بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند

دانشکده علوم

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک(نجوم)

نورسنجی و تحلیل منحنی نوری

ستاره دوتایی گرفتی U Peg در صافی‌های B، V و R

استاد راهنما:

دکتر عباس عابدی

نگارش:

فخرالدین اکبریان ترک آباد

شهریورماه ۱۳۹۰

تقدیم

تقدیم به عزیزترین عزیزانم، پدر و مادرم

تشکر و قدردانی

پس آموزگارت مسیحای توست　　دم پاکش افسون احیای توست

در آغاز بر خود لازم میدانم که از زحمات بیدریغ پدر و مادرم و راهنماهای ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر عابدی که چون پدری دلسوز مرا در جهت تهیه و تدوین این مجموعه یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را بنمایم. همچنین از کلیه اساتید ارجمندم در طول سالهای به یادماندنی شاگردیشان بخصوص اساتید محترم آقایان دکتر نفیسی، دکتر پژوهش، دکتر عربی، دکتر امیرآبادیزاده، دکتر فیروزآبادی، دکتر سخائی، دکتر فراشباشی، دکتر مکتب داران، دکتر خراشادی زاده، مهندس محمدی، مهندس گوهری منش، مهندس غلامحسین پور و سرکار خانم ها دکتر ابراهیمی و دیوانی تشکر و قدردانی می نمایم.

از دوستان و همکلاسی های خود آقایان فرحی نژاد، طاهری، روشنی، ساعی، آکی، رضایی، صدیقی، عبداله زاده، شهری، حسین زاده، زارع، عزیزی، حیرانی، مظلوم، رزم جویی، دهقان، خردادی، مؤمنی، کاظمی، عابدینی، مژدی، عفیفه، فخاری زاده، علیزاده، صادقیان، برزگری، صحرائی و خانم ها مؤمنی، حسین زاده، زارعی، مصطفایی و عباسی تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

در این پژوهش ستاره دوتایی گرفتی U Peg با رده طیفی G2V که یک سیستم W UMa از نوع W می‌باشد، در سه صافی B، V و R جانسون بوسیله‌ی تلسکوپ اشمیت-کاسگرین با قطر دهانه ۱۴ اینچ و یک دستگاه فتومتر SSP5A در رصدخانه دکتر مجتهدی دانشگاه بیرجند نورسنجی شده است. با استفاده از نرم‌افزار فوبه، داده‌های حاصل از نورسنجی سیستم تجزیه و تحلیل شده و پارامترهای فیزیکی و هندسی نسبی این سیستم بدست آمده‌اند. همچنین به کمک پارامترهای منحنی سرعت شعاعی سیستم، کمیت‌های مطلق آن تعیین گردیده‌اند. در ادامه با استفاده از زمان‌های کمینه گرفت در دسترس که در مقالات گزارش شده، بعلاوه‌ی کمینه‌هایی که به دست آوردیم، منحنی O-C کمینه‌های گرفت سیستم رسم گردید و با بررسی انجام شده بر روی این منحنی آهنگ تغییر دوره تناوب سیستم به واسطه انتقال جرم بین دو مؤلفه و آهنگ این انتقال جرم تعیین شده است. همچنین دو رفتار تناوبی دیگر نیز در منحنی O-C کمینه‌های گرفت سیستم مشاهده گردید که یکی از این رفتارهای تناوبی به وجود جسم سوم نسبت داده شد و پارامترهای جسم سوم و دوره تناوب مدار سه تایی بدست آمده‌اند که با توجه به جرم بدست آمده برای جسم سوم این جسم می‌تواند یک کوتوله سفید باشد. در تحلیل منحنی نوری سیستم بدلیل عدم تقارن در منحنی نوری سیستم وجود دو لکه سرد بر روی مؤلفه ثانویه سیستم استنتاج گردید، که رفتار تناوبی دوم مشاهده شده در منحنی O-C کمینه‌های گرفت سیستم به حرکت این لکه‌ها بر روی سطح ستاره ثانویه نسبت داده شده و دوره تناوب این حرکت محاسبه گردیده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱- مروری بر سیستم‌های دوتایی ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تاریخچه ستارگان دوتایی ۲

