بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

گرایش اختر فیزیک و نجوم رصدی

عنوان:

حل منحنی نوری سیستم دوتایی گرفتی

V508 Ophiuchi

استاد راهنما:

آقای دکتر بهرام خالصه

استاد مشاور:

خانم دکتر فاطمه صالحی

نگارش:

زینب السادات طباطبایی لطفی

شهریور ۱۳۸۸

خدای مهربان را سپاس که بر من منت نهاد و توفیق آموختن در کنار حضرت امام رضا علیه السلام و بودن در کنار حضرت معصومه سلام الله علیها و پیمودن مسیر این بین الحرمین عشق را به من عنایت فرمود.

خدای مهربان را شکر می گویم که مرا همچون همیشه یاری نمود تا این کار نیز به سرانجام رسد.

تقدیم به

پدر و مادرم

با تشکر از:

استاد دکتر بهرام خالصه که دلسوزانه و صبورانه مرا در انجام این کار راهنمایی نمودند و در تمام مراحل این کار از ابتدا تا انتها مرا یاری نمودند.

استاد خانم دکتر فاطمه صالحی که بی دریغ وقت خود را در اختیار من قرار دادند تا بتوانم مراحل مختلف برنامه نرم افزاری این کار را فرا گیرم.

استاد دکتر جمشید قنبری که طی سال های تحصیل خود، همواره از راهنمایی ها و حمایت های ایشان برخوردار بوده ام و افتخار شاگردی ایشان را داشته ام.

استاد دکتر مهدی خواجوی که خاطره اولین درس نجوم را با ایشان دارم.

دکتر عصمت السادات طباطبایی که ویراستاری متن پایان نامه ام را انجام داده اند.

تمام دوستانم که در مراحل مختلف از کمک های آن ها بهره بردم.

و پدر و مادرم که اگر حمایت های آنان نبود هرگز موفق به انجام این کار نمی شدم.

و خواهرانم و برادرم که صبورانه مرا یاری نمودند.

چکیده

V508 Oph یک سیستم دوتایی گرفتی فوق تماسی W UM a. می باشد که هر دو مؤلفه آن حد روچ خود را پر کرده اند. در تحقیق حاضر برای تحلیل منحنی نوری این سیستم از داده های رصدی Lapasset et al. که در دو صافی مرئی و آبی و در بین سالهای ۱۹۸٤ تا ۱۹۸۷ به دست آمده اند، از برنامه ویلسون ۲۰۰۳ استفاده کرده ایم و پارامترهای فیزیکی و هندسی جدیدی را برای این سیستم به دست آورده ایم.

