

اندازه گیری سرعت چرخش محوری ستاره دُم شیر

صفایی، اسداله^۱؛ نصیری قیداری، سعداله^۱؛ صفری، حسین^۱

^۱گروه فیزیک دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲گروه فیزیک دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده

یکی از موثرترین روشهای اندازه گیری سرعت چرخش محوری اجرام آسمانی، مطالعه میزان پهن شدگی خطوط طیفی آنها است. در اینجا چگونگی ثبت طیف ستاره دم شیر را شرح می دهیم. سپس با بررسی خط طیفی H_{β} از این ستاره و عوامل مؤثر بر پهن شدگی این خط طیفی، سرعت چرخش محوری آن را محاسبه می کنیم.

Measurement rotational velocity of Denebola Safaei, Asadollah^۱; Nasiri Geydari, Sadollah^۱; Safari, Hosein^۱

^۱ Department of Physics, Zanjan University, Zanjan.

^۲ Department of Physics, Kashan University, Kashan.

Abstract

One of the most powerful ways to measure the rotational velocity of celestial bodies is studying the amount of broadening of their spectral lines. Here we explore how to record the spectrum of the Denebola located at the tail position of the Leo constellation. By investigating the H_{β} spectral line and their corresponding broadening factors, we calculate the rotational velocity of this star.

PACS No. ۹۷

اصلی ستارگان دارند. بنابراین ستاره دُم شیر یکی از ستارگان تند چرخان محسوب می شود [۳]. اگر محور دوران یک ستاره در راستای دید ناظر نباشد، در اثر چرخش ستاره، بخشی از ستاره در حال نزدیک شدن به ناظر و بخش دیگری در حال دور شدن خواهد بود. حال اگر طیف این ستاره را ثبت کنیم، خطوط طیفی بخشی که در حال نزدیک شدن است، در اثر پدیده دوپلر اندکی به سمت ناحیه آبی انتقال پیدا می کند و خطوط طیفی بخشی که در حال دور شدن از ناظر است کمی به سمت ناحیه قرمز انتقال می یابد. این پدیده موجب جابجایی خطوط طیفی دریافت شده از ستاره می شود. از آنجا که نقاط مختلف سطح ستاره با سرعتهای متفاوتی نسبت به ناظر در

مقدمه

ستاره دُم شیر یا ذنب الاسد (β Leo) یکی از درخشانترین ستاره های صورت فلکی شیر است. این ستاره در فاصله حدود ۴۰ سال نوری از خورشید قرار دارد و قدر ظاهری آن ۲/۱۱۳ است. این ستاره منفرد، ۱/۷۵ برابر خورشید جرم دارد و شعاع آن حدود دو برابر شعاع خورشید است [۲]. تابندگی آن ۱۵ برابر خورشید است و در رده طیفی $A_3 V$ جای می گیرد و خطوط بالمر شدیدی دارد. از سوی دیگر ستارگان رده طیفی A و B سرعت چرخش محوری زیادتری نسبت به سایر رده های طیفی محدوده رشته

میلیمتر در این ناحیه طیف برابر 0.1284 آنگسترم بر پیکسل به دست می‌آید. اگر طیف در راستای طولی صفحه حساس قرار گیرد میدان دید حدود 205 آنگسترم خواهد بود.

با توجه به کوچک بودن قطر دهانه تلسکوپ و محدودیت در میزان جمع آوری نور در واحد زمان، ستاره را از بین درخشان‌ترین ستارگان آسمان انتخاب کرده‌ایم. بطوری که خطوط طیفی هیدروژن واضح‌تری داشته باشد. همچنین ستاره مورد نظر دارای سرعت دوران نسبتاً زیادی است. از آنجا که ستارگان رشته اصلی تغییرات کمتری در طیف خود نشان می‌دهند، بنابراین ستاره مناسب را از بین ستارگان رشته اصلی انتخاب کردیم.