۱-۳- انواع سیستم‌های دوتایی ۶

۱-۳-۱- سیستم‌های دوتایی نوری ۶

۱-۳-۲- سیستم‌های دوتایی مرئی ۶

۱-۳-۳- سیستم‌های دوتایی اختر سنجی ۷

۱-۳-۴- سیستم‌های دوتایی طیف سنجی ۷

۱-۳-۵- سیستم‌های دوتایی طیفی ۸

۱-۳-۶- سیستم‌های دوتایی گرفتی ۸

۱-۴- رده بندی ستارگان دوتایی: ۸

۱-۴-۱- دوتایی‌های جدا از هم: ۹

۱-۴-۲- دوتایی‌های نیمه جدا : ۹

۱-۴-۳- دوتایی‌های تماسی: ۱۰

۱-۴-۴- نوع الغول (EA): ۱۱

۱-۴-۵- نوع بتاچنگ (EB) : ۱۲

۱-۴-۶- نوع دبلیودب اکبر (EW): ۱۳

۱-۵- پیدایش ستارگان دوتایی ۱۳

فصل ۲- مدل روچ ۱۵

۲-۱- مقدمه ۱۵

۲-۲- سطوح هم‌پتانسیل در سیستم دوتایی ۱۵

۲-۳- اندازه و شکل ستارگان در سیستم‌های دوتایی ۲۰

۲-۴- نقاط لاگرانژی ۲۱

فصل ۳- بررسی سیستم‌های دوتایی گرفتی ۲۴
۳-۱- مقدمه ۲۴
۳-۲- پارامترهای مداری سیستم‌های دوتایی ۲۵
۳-۳- نورسنجی ۲۷
۳-۳-۱- زمان ژولیانی خورشید مرکزی ۲۸
۳-۴- عوامل مؤثر بر منحنی نوری سیستم‌های دوتایی ۳۰
۳-۴-۱- تاریکی گرانشی ۳۰
۳-۴-۲- اثر بازتاب ۳۱
۳-۴-۳- تاریکی لبه ۳۲
۳-۴-۴- جسم سوم ۳۵
۳-۴-۵- حرکت اوجی ۳۵
۳-۴-۶- لکه‌های سطح ستاره ۳۶
۳-۵- مدل سازی دوتایی‌ها ۳۶
۳-۵-۱- برنامه LC ۳۶
۳-۵-۲- برنامه DC ۳۷
۳-۵-۲-۱- روش تصحیحات دیفرانسیلی ۳۷
۳-۵-۳- نرم‌افزار فوبه ۳۸

فصل ۴- نورسنجی و کاهش داده‌ها ۴۰
۴-۱- مقدمه ۴۰
۴-۲- انتخاب سیستم دوتایی ۴۰
۴-۳- تلسکوپ اشمیت-کاسگرین: ۴۲
۴-۴- فتومتر SSP5A ۴۳
۴-۵- داده‌گیری از سیستم دوتایی ۴۴
۴-۶- کاهش داده‌ها ۴۴

فصل ۵- بررسی جامع نورسنجی ستاره دوتایی گرفتی U Peg ۴۹
۵-۱- مقدمه ۴۹
۵-۲- تحلیل منحنی نوری دوتایی گرفتی U Peg ۵۰
۵-۳- تعیین پارامترهای مطلق ۵۵

۵-۴- زمان‌های کمینه گرفت مشاهداتی ۵۷
۵-۵- تغییرات دوره تناوب ۵۹
۵-۶- جسم سوم و پارامتر های سیستم سه تایی ۶۳
۵-۷- اثر لکه‌ها بر زمان‌های کمینه گرفت ۶۹
فصل ۶- نتیجه‌گیری ۷۳
فهرست مراجع ۷۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۴-۱: مشخصات ستاره متغیر و مقایسه ۴۱