فهرست مطالب

مقدمه..... ۱

فصل اول: طبقه بندی ستارگان دوتایی

۱-۱ انواع ستارگان دوتایی ٤

۱-۱-۱ دوتایی های نوری ٥

۱-۱-۲ دوتایی های مرئی های ٦

۱-۱-۳ دوتایی غیر مرئی..... ۷

۱-۱-۳-۱ دوتایی های طیف سنجی..... ۷

۱-۱-۳-۲ دوتایی های اختر سنجی ۹

۱-۱-۳-۳ دوتایی های گرفتی ۱۲

۱-۲ منحنی نوری و طبقه بندی ستارگان دوتایی گرفتی..... ۱۵

۱-۲-۱ منحنی های نوری نوع الغول ۱۵

۱-۲-۲ منحنی های نوری نوع شلیاق (بتالیرا)..... ۱٦

۱-۲-۳ منحنی های نوری نوع دبلیو دب اکبر(.W UM a)..... . ۱۷

۱-۳ روچ لوب و طبقه بندی ستارگان دوتایی گرفتی..... ۱۹

۱-۳-۱ روچ لوب، کره روچ، حد روچ..... ۱۹

۱-۳-۲ نقاط لاگرانژی و انتقال جرم..... . ۲٤

۱-۳-۳ رده بندی کوپال بر اساس روچ لوب..... . . ۲۷

۱-۳-۳-۱ سیستم های دوتایی جدا.....۲۸

۱-۳-۳-۲ سیستم های دوتایی نیمه جدا ۲۸

۱-۳-۳-۳ سیستم های دوتایی تماسی و فوق تماسی ۳۱

فصل دوم: سیستم های دوتایی گرفتی .W UM a

۲-۱ تولد یک ستاره دوتایی گرفتی .W UM a. ۳٤

۲-۱-۱ نظریه های تکه- تکه شدن و شکافت ۳۵

۲-۱-۱-۱ تکه- تکه شدن قبل از فروریزش ۳٦

۲-۱-۱-۲ تکه- تکه شدن در حین فروریزش ۳۷

۲-۱-۱-۳ تکه- تکه شدن پس از فروریزش..... ۳۸

۲-۱-۱-٤ نظریه شکافت و تولد سیستم های دوتایی نزدیک ۳۹

۲-۲ تحول و سرنوشت سیستم های دوتایی نزدیک ٤۲

۲-۳ تحول سیستم های دوتایی تماسی و یا فوق تماسی .W UM a ٤۵

فصل سوم: تحلیل منحنی نوری سیستم دوتایی گرفتی V508 Oph

۳-۱ نگاهی گذرا به تحلیل منحنی نوری..... ۵۱

۳-۲ آنچه تا کنون درباره سیستم V508 Oph می دانیم ۵٤

۳-۳ برسی موثرترین عوامل بر منحنی نوری سیستم V508 Oph ۵۸

۳-۳-۱ پدیده گرفت ۵۸

۳-۳-۲ شکل مؤلفه ها ۵۹

۳-۳-۳ تاریکی لبه..... ٦۰

۳-۳-٤ تاریکی گرانشی ٦۱

۳-۳-۵ اثر انعکاس ٦۲

۳-۳-٦ وجود جسم سوم ٦۳

۳-۳-۷ لک های ستاره ای..... ٦٤

۳-٤ تحلیل منحنی نوری سیستم V508 Oph وتنظیم پارامترها..... ٦٤

۳-۵ نتایج حاصل از حل منحنی نوری سیستم دوتایی گرفتی **V508 Oph**..... ۷۰

نتیجه گیری

پیشنهادات

فهرست مراجع

وَهُوَ الَّذِی جَعَلَ لَکُمُ النُّجُومَ لِتَهْتَدُواْ بِهَا فِی ظُلُمَاتِ الْبَرِّ وَالْبَحْرِ قَدْ فَصَّلْنَا الآیَاتِ لِقَوْمٍ یَعْلَمُونَ ﴿سوره انعام آیه ۹۷﴾

"و اوست کسی که ستارگان را برای شما قرار داده تا به وسیله آنها در تاریکیهای خشکی و دریا راه یابید به یقین ما نشانه های یکتایی خود را برای گروهی که می‌دانند به روشنی بیان کرده‌ایم"

مقدمه

در اوایل قرن هجدهم میلادی، آگوست کومته[1] فیلسوف فرانسوی، استدلال می کرد که چون ستارگان بسیار دور و دست نیافتنی هستند، انسان ها هیچ گاه قادر به شناخت طبیعت و ساختار آن ها نخواهند شد [۳]. اما لازمه شناخت ستاره ها، یعنی نور ستاره[2]، برای هر کسی که قادر به دیدن باشد، مهیا بود. تنها چند سال بعد از اظهارات کومته دانشمندان با تحلیل نور ستارگان شروع به کشف واقعیات بسیاری درباره ستارگان کردند که از نظر این فیلسوف محکوم به ناشناخته ماندن بودند.

امروزه، با بررسی تغییرات شدت نور اجرام آسمانی بر حسب زمان، حقایق بسیاری درباره آن ها کشف شده است. یکی از جالب توجه ترین اجرام آسمانی ستارگان دوتایی نزدیک می باشند. یعنی ستارگانی که آن قدر به یکدیگر نزدیکند که بر سیر تحول یکدیگر اثر می گذارند. حال اگر این ستاره های دوتایی از نوع گرفتی نیز باشند، آن گاه اطلاعات بسیار ارزشمندی را در اختیار ما قرار خواهند داد؛ به خصوص اگر بتوان این اطلاعات را با داده های مشاهدات طیف سنجی سیستم نیز ترکیب نمود. از جمله مواردی که می توان با حل منحنی های نوری به دست آمده از سیستم های دوتایی گرفتی به دست آورد، جرم مطلق ستاره های این سیستم دوتایی می باشد. می دانیم که جرم ستاره در تعیین سیر تحولی آن نقشی اساسی دارد. از طرفی ما قادر به اندازه گیری جرم ستاره های منفرد دور دست به طور مطلق و مستقیم نیستیم. بنابراین به دست آوردن جرم مطلق ستارگان دوتایی نزدیک می تواند گامی مؤثر در