ستاره دم شیر در رشته اصلی قرار داشته و بدون دیسک گازی در اطراف خود است. سرعت چرخش محوری آن بطور متوسط 128 km/s ذکر شده است [۳]. خط طیفی $H\beta$ با طول موج $4861/332$ آنگسترم، در ناحیه سبز-آبی طیف، یکی از واضح‌ترین خطوط در طیف این ستاره است. بنابراین ما هم محدوده $H\beta$ طیف این ستاره را با زمان نوردهی 800 ثانیه در هر تصویر ثبت کرده‌ایم. در هنگام رصد دمای هوا حدود 18 درجه سانتیگراد و رطوبت سطحی حدود 54 درصد بوده است. دمای فعالیت دوربین CCD، پنج درجه سانتیگراد زیر صفر تنظیم شده است. برای کالیبره کردن تصاویر از خطوط طیفی منیزیم (MgI) طیف دریافتی از سیاره هرمزد همچنین خطوط $H\beta$ و آهن (FeI) سیاره ناهید استفاده شده است. در قسمت بالای شکل (۱) طیف ثبت شده با پردازش اولیه نشان داده شده است. در قسمت پایین آن، منحنی شدت بر حسب طول موج رسم شده است. برای رسیدن به این منحنی بخش زیادی از نوفه‌ها حذف گردیده است. با این وجود به دلیل اجتناب از حذف اثر خطوط ضعیف در طیف ستاره منحنی نوری کاملاً هموار نشده است. خط طیفی $H\beta$ بصورت یک منحنی با عمق نسبتاً زیاد ظاهر شده است. اما این منحنی به صورت یک منحنی گاوسی نبوده و در دیواره‌های آن تاثیر وجود ناهمواری‌هایی مشاهده می‌شود. این آثار می‌تواند ناشی از وجود خطوط فلزی در طیف ستاره باشد. همچنین ممکن است در اثر نوفه‌های گرمایی یا وجود آلودگی نوری در منطقه رصد باشد.

حال دور شدن و یا نزدیک شدن است، تغییر مکان خطوط طیفی پیوسته خواهد بود. در نتیجه، دوران ستاره موجب پهن‌شدگی خطوط طیفی دریافت شده از آن می‌شود. با اندازه‌گیری میزان پهن‌شدگی خطوط طیفی می‌توان سرعت دوران ستاره را محاسبه نمود [۱]. سرعت ظاهری دوران برابر $v \sin i$ می‌باشد. لذا هنگامی که راستای رصد ستاره در امتداد محور دوران ستاره باشد، این مقدار برابر با صفر می‌شود.

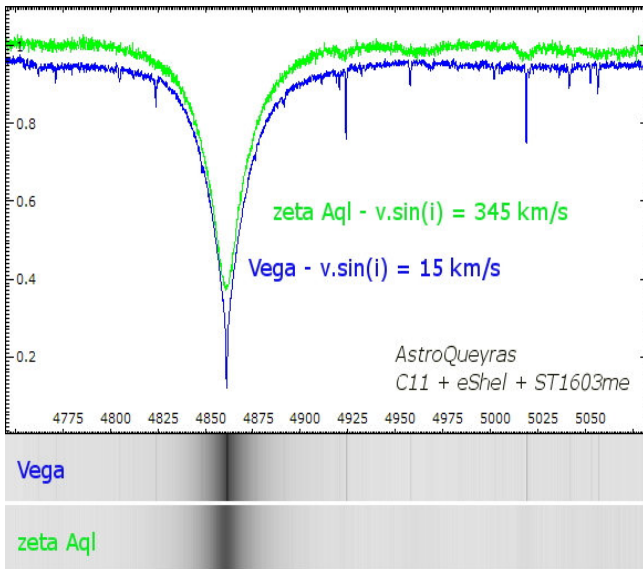
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v \sin i}{c} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، v سرعت دوران، i زاویه بین راستای دید ناظر و محور دوران ستاره است [۱]. اما علاوه بر دوران، عوامل دیگری نیز موجب پهن‌شدگی خطوط طیف دریافتی از ستاره می‌شوند. پهن‌شدگی دوپلری، پهن‌شدگی گرمایی، پهن‌شدگی تلاطمی در جو ستاره، پهن‌شدگی طبیعی، پهن‌شدگی اثر زیمان، پهن‌شدگی اثر ستارک مهم‌ترین عوامل پهن‌شدگی خطوط طیفی ستارگان در ناحیه دیداری طیف آنها هستند. در محاسبه سرعت دوران ستاره این موارد باید در نظر گرفته شوند. پهن‌شدگی دوپلری ستارگان تند چرخان در حد چند آنگسترم است. پهن‌شدگی گرمایی و پهن‌شدگی تلاطمی در حد چند دهم آنگسترم بوده و سایر آثار پهن‌شدگی در حد چند هزارم آنگسترم یا کمتر از آن است. بنابراین در محاسبه سرعت چرخش محوری ستارگان تند چرخان، به غیر از پهن‌شدگی دوپلری چرخشی، سایر آثار قابل چشم‌پوشی است.