جدول۵-۱: پارامترهای نسبی ستاره دوتایی گرفتی U Peg در سه صافی B، V و R جانسون ۵۳

جدول۵-۲: پارامترهای نسبی بدست آمده برای ستاره دوتایی گرفتی U Peg در کارهای قبلی ۵۴

جدول۵-۳: چهار پارامتر T_2، Ω، f_{over} و q بدست آمده برای ستاره دوتایی گرفتی U Peg در کارهای قبلی ۵۴

جدول۵-۴: مشخصات لکه‌های سطح ستاره ثانویه ۵۵

جدول۵-۵: پارامترهای مطلق سیستم دوتایی U Peg ۵۶

جدول۵-۶: تاریخ ژولیانی کمینه‌های اولیه و ثانویه در سه صافی V,B و R جانسون ۵۷

جدول۵-۷: ضرایب تابع درجه ۲ برازش داده شده بر منحنی O-C ۶۱

جدول۵-۸: پارامترهای سیستم سه تایی ۶۷

جدول۵-۹: مقادیر جرم و شعاع جسم سوم برای زوایای مداری مختلف ۶۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: وضعیت قرارگیری دو مؤلفه نسبت به سطوح هم‌پتانسیل اطراف ستاره‌ها در دوتایی‌های جدا از هم ۹

شکل ۱-۲: وضعیت قرارگیری دو مؤلفه نسبت به سطوح هم‌پتانسیل اطراف ستاره‌ها در دوتایی‌های نیمه جدا ۱۰

شکل ۱-۳: وضعیت قرارگیری دو مؤلفه نسبت به سطوح هم‌پتانسیل اطراف ستاره‌ها در دوتایی‌های تماسی ۱۰

شکل ۱-۴: وضعیت قرارگیری دو مؤلفه نسبت به سطوح هم‌پتانسیل اطراف ستاره‌ها در دوتایی‌های فوق تماسی ۱۱

شکل ۱-۵: شکل‌های c,b,a به ترتیب منحنی‌های نوری EA، EB و EW هستند. ۱۲

شکل ۲-۱: هندسه یک سیستم دوتایی ۱۶

شکل ۲-۲: زوایای مورد استفاده در مختصات کروی ۱۸

شکل ۲-۳: نمودار سطوح هم‌پتانسیل مدل روچ و نقاط لاگرانژی برای ستارگان دوتایی ۲۳

شکل ۳-۱: پرتوافکنی مؤلفه اولیه(چپ) توسط مؤلفه ثانویه(راست)، برای محاسبه میزان گرمایش المان سطح$d\sigma 1$ در سطح مؤلفه اولیه باید میزان مشارکت تمام المان‌های $d\sigma 2$ سطح ستاره ثانویه را در نظر گرفت. ۳۲

شکل ۳-۲: تأثیر اثر تاریکی لبه بر روی نور رسیده از قرص ستاره ۳۳

شکل ۳-۳: تأثیر تغییر آرگمان طول حضیض در فاز منحنی نوری برای یک سیستم دوتایی ساخته شده با دوره تناوب یک روز و $\omega = 360/Day$، منحنی نوری سمت چپ بر حسب HJD و سمت راست بر حسب فاز رسم شده است. ۳۵

شکل ۴-۱: وضعیت قرارگیری سیستم دوتایی U Peg و ستاره مقایسه در آسمان ۴۲

شکل ۴-۲: شمایی از فتومتر SSP5A ۴۳

شکل ۴-۳: فایل ورودی برنامه رد ویپ ۴۵

شکل ۴-۴: منحنی تغییرات نوری سیستم دوتایی U Peg در سه صافی V,B و R جانسون بر حسب تغییرات قدر ۴۸