---

[1] Auguste Comte
[2] Starlight

راستای فهم سیر تحول آن ها و حتی ستارگان منفرد باشد. از طریق حل منحنی های نوری به دست آمده از سیستم های دوتایی گرفتی، علاوه برجرم مطلق، می توان اثراتی همچون تاریکی لبه، تاریکی گرانشی، انعکاس، حضور جرم سوم و وجود لک های ستاره ای و غیر آن ها را بررسی نمود که بی شک همه این ها ما را در ارائه الگویی مناسب تر برای تعیین مسیر تحول ستارگانی با موقعیت مشابه بر روی نمودار هرتزپرانگ راسل[3] کمک خواهند نمود. در همین راستا و برای روشن تر نمودن اهمیت مطالعه سیستم های دوتایی نزدیک می توان به برخی نظریاتی اشاره نمود که در آن ها منشاء ستارگان منفرد را هم سیستم های دوتایی نزدیک می دانند [۱۷]! نتایج حاصل از بررسی و مطالعه تعداد زیادی از سیستم های دوتایی گرفتی می تواند عامل مهمی در ارائه شکل سایر اجرام سماوی باشد که امید است در نهایت منجر به فهم روند تکوین و تحول جهان شود.

تحقیق حاضر به حل منحنی نوری یکی از این بی شمار سیستم های دوتایی نزدیک اختصاص دارد. سیستم مورد مطالعه ما سیستم دوتایی گرفتی V508 Ophiuchi می باشد. از سال ۱۹۳۵ که برای اولین بار این سیستم توسط هافمیستر[4] به عنوان یک ستاره متغییر کشف شده تا کنون، مطالعات زیادی بر روی آن انجام گرفته است و افرادی به مشاهده و تحلیل داده های حاصل پرداخته اند. آخرین حل منحنی نوری این سیستم در سال ۱۹۸۹ و با استفاده از برنامه ویلسون ۱۹۷۹ انجام گرفته است. در این تحقیق ما حل خود را بر روی همان داده های رصدی ولی با استفاده از برنامه ویلسون ۲۰۰۳ انجام داده ایم و پارامتر های جدیدی را برای سیستم را به دست آورده ایم.

---

[3] Hertzprung Russell
[4] Hoffmeister

فصل اول

طبقه بندی ستارگان دوتایی

۱-۱ انواع ستارگان دوتایی

ستارگان دوتایی را می توان به سه دسته کلی تقسیم نمود:

- **دوتایی های نوری[۵] : ستارگانی که با یکدیگر ارتباط فیزیکی ندارند و در آسمان به طور اتفاقی در راستای خط دید یکسان قرار گرفته اند.**
- **دوتایی های مرئی[۶] : ستارگانی که توسط نیروی گرانش با هم ارتباط دارند و در ضمن قابل رؤیت با تلسکوپ نیزمی باشند.**
- **دوتایی های غیرمرئی[۷] : ستارگانی که طبیعت دوتایی آن ها از طریقی غیر از مشاهده مستقیم قابل آشکارسازی است، مانند آشکارسازی از طریق گرفت[۸] ، طیف سنجی[۹] و یا حرکات غیرعادی در حرکت مداری[۱۰] ستاره.**

البته از لحاظ مفهومی تفاوت چندانی میان دو دسته اخیر وجود ندارد. زیرا با پیشرفت تلسکوپ ها این امکان وجود دارد که دوتایی ای که قبلا در دسته غیر مرئی ها بوده وارد دسته مرئی ها شود. برای مثال می توان ستاره قطبی[۱۱] را نام برد. ستاره قطبی درواقع یک سیستم سه تایی است. مؤلفه دوم آن که حتی با یک تلسکوپ معمولی هم قابل رؤیت است، در سال ۱۷۸۰ توسط ویلیام هرشل[۱۲] کشف شد. در سال ۱۹۲۹ پس از بررسی طیف این سیستم نتیجه گیری شد که ستاره قطبی باید دارای یک همدم سوم هم باشد. در نهایت،

---

[5] Optical Doubles
[6] Visual Binaries
[7] Non-Visual Binaries
[8] Occultation
[9] Spectroscopy
[10] Anomalies in Proper Motion
[11] Polaris
[12] William Herschel

در سال ۲۰۰۶، تصویر هر سه مؤلفه سیستم سه تایی ستاره قطبی توسط تلسکوپ هابل رؤیت گردید [۲۲].

حال به توضیحاتی بیشتر پیرامون انواع دوتایی ها می پردازیم.