چگونگی ثبت طیف ستاره دم شیر

برای ثبت طیف از تلسکوپ ۱۶ اینچ رصدخانه دانشگاه کاشان استفاده شده است. بر روی تلسکوپ طیف سنج مدل Lhires III دارای توری پراش با تراکم 2400 خط بر میلیمتر نصب شده که توان تفکیک دستگاه با این توری برابر 17000 است. تصاویر با دوربین CCD مدل SBIG-ST2000 ثبت گردیده است. این دوربین نجومی صفحه‌ای حساس با حدود دو میلیون پیکسل دارد. این صفحه حساس در ابعاد $11/84 \text{ mm} \times 8/88 \text{ mm}$ ساخته شده است. ابعاد هر پیکسل $7/4$ میکرون بوده، دارای آرایه‌ای 1200×1600 پیکسل است. بر اساس اندازه‌گیری‌های قبلی که انجام دادیم، نسبت طول موج بر پیکسل برای توری 2400 خط بر

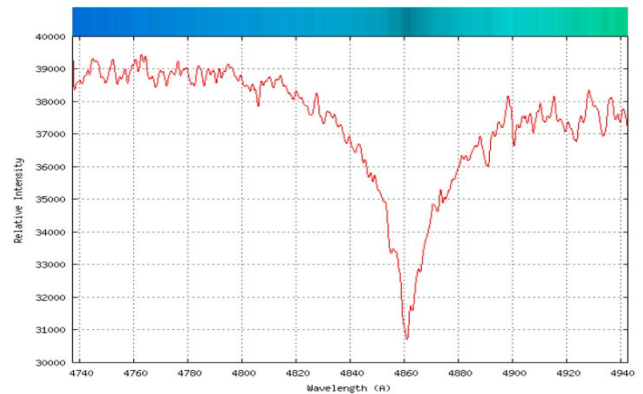
ظاهری ستاره کم باشد، منحنی دارای نوک تیز است. دوران ستاره موجب افزایش دهانه خط طیفی، همچنین گرد شدن نوک منحنی می‌شود. در شکل (۳) منحنی نوری ناحیه $H\beta$ از طیف دو ستاره که از نظر رده طیفی مشابه و از نظر سرعت چرخش محوری ظاهری متفاوت هستند، نشان داده شده است.



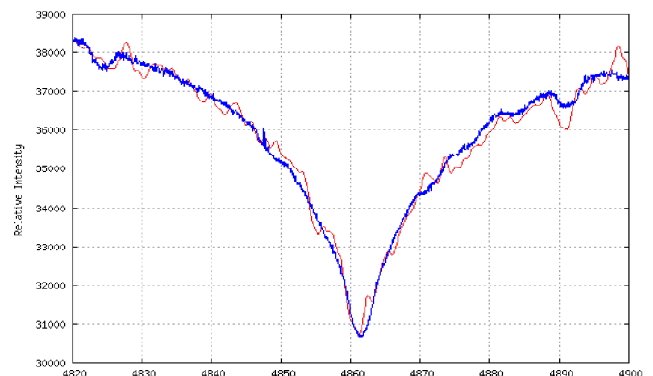
شکل ۳: نمودار منحنی نوری ثبت شده از ناحیه $H\beta$ ستاره نسر واقع (به رنگ آبی) با منحنی نوری ستاره زتا عقاب (به رنگ سبز)