شکل ۵-۱: تطبیق منحنی نوری محاسباتی و مشاهداتی سیستم دوتایی U Peg در صافی‌های V,B و R جانسون ۵۲
شکل ۵-۲: منحنی سرعت شعاعی دوتایی U Peg ۵۶
شکل ۵-۳: تطبیق تابع لورنتسی بر نقاط کمینه گرفت در سه صافی V,B و R جانسون ۵۸
شکل ۵-۴: منحنی O-C کمینه‌های گرفت سیستم دوتایی U Peg ۶۱
شکل ۵-۵: تطبیق تابع درجه ۲ بر منحنی $o\text{-}c\mathrm{I}$ سیستم U Peg ۶۲
شکل ۵-۶: منحنی $o\text{-}c\mathrm{II}$ حاصل از تفاضل نقاط منحنی $o\text{-}c\mathrm{I}$ از تابع درجه ۲ ..... ۶۳
شکل ۵-۷: مدار سیستم سه تایی که در اینجا i برابر با ۹۰ درجه در نظر گرفته شده است. ۶۴
شکل ۵-۸: تطبیق تابع نور-زمان بواسطه جسم سوم برمنحنی باقیمانده‌ها ($o\text{-}c\mathrm{II}$) بر حسب آنومالی حقیقی v ۶۶
شکل ۵-۹: منحنی o-cIII حاصل از تفاضل نقاط منحنی o-cII از تابع نور-زمان ۶۹
شکل ۵-۱۰: منحنی نوری سیستم دوتایی U Peg در طول سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۹ ..... ۷۰
شکل ۵-۱۱: منحنی $o\text{-}c\mathrm{III}$ که یک رفتار تناوبی با دوره تناوب ۳۷/۴۷ سال را نشان می‌دهد. ۷۱
شکل ۵-۱۲: توزیع باقیمانده‌های نهایی داده‌های o-c حول خط افقی که از مبداء می‌گذرد. ۷۱
شکل ۵-۱۳: منحنی تغییرات اختلاف بین عمق گرفت اولیه و ثانویه با دوره تناوب ۳۴/۰۴ سال ۷۲
شکل ۶-۱: موقعیت قرارگیری لکه‌ها روی سطح ستاره ثانویه(راست)، موقعیت دو مؤلفه نسبت به سطوح روچ(چپ) ۷۵

فصل ۱– مروری بر سیستم‌های دوتایی

۱–۱– مقدمه

بیشتر ستارگان اطراف ما، یا به گفته دیگر بیشتر ستارگانی که ما با ابزار های اپتیکی خود مشاهده می کنیم تک ستاره نیستند، بلکه سیستم های دو یا چند ستاره ای هستند که به خاطر نیروی گرانشی متقابل بین مؤلفه‌ها، در حال گردش به دور یکدیگر هستند.

در مطالعه انجام شده توسط ابت[1](۱۹۸۳) و مطالعات بعدی توسط پینفلد[2] و دیگران(۲۰۰۳) مشخص شده است که در حدود ٪۵۰ از سیستم‌های ستاره‌ای، دوتایی و یا چندتایی می‌باشند. این حقیقت به تنهایی باعث مورد توجه قرار گرفتن این سیستم‌ها شده و ارزش کار و مطالعه بر روی آن‌ها را بالا می‌برد. از آنجایی که این سیستم‌ها سهم زیادی در اجرام سماوی دارند بنابراین احتمال یافتن آنها در کهکشان ما، خوشه‌های کهکشانی باز و کروی، هاله کهکشانی و کهکشان‌های دیگر زیاد است و مطالعات زیادی بر پایه آن‌ها انجام می‌گیرد. که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- یکی از راه‌های عملی برای محاسبه جرم ستارگان، سیستم‌های دوتایی می‌باشند. که به عنوان مثال می‌توان به کاتالوگ جمع‌آوری شده از جرم ستارگان با استفاده از سیستم‌های دوتایی‌ها توسط مارتین[3] و دیگران (1998) اشاره کرد.
- فرضیه سیر تکاملی ستاره‌ای با وجود سیستم‌های دوتایی با مؤلفه‌های هم‌سن تصدیق می‌شود. اما این مورد تنها در ستارگان دوتایی جدا از هم صادق است، زیرا در ستارگان تماسی ساز و کارهای موجود مثل انتقال جرم باعث اختلال سیر تکاملی هر مؤلفه به صورت یک ستاره منفرد می‌شود.
- با توجه به وابسته بودن شکل دو مؤلفه بهم از روی شکل دو ستاره و از طریق برهمکنش‌های جزر و مدی بعضی از پارامترهای فیزیکی سیستم قابل محاسبه است.

---

[1] Abt
[2] Pinfeld
[3] Martin

- دوتایی‌ها فقط شامل ستارگان معمولی و عادی نیستند بلکه می‌توانند شامل انواع ستارگان مانند ستارگان متغیر، تپنده و یا هر نوع دیگر باشند. بنابراین در یک مطالعه کلی می‌توان انواع مختلفی از ستارگان را شناسایی کرد. به عنوان مثال می‌توان به مطالعات وربنت[1](۱۹۹۳) برای دوتایی‌های اشعه x، متیو[2](۱۹۹۴) برای دوتایی‌های پیش رشته اصلی، تام[3](۲۰۰۰) برای دوتایی‌های پرجرم با یک پوش مشترک و پنفیلد(۲۰۰۵) برای دوتایی کوتوله قهوه‌ای اشاره کرد.
- از آنجایی که قدر مطلق هر مؤلفه از سیستم دوتایی با استفاده از درخشندگی آن به دست می‌آید، از سیستم‌های دوتایی برای تخمین فاصله نیز می‌توان استفاده کرد. به عنوان مثال می‌توان به کار انجام شده توسط موناری[4](۲۰۰۴) برای مشخص کردن فاصله خوشه پروین و کار ریباس[5](۲۰۰۴) برای مشخص کردن فاصله‌ی M31 با استفاده از سیستم‌های دوتایی اشاره کرد[۱].

۱-۲- تاریخچه ستارگان دوتایی

مدت کوتاهی بعد از آنکه اولین تلسکوپ ساخته شد، اولین ستاره دوتایی مرئی نیز توسط منجم ایتالیایی، ریکسیولی[6] (۱۶۵۰)، به نام میزار[7] واقع در دب اکبر کشف شد (هنگامی که ایزاک نیوتن[8] تنها ۷ سال داشت). در مدت ۷۰ سال بعد از این کشف تعداد کمی از این نوع ستارگان کشف شد که مهمترین آنها به ترتیب زیر می‌باشد:

- در ۱۶۵۹، مؤلفه سه تایی از θ ori توسط Huygens
- در ۱۶۶۴، γ Ari توسط Hooke
- در ۱۶۸۵، α Cru توسط Farther Fontenay

[1] Verbunt
[2] Mathieu
[3] Taam
[4] Munari
[5] Ribas
[6] J.R.Riccioli
[7] Mizar
[8] Isaac Newton

- در ۱۶۸۹، α Cen توسط Farther Richaud
- در ۱۷۱۸، γ Vir توسط Bradley & Pound
- در ۱۷۱۹، Castor توسط Bradley & Pound

تا زمانی که ایزاک نیوتن تئوری خود را منتشر نکرده بود، این مشاهدات فقط در حد کنجکاوی های منجمین در آسمان شب بود که به طور تصادفی در راستای خط دید آنها قرار می‌گرفت.

اولین کاتالوگ از ستارگان دوتایی شامل ۸۰ سیستم در سال ۱۷۸۱ توسط مایر[1] منتشر گردید. فرض اولیه او این بود که این سیستم‌ها شامل ستارگانی با جرم کمتر از خورشید می‌باشند که حول یک ستاره با جرم بیشتر از خورشید در حال چرخش هستند(همانند پیش بینی نیوتن).

از آنجایکه این فقط یک نظریه بود و تا به حال چنین حرکتی در سیستم‌های ستاره‌ای مشاهده نشده بود، ویلیام هرشل[2] تصمیم گرفت هر ستاره در آسمان را مورد آزمایش قرار دهد. این به این معنی است که او در اصل اعتقادی به اینکه ستارگان دوتایی یک سیستم فیزیکی هستند، نداشته است. او قصد داشت تا با مشاهده‌ی ستارگان دوتایی و اندازه‌گیری اختلاف منظر آنها فاصله دو ستاره را اندازه‌گیری کند.

ویلیام هرشل اولین فهرست از ۲۶۹ ستارگان دوتایی را در سال ۱۷۸۲ منتشر کرد. دو سال بعد فهرست دوم خود را با ۴۳۴ ستاره دوتایی اضافه شده منتشر کرد. او مشاهدات خود را با همکاری خواهرش کارولین ادامه داد.

در سال ۱۷۹۷ ویلیام هرشل یک مرور کلی از کار خود بر روی ستارگان دوتایی را ارائه داد، که نشان دهنده تغییرات در مکان نسبی مؤلفه‌ها در طول مشاهدات چندین ساله بود.

لفظ ستارگان دوتایی از سال ۱۸۰۲ م توسط سر ویلیام هرشل به کار رفت .در تعریف او آمده است، « یک ستاره دوتایی واقعی متشکل از دو ستاره است، به طوری که یکدیگر را جذب می‌کنند.»

[1] C.Mayer
[2] William Herchell

در سال ۱۸۰۳ ویلیام هرشل بر پایه مشاهدات خود از سیستم‌های دوتایی به این نتیجه رسید که بعضی از این سیستم‌ها باید سیستم‌های فیزیکی در اندرکنش متقابل باشند. این نتیجه به احتمال زیاد اولین گواه بر قانون فراگیر اندرکنش گرانشی نیوتن بوده است.

جان[1] پسر ویلیام هرشل کار پدرش را بعد از سال ۱۸۱۶ ادامه داد. جان هرشل در ابتدا یک فهرست شامل ۳۸۰ ستاره دوتایی را با همکاری دوستش جیمز سوث[2] منتشر کرد.

با پیشرفت تکنولوژی و ساخت تلسکوپ‌هایی که در حالت استوایی قرار داشتند. جان هرشل تصمیم گرفت تا آسمان ناشناخته جنوب را مورد مطالعه قرار دهد. در سال ۱۸۳۳ او با سه بسته از تلسکوپ پدرش با استفاده از یک کشتی راهی آفریقای جنوبی شد. او چهار سال از مشاهدات بعدی خود را به مطالعه خوشه‌های کهکشانی و ۲۱۰۰ ستاره دوتایی اختصاص داد و در سال ۱۸۳۸ به انگلستان بازگشت و بعد از آن هرگز دوباره تلسکوپ خود را باز نکرد.

اولین تلسکوپ استوایی با عدسی شکستی فرانهوفر[3] توسط ویلهم استرو[4] در رصدخانه تارتو[5] برای مطالعه سیستم‌های دوتایی مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل اشتیاق زیاد استرو نسبت به تلسکوپ جدیدش، او تنها چهار روز بعد از رسیدن تلسکوپ آن را آماده کرد و شروع به انجام کار مشاهداتی خود نمود. در واقع او ۱۲۰۰۰۰ ستاره را در طول ۱۲۹روز مشاهده کرد.

هدف استرو مطالعه ستارگان دوتایی و سیستم‌های فیزیکی بود، در ابتدا یک فهرست از ستارگان دوتایی را تحت عنوان Catalogus Novus در سال ۱۸۲۷ متشر کرد، سپس به اندازه گیری موقعیت نسبی مؤلفه‌ها پرداخت و نتایج خود را تحت عنوان Mensurae Micrometricae در سال ۱۸۳۷ منتشر کرد. سرانجام او موقعیت میانه ستارگان را تحت عنوان Positiones Mediae در سال ۱۸۵۲ منتشر کرد.

---

[1] John
[2] James South
[3] Fraunhofer
[4] Wilhelm Struve
[5] Tartu

در سال ۱۸۳۹ ویلهلم استرو برای ساخت رصدخانه جدید روسی ایمپریال[۱] دعوت شد. در آنجا بود که او بزرگترین تلسکوپ را با حرکت استوایی و قطر دهانه ۱۵ اینچ در اختیار داشت. مطالعه سیستم‌های دوتایی با این ابزار توسط پسرش اتو استرو[۲] بهبود یافت.

در پایان سده‌ی ۱۸۰۰ و شروع ۱۹۰۰ منجمین سراسر دنیا در زمینه کشف تعداد بیشتری از ستارگان دوتایی در یک رقابت تنگاتنگ بودند، مانند حال که هر کس به دنبال یافتن کهکشانی با قرمز شدگی بیشتر است.

هنگامی که دو مؤلفه به هم نزدیک باشند، دیگر مانند دوتایی‌های مرئی قابل تشخیص نمی‌باشند، این دوتایی‌ها را می‌توان از جابه‌جایی خطوط طیفیشان (دوتایی‌های طیفی) و یا از روی تغییرات نور رسیده از آنها (دوتایی‌های گرفتی) آشکارسازی کرد.

اولین دوتایی طیفی توسط پیکرینگ[۳] در آگوست سال ۱۸۸۹ میلادی کشف شد. نکته جالب در این است که این دوتایی طیفی یکی از مؤلفه‌های اولین دوتایی مرئی مشهور میزار می‌باشد.

الغول[۴] اولین دوتایی گرفتی بود که توسط گودریک[۵] در ۱۷۸۲ کشف شده بود و در نوامبر سال ۱۸۸۹ وگل[۶] کشف کرد که الغول یک دوتایی طیفی نیز می‌باشد. اولین فهرست از سیستم‌های دوتایی طیفی ۱۵ سال بعد از کشف اولین نمونه، شامل ۱۴۰ ستاره دوتایی طیفی منتشر شد. یک فهرست از عناصر مداری این سیستم‌ها نیز توسط یک گروه از منجمین در رصدخانه پومینیون[۷] واقع در ویکتوریای کانادا تهیه شد.

---

[1] Imperial
[2] Otto Struve
[3] E.C.Pickering
[4] Algol
[5] Goodericke
[6] H.C.Vogel
[7] Pominion Astrophysical

ستارگان دوتایی مرئی و طیفی یکی از منابع عمده ما برای مطالعه ساختار و تحول ستارگان می-باشند.یکی از نتایج عمده‌ی حاصل از مشاهدات انجام شده بر روی سیستم‌های دوتایی در طول این ۲۰۰ سال، رابطه تجربی جرم-درخشندگی برای ستارگان می‌باشد، گرچه باید به یاد داشته باشیم که این رابطه برای ستارگانی تا حدود ۲۵ برابر جرم خورشید و در کهکشان خودمان بدست آمده و برای ستارگان پرجرمتر به صورت برون‌یابی شده تعمیم داده شده است[۲].

۱-۳-انواع سیستم‌های دوتایی

سیستم‌های دوتایی با توجه به نحوه آشکار سازی آنها به صورت زیر تقسیم بندی می‌شوند:

۱-۳-۱- سیستم‌های دوتایی نوری[1]

گاه دو ستاره فقط از دید ما در یک امتداد قرار گرفته اند و نزدیک هم دیده می‌شوند ، در حالی که هیچ ارتباط فیزیکی با هم ندارند و فقط دارای بعد و میل یکسان هستند و حتی ممکن است صدها سال نوری از یکدیگر فاصله داشته باشند . این سیستم‌های دوتایی ظاهری ، به دوتایی های نوری معروفند. بارزترین نمونه از آنها، دو ستاره عناق[2] و سها[3] در دب اکبر هستند که آنها را با چشم غیر مسلح نیز می-توان تفکیک کرد. با توجه به اینکه این ستاره‌ها تحت تأثیر نیروی گرانشی یکدیگر نیستند، نمی‌توان از آنها برای بدست آوردن اطلاعاتی از دو مؤلفه استفاده کرد[۳].

۱-۳-۲- سیستم‌های دوتایی مرئی[4]

در موارد نادر دو ستاره به اندازه کافی از هم فاصله دارند به طوری که می‌توان جدایی آنها را مشاهده کرد. دوره تناوب این سیستم‌ها ممکن است در حدود چند صد سال باشد با این وجود می‌توان حرکت مداری آنها را تشخیص داد. اینگونه سیستم‌ها را دوتایی‌های مرئی گویند زیرا دو ستاره