*}{\gamma} \right)} \right] \quad (۲)$$

که در آن

$$a = (1 - \mu^*) - (1 - \mu^s) \frac{F^s}{F^*} \quad (۳)$$

و

$$b = \mu^* - \mu^s \frac{F^s}{F^*}$$

$$A(\alpha, \beta) = \int \int \cos\gamma \sin\Theta d\Theta d\Phi$$

و

$$B(\alpha, \beta) = \int \int \cos\gamma \sin\Theta d\Theta d\Phi \quad (۴)$$

نتایج این محاسبات عبارتند از:

$$A(\alpha, \beta) = \xi + (\pi - \delta) \cos\beta \sin^2\alpha - \sin\xi \sin\beta \cos\alpha$$

$$B(\alpha, \beta) = \frac{1}{\gamma} (\pi - \delta) (-\gamma \cos^2\alpha - \gamma \sin^2\beta \cos\alpha \sin^2\alpha)$$

$$- \frac{\gamma}{\gamma} (\pi - T) + \frac{1}{\xi} \sin\xi \sin^2\beta (\gamma - \gamma \cos^2\alpha) \quad (۵)$$

که در آن

$$T = \begin{cases} \arctan(\sin\xi \tan\beta) & , \beta \leq \frac{\pi}{4} \\ \pi - \arctan(-\sin\xi \tan\beta) & , \beta > \frac{\pi}{4} \end{cases} \quad (۶)$$

دو زاویه δ و ξ را می‌توان از روابط زیر محاسبه کرد:

$$\cos\delta = \cot\alpha \cot\beta$$

$$\sin\xi = \sin\delta \sin\alpha = \frac{(\sin^2\beta - \cos^2\alpha)^{\frac{1}{2}}}{\sin\beta} \quad (۷)$$

$$\cos\xi = \cos\alpha \operatorname{cosec}\beta$$

زاویه β توسط رابطه زیر داده می‌شود

توجه به نوع طیفی و نوع درخشندگی آن در حدود ۳R (سه برابر شعاع خورشید) خواهد بود پس با توجه به دوره دوران ستاره که در این پروژه از طریق نورسنجی اندازه‌گیری شده است خواهیم داشت:

$$V_{eqw} \cong 135 \text{ km/s}$$

و بنابراین $\sin i = 0.37$ و $i = 22^\circ$ خواهد بود.

با انتخاب مقادیر مختلفی برای ΔT (اختلاف دمای بین لک و شید سپهر ستاره)، وسعت زاویه‌ای لک یعنی α در فیلتر U تعیین شده و منحنی تغییرات α برحسب ΔT در یک نمودار رسم شد. این کار در مورد منحنی نوری مشاهده شده در ناحیه B و V تکرار شده است. محل تلاقی منحنیهای α برحسب ΔT در سه صافی U، B و V به عنوان نتیجه نهایی انتخاب شده است. بدین ترتیب معلوم می‌شود یک لک داغ با دمایی برابر 13900 K ($\Delta T \cong 1900 \text{ K}$) که $14/4\%$ شید سپهر ستاره را می‌پوشاند می‌تواند با دوران ستاره تغییرات نوری مشاهده شده را توجیه کند.

بر طبق نتایج به دست آمده متمم عرض جغرافیایی این لک $14/5^\circ$ است. اگر فرض کنیم که مرکز لک قطب مغناطیسی ستاره باشد آنگاه زاویه بین محور چرخشی و محور مغناطیسی ستاره برابر خواهد بود با:

$$22^\circ - 14/5^\circ = 7/5^\circ$$

در شکل ۵ منحنی نوری رصد شده و منحنی نوری محاسبه شده و نیز مکان لک در چهار فاز 0 ، $0/25$ ، $0/5$ و 1 نشان داده شده است.