۱-۱-۱ دوتایی های نوری

میزر[۱۳] و یا عناق ستاره ای است در صورت فلکی دب اکبر[۱۴]. با دید معمولی چشم به راحتی می توان همدم کم نورتر این ستاره را که سها و یا الخور[۱۵] نام دارد، در سمت شرقی آن تشخیص داد. قدر میزر حدود ۱/۸ کمتر از قدر الخور می باشد. میزر و الخور گاهی با هم با نام "اسب و سوار" خوانده می شوند. با اینکه حتی با بینایی نسبتا ضعیف چشم هم می توان این دو ستاره را از یکدیگر تفکیک نمود، معمولا تشخیص این دو ستاره از هم، با چشم غیر مسلح، معیاری برای سنجش بینایی بوده است.

شکل ۱-۱ میزر و الخور

13 Mizar
14 Constellation Ursa Major
15 Alcor

فاصله میزر و الخوراز یکدیگر ۳ سال نوری و از زمین به ترتیب حدود ۷۸ و ۸۱ سال نوری می باشد. این دو ستاره نمونه ای از ستارگان دوتایی نوری هستند و همانطور که قبلا هم اشاره

شد این ستارگان ارتباط فیزیکی با یکدیگر ندارند و تنها به علت نحوه قرار گرفتنشان در آسمان است که به صورت دوتایی به نظر می رسند.

نمونه ای دیگر از این نوع ستارگان دوتایی **Xi Sagittarii** می باشد. در واقع این اسم به طور مشترک به دو ستاره Sagittarii ξ^1 و Sagittarii ξ^2 اطلاق می شود. فاصله Sagittarii ξ^1 Sagittarii حداقل ۲۳۰۰ سال نوری از زمین است در حالی که Sagittarii ξ^2 تنها چیزی حدود ۳۷۰ سال نوری از زمین فاصله دارد! ستارگان دوتایی نوری به راحتی از روی حرکات نامربوط مؤلفه هایشان قابل تشخیص هستند و تا کنون بیش از ۱۰۰۰۰۰ ستاره دوتایی نوری شناخته شده اند [۲۸][۲۶].

۱-۱-۲ دوتایی های مرئی

همانطور که اشاره شد دوتایی مرئی به سیستمی گفته می شود که در آن نیروی گرانش، هر دو ستاره را به یکدیگر مقید کرده است. اما جدایی زاویه ای دو ستاره به اندازه کافی بزرگ هست که هر دو مؤلفه به صورت مجزا در صفحه تلسکوپ قابل مشاهده باشند. بنابراین توان

تفکیک[16] تلسکوپ عامل مهمی در آشکار سازی این نوع از دوتایی ها می باشد. هر چه تلسکوپ ها بزرگ تر و قوی تر باشند، تعداد بیشتری از دوتایی های مرئی قابل رؤیت خواهند بود. عامل مؤثر دیگر در تشخیص این دسته از دوتایی ها، درخشندگی آن ها می باشد. زیرا هر چه مؤلفه های سیستم درخشان تر باشند، به علت درخشش آن ها، مشکل تر از هم قابل تفکیک می شوند. طبق مشاهدات انجام شده توسط راصدان، به ازای هر ۱۸ ستاره با قدر ظاهری کمتر از ۹ در آسمان نیمکره شمالی، حداقل یک ستاره دوتایی مرئی وجود دارد [۲۳].

برای بیان مثالی از دوتایی های مرئی، باز هم میزر را نام می بریم! با ساخت و پیشرفت تلسکوپ ها و روش های طیف سنجی، مؤلفه های دیگری از این دوتایی کشف شدند. میزر اولین دوتایی مرئی (تلسکوپی[17]) است که احتمالا توسط بندتو کاستلی[18] که در سال ۱٦۱۷ از گالیله[19] خواسته بود آن را رصد کند، کشف شده است. پس از آن گالیه گزارش کاملی از رصد دوتایی میزر ارائه نمود. در سال ۱٦۵۰ ریسیولی[20] هم به دوتایی بودن میزر اشاره نمود. قدر ستاره همدم یعنی میزرB ٤/۰ می باشد. این در حالی است که قدر خود میزر ۲/۲۳ است. در ضمن فاصله میان این دو ستاره یعنی میزر A و میزرB از یکدیگر ۳۸۰ AU و یا دو روز نوری است و هزاران سال طول می کشد تا میزرA و میزرB یک باردور یکدیگر بچرخند.