پس از ثبت طیف ستاره، تصاویر را با نرم افزار Visual Spec پردازش و تحلیل کرده‌ایم. ابتدا منحنی نوری ثبت شده را اندکی هموار نموده سپس با منحنی نوری شبیه سازی شده از ستاره‌ای با شرایط فیزیکی سطحی مشابه ستاره دم شیر در شکل (۴) مقایسه نمودیم. این شرایط فیزیکی شامل دمای سطحی، شتاب گرانش سطحی، تلاطم جوی و فراوانی فلزی^۲ مشابه با ستاره دم شیر می‌شود. اما در طیف شبیه سازی شده اثر چرخش محوری ستاره لحاظ نگردیده است. در این شکل تا حدودی تاثیر وجود و عدم وجود چرخش محوری در پهنای خط طیفی $H\beta$ در طیف ستاره دم شیر قابل مشاهده است. در هنگام هموار نمودن منحنی نوری باید به این نکته توجه نمود که اگر این فرایند اندکی بیشتر از حد لزوم انجام شود، خطای بسیار زیادی در محاسبات وارد خواهد کرد.

برای مقایسه نمونه طیف‌هایی که ما ثبت کرده‌ایم با طیف‌های ثبت شده توسط تلسکوپ‌های دیگر، از طیف موجود در آرشیو پایگاه داده‌های الودی^۱ که توسط تلسکوپ به قطر ۱۹۳ سانتیمتر و طیف‌نگاری با توان تفکیک ۴۲۰۰۰ در سال ۲۰۰۴ ثبت گردیده است، استفاده شده است [۴]. با اینکه نوفه‌های زیادی در طیف ثبت شده مشاهده می‌شود اما به نظر می‌رسد انطباق نسبتاً خوبی بین دو منحنی نوری وجود دارد.



شکل ۱: نوار طیف ثبت شده از ستاره دم شیر در ناحیه $H\beta$ در بالا و منحنی نوری شدت بر حسب طول موج همان طیف در پایین



شکل ۲: نمودار منحنی نوری ثبت شده ناحیه $H\beta$ ستاره دم شیر (به رنگ قرمز) با منحنی نوری موجود در پایگاه داده‌های الودی از همین ستاره (به رنگ آبی)

چگونگی محاسبه سرعت چرخش محوری ستاره دم شیر

خط طیفی $H\beta$ در منحنی نوری طیف دریافتی از بیشتر ستارگان ساختاری شبیه V دارد. در صورتی که سرعت چرخش محوری

^۲ Metallicity

^۱ ELODIE

با قرار دادن مقدار FWHM به جای پهن‌شدگی کل، پهن‌شدگی دوپلری چرخشی را به دست می‌آوریم. در اینجا مقدار به دست آمده دو برابر مقدار $\Delta\lambda$ در رابطه (۱) است. چراکه سطح منطقه‌ای از ستاره در یک زمان در حال نزدیک شدن و سطح منطقه‌ای دیگر در همان زمان در حال دور شدن از ناظر است. لذا تاثیر پدیده دوپلر دو برابر می‌شود.

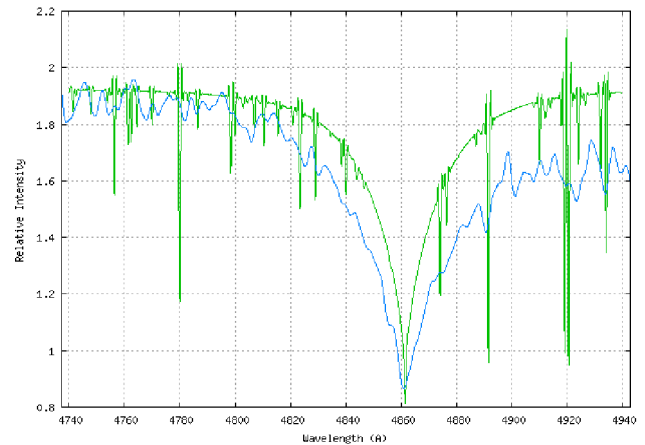
$$v \sin i = \left| \frac{v}{v} \right| \quad (2)$$

با جایگذاری در رابطه (۲)، مقدار $v \sin i$ برابر با 133 km/s به دست می‌آید، که به مقدار ذکر شده در جدول‌ها یعنی 128 km/s نزدیک است. مقدار محاسبه شده با نتایج ثبت شده قبلی با اختلاف حدود ۴ درصد قابل مقایسه است [۳].