۷. بحث و نتیجه‌گیری

ستاره سیلیکون‌دار Cyg V1584 دارای تغییرات نوری منظم است که دامنه آن در نوارهای طول موجی بنفش، آبی و زرد به ترتیب $0/056$ ، $0/058$ و $0/06$ قدر می‌باشد. در این پروژه، تغییرات نوری این ستاره به توزیع غیریکنواخت شدت نور در شید سپهر نسبت داده شده است. دوران ستاره حول محور چرخشی، باعث می‌شود که نواحی مختلف شید سپهر در معرض دید ناظر قرار گیرد و تغییرات نوری منظم به نمایش گذاشته شود. با توجه به برابری دوره چرخشی نورسنجی و طیف‌سنجی، فرض کرده‌ایم فقط یک لک (داغ) در شید سپهر ستاره وجود داشته باشد و این لک درصد محسوسی ($14/4\%$) از شید سپهر را پوشانیده باشد. به دلیل عدم دسترسی به

همین مقدار روی a_z جدید اثر می‌کند تا در نهایت اختلاف دو مقدار متوالی 2% از یک مقدار معینی که با توجه به پراکندگی نقاط تجربی انتخاب می‌شود کوچکتر باشد. در این مرحله اجرای محاسبات متوقف می‌شود و پارامترهای لک، پارامترهای نظیر 2% ی مورد نظر می‌باشد.

۶. تحلیل منحنی نوری

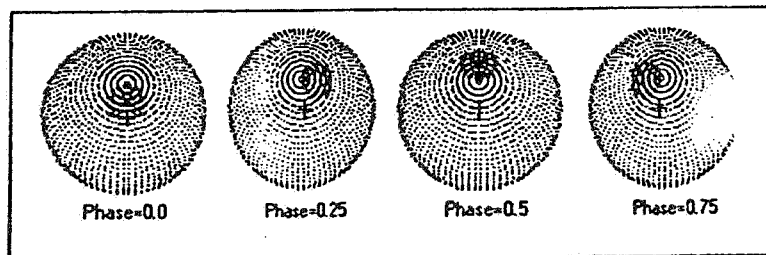
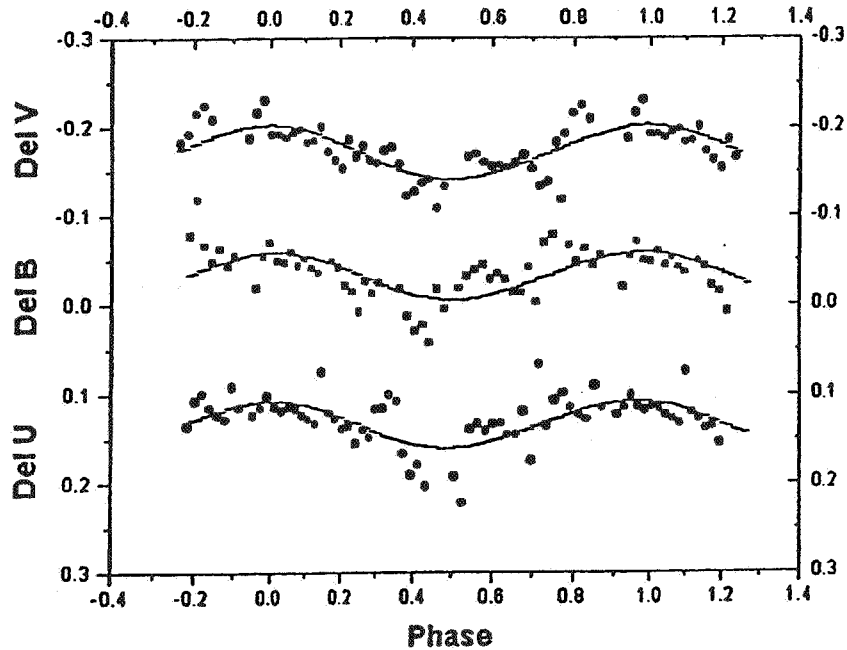
تحلیل منحنی نوری ستاره Cyg V1584 با فرض توزیع غیریکنواخت شدت نور در شید سپهر ستاره با روش بهینه سازی انتخاب شده است. در این تحلیل فرض کرده‌ایم که یک لک داغ دایره‌ای شکل که دمای آن بیش از دمای شید سپهر ستاره باشد مسئول تغییرات دوره‌ای نور ستاره باشد.