---

16 Resolving Power
17 Telescopic
18 Benedetto Castelli
19 Galileo Galilei
20 Riccioli

۱-۱-۳ دوتایی های غیر مرئی

این دسته از دوتایی ها خود شامل دوتایی های طیف سنجی، اخترسنجی[۲۱] و گرفتی است و ما درباره هرکدام از آن ها هم توضیحی خواهیم داد.

۱-۱-۳-۱ دوتایی های طیف سنجی

گاهی اوقات تنها از روی اثر دوپلر بر نور تابش شده توسط ستاره، می توان به دوتایی بودن آن پی برد. در این گونه موارد، سیستم شامل دو ستاره ای است که حول مرکز جرم مشترکشان در حال چرخش هستند و خطوط طیفی در نور تابش شده توسط هر کدام از مؤلفه ها به طور تناوبی و با همان دوره تناوب مداری آن ها، وقتی به ما نزدیک می شوند به سمت طول موجهای آبی و هنگامی که از ما دور می شوند به طرف طول موجهای قرمز انتقال می یابند.

در این نوع سیستم ها جدایی میان ستاره ها معمولا بسیار کم است و سرعت مداری بالا می باشد (حداقل $1\ Km/s$). بجز در حالتی که صفحه مداری چرخش ستاره ها عمود بر راستای خط دید ما باشد، سرعت های مداری سیستم، مؤلفه هایی در راستای خط دید ما خواهد داشت و سرعت شعاعی[۲۲] سیستم به صورت تناوبی تغییر می کند. از آنجائیکه سرعت های شعاعی توسط طیف سنج و با مشاهده اثر دوپلر بر روی خطوط طیفی مؤلفه ها اندازه گیری می شود، نام دوتایی هایی که به این روش شناخته می شوند، دوتایی های طیف سنجی می باشد. بیشتر این دوتایی ها حتی با بهترین تلسکوپ های موجود هم قابل شناسایی نیستند.

---

21 Astrometric Binaries
22 Radial Velocities

مدار دوتایی های طیف سنجی توسط مشاهدات طولانی سرعت هـای شـعاعی مؤلفـه های سیستم تعیین می شود. سپس داده های این مشاهدات بر حسب زمان رسم می شـوند و از روی منحنی به دست آمده، دوره تناوب سیستم به دست می آید. اگر مدار چـرخش دایـره ای باشد، منحنی به صورت سینوسی خواهد بود. اگر مدار بیضوی باشد، آن گاه شکل منحنـی بـه خروج از مرکز[۲۳] و همچنین جهت گیری قطر اطول نسبت به راستای خط دید بـستگی خواهـد داشت.

تعیین همزمان نیم- قطر اطول a و زاویه میل مداری i غیر ممکن است و تنها می توان حاصل ضرب a و $\sin i$ را به طور مستقیم و بر حسب واحد های طولی (مـثلا کیلـومتر) بـه دست آورد. اگر a و یا i را به طریقـی دیگـر، مـثلا بـا حـل نورسـنجی سیـستم دوتـایی گرفتی(در صورتی که سیستم گرفتی نیز باشد) به دست آوریم، حل کاملی برای مـدار سیـستم خواهیم داشت [۱٤][۲۵].

برای ذکر نمونه ای از دوتایی های طیف سنجی باز هم به سراغ میزر می رویـم. میـزر A اولین دوتایی طیف سنجی بود کـه کـشف شـد. همـدم طیـف سـنجی میـزر A توسـط پیکرینگ[۲٤] و در سال ۱۸۸۹ کشف شد. میزر A و همدم طیفی آن هر دو تقریبا ۳۵ بار درخشان تر از خورشید ما هستند و هر ۲۰ روز یک بار حول یکدیکر می چرخند. بعد ها کشف شد که میزرB نیز خود یک دوتایی طیف سنجی است و مؤ لفه همدم آن هر ٦ ماه یکبار دوره مـداری خود را کامل می نماید. در سال ۱۹۹٦ یعنی ۱۰۷ سال بعد از کشف آن ها، تصویر مؤلفه طیف سنجی میزر A مشاهده شد.

---

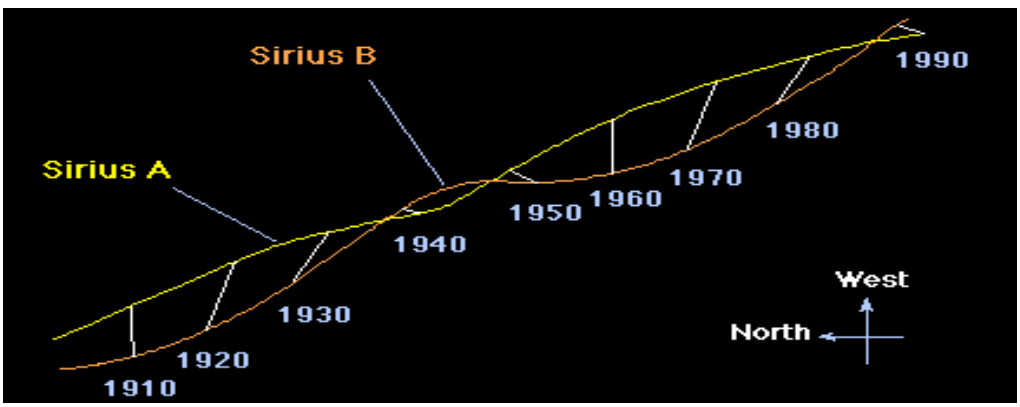
[23] Eccentricity
[24] Pickering

ستاره های دوتایی که هم مرئی باشند و هم طیف سنجی بسیار نادر هستند. ایـن گونـه دوتایی ها منبع اطلاعات ارزشمندی می باشند. جدایی دوتایی های مرئی معمولا بـسیار زیـاد است و دوره تناوب آن ها نیز ممکن است ده ها سال و یا قـرن هـا باشـد.در نتیجـه سـرعت مداری آن ها کمتر از چیزی است که بتوان آن را از طریق طیف سنجی اندازه گیری کـرد. بـر عکس، سرعت مداری دوتایی های طیف سنجی بسیار زیاد است. زیرا مؤلفه هـا بـه یکـدیگر نزدیک هستند و معمولا نمی توان آن ها را به صورت مرئی مشاهده نمـود. بنـابراین دوتـایی هایی که هم مرئی باشند و هم طیف سنجی باید نسبتا به زمین نزدیک باشند.

۱-۱-۳-۲ دوتایی های اختر سنجی

منجمان ستارگانی را کشف کرده اند که به نظر می رسد حـول یـک فـضای خـالی در حـال چرخش هستند. این ستارگان که دوتایی های اختر سنجی نام گرفته اند، فاصله نسبتا کمی بـا زمین دارند و به نظر می رسد حول نقطه ای در فضا در حال لنگ خوردن هستند در حالی کـه هیچ همدم قابل مشاهده ای ندارند.

شکل ۱-۲ دوتایی اختر سنجی شعرای یمانی



مؤلفه دوم در چنین دوتایی هایی یا آنقدر کم نور است که قابل آشکارسازی نیست و یا توسط درخشش مؤلفه اول محو شده است. همچنین ممکن است جسمی باشد مانند ستاره نوترونی که تابش مغناطیسی ناچیزی از خود گسیل می کند.

به وسیله همان روش ها و ریاضیاتی که برای دوتایی های معمولی مورد استفاده قرار می گیرد، می توان جرم مؤلفه همدم گمشده را به دست آورد. ابتدا مکان ستاره مرئی به دقت اندازه گیری و تغییرات آن تحت تأثیر جاذبه گرانشی همدم نامرئی اش آشکار می شود. سپس مکان ستاره به طور مکرر، نسبت به ستارگان دورتر اندازه گیری می شود. معمولا چنین اندازه گیری هایی تنها برای ستارگان نزدیک ما، یعنی ستارگانی که در محدوده ۱۰ پارسکی خورشید هستند، می تواند انجام پذیرد. این شامل ستارگانی است که کمتر از ۳۳ سال نوری با ما فاصله داشته باشند.

اولین دوتایی اختر سنجی کشف شده، پرنورترین ستاره آسمان شبهای نیم کره شمالی، یعنی ستاره شعرای یمانی[۲۵] است که حدود ۸/٦ سال نوری با ما فاصله دارد. قدر این ستاره ۱/٤٦- می باشد و ۲۵ بار درخشان تر از خورشید ما است [۲۱]. در ضمن جرم آن دو برابر جرم خورشید است. تولد شعرای یمانی A به ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیون سال قبل برمی گردد. در ابتدا این سیستم شامل دو ستاره آبی درخشان بوده است که هر ۹/۱ سال مدار بیضوی خود را کامل می کردند.

---

25 Sirius