مهم‌ترین عوامل خطا در این مشاهده می‌تواند ناشی از غبار محلی، رطوبت، تلاطم سطوح بالایی جو، آلودگی نوری محیطی و نوفه‌های گرمایی دستگاه باشد.

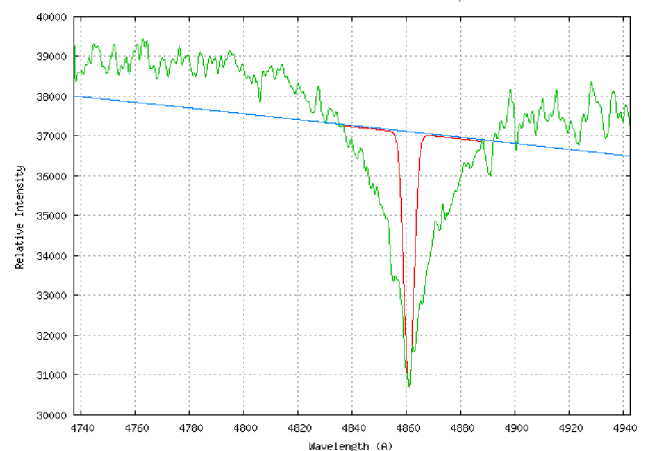
مراجع

- [۱]- Richard W., *Analysis and Interpretation of Astronomical Spectra*, ebook.
 [۲]- Gutierrez-Moreno, Adelina et al. (۱۹۶۶), *A System of photometric standards* ۱, Publicaciones Universidad de Chile, Department de Astronomy, pp. ۱-۱۷.
 [۳]- Royer, F.; Zorec, J.; Gómez, A. E. (February ۲۰۰۷), "Rotational velocities of A-type stars. III. Velocity distributions", *Astronomy and Astrophysics* ۴۶۳ (۲): ۶۷۱-۶۸۲.
 [۴]- <http://atlas.obs-hp.fr/elodie/>



شکل ۴: نمودار منحنی نوری ثبت شده از ناحیه $H\beta$ ستاره دم شیر (به رنگ آبی) با منحنی نوری شبیه سازی شده از ستاره‌ای با شرایط فیزیکی سطحی مشابه ستاره دم شیر (به رنگ سبز)

برای تعیین میزان پهن‌شدگی خط طیفی، ابتدا منحنی پلانک برای جسم سیاهی با محدوده دمای سطحی ستاره را متناسب با شدت نور دریافتی بر منحنی نوری منطبق کرده‌ایم. سپس آثار مربوط به نوفه‌ها یا موجک‌ها را به صورت نرم‌افزاری حذف کردیم. برازش منحنی گاوسی طوری انجام می‌شود که بر قسمت گرد شده نوک خط طیفی منطبق شده و تا منحنی پلانک ادامه یابد. آنگاه در ناحیه خط طیفی $H\beta$ مقدار عرض میانه ارتفاع بیشینه یا FWHM را به دست آورده‌ایم. برای این کار مقدار 473395 را برای FWHM ناشی از پهن‌شدگی بدست آورده‌ایم. اما در اینجا به دلایلی که قبلاً اشاره شد فقط اثر پهن‌شدگی دوپلری چرخشی را مد نظر قرار می‌دهیم.



شکل ۵: نمونه طیف ستاره دم شیر به رنگ سبز که منحنی گاوسی برخط پهن شده $H\beta$ برازش شده (رنگ قرمز) و منحنی پلانک مربوط به دمای سطحی ستاره (رنگ آبی)