یک برنامه کامپیوتری برای تعیین مشخصات لک نوشته شده است. این برنامه دو گزینه ورودی دارد که یکی از گزینه‌ها قدرهای اندازه‌گیری شده ستاره در هر فاز را می‌خواند. گزینه دوم مشخصات اولیه لک یعنی (بزرگی، اختلاف دما با شید سپهر، طول و عرض ستاره‌ای لک، ضرایب لبه تاریکی لک) و نیز مشخصات مربوط به ستاره مثل دما، ضرایب لبه تاریکی و زاویه بین محور چرخشی ستاره با خط دید ناظر را می‌خواند. خروجی برنامه هم دارای دو گزینه است یکی از آنها قدر و فاز محاسبه شده را به دست می‌دهد و گزینه دوم شامل مشخصات نهایی مربوط به لک است. مشخصات مربوط به ستاره عبارتند از:

(الف) دمای ستاره که با توجه به نوع طیفی آن یعنی B9 برابر 12000 K انتخاب شده است.

(ب) ضرایب لبه تاریکی در سه ناحیه طول موجی U، B و V به ترتیب برابر $0/39$ ، $0/48$ و $0/39$ در نظر گرفته شده‌اند [V].

(ج) برای تعیین زاویه میل یعنی زاویه بین محور چرخشی ستاره با خط دید از مشاهدات طیفی ستاره که در رصدخانه شاماخی کشور جمهوری آذربایجان انجام شده است استفاده کرده‌ایم. مشاهدات طیفی در ناحیه طول موجی $3700 - 4700 \text{ \AA}$ و با یک طیف نگار کوده با پاشندگی 4 \AA/mm متصل به تلسکوپ بازتابی ۲ متری انجام شده است. براساس این مشاهدات پهنای متوسط خطوط طیفی در حدود 1 \AA می‌باشد بنابراین مولفه شعاعی سرعت دوران (مولفه‌ای از سرعت دوران که در امتداد خط دید ناظر است) $V_r = 42 \text{ km/s}$ خواهد بود. یا اگر i زاویه میل و V سرعت دوران ستاره باشد داریم: $\sin i = 42 \text{ km/s} / 2$ شعاع یک ستاره B9 IV



شکل ۵. منحنیهای نوری رصد شده و منحنیهای نوری برازش شده در سه فیلتر U، B و V و مکان لک در چهار فاز ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱/۰.

قطب مغناطیسی دارای شدتهای یکسانی هستند یا نه. و بدین ترتیب نمی توان گفت که آیا ساختار مغناطیسی این ستاره به صورت دوقطبی یا ترکیبی از دوقطبی و چهارقطبی است زیرا به طوری که در مقدمه اشاره شد اگر ساختار مغناطیسی به صورت دوقطبی باشد آنگاه شدت هر دو قطب مساوی ولی اگر ساختار مغناطیسی ترکیبی از دوقطبی و چهارقطبی باشد آنگاه شدت مغناطیسی در یک منطقه شدیدتر از منطقه دیگر خواهد بود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز که امکان انجام این پژوهش را فراهم آورده اند، تشکر و قدردانی می شود.

داده های طیف سنجی کافی، بحث در مورد علل وجود منطقه داغ مشکل به نظر می رسد ولی به خاطر فراوانی بیش از حد عناصر خاکی نادر، به ویژه سیلیکون در بعضی از قسمتهای شدید سپهر و جذب اضافی تابش فرابنفش توسط این مواد می توان وجود مناطقی را که نسبت به سایر مناطق شدید سپهر ستاره داغ تر هستند پیش بینی کرد.

با مشاهده یک لک در شدید سپهر ستاره Cyg V1584 و با فرض اینکه مکان لک در قطب مغناطیسی ستاره واقع شده باشد می توان زاویه بین محور چرخشی ستاره و محور مغناطیسی آن را به دست آورد که این مقدار برابر با $7/5^\circ$ می باشد. علاوه بر آن، با قابل رویت بودن تنها یک لک و بنابراین تنها یک قطب مغناطیسی نمی توان گفت که آیا هر دو

مراجع

- University Press, Vol. 2, (1992).
1. P Stibbs, "*Stellar Astrophysics*", Cambridge University Press, Vol. 1, (1989).
2. D M Z Jassur and M H Kermani, *Inf. Bull. on Var. Stars*, 4830 (2000).
3. Bohm-Vitense, "*Stellar Astrophysics*", Cambridge University Press, Vol. 2, (1992).
4. P Renson, *A & A*, No. 63, (1978), 125.
5. R F Stellingwerf, *AP. J*, 224, (1978), 953.
6. J D Dorren, *AP. J*, 320, (1987), 756.
7. H Al-Naimiy, *A & ASS*, 53, (1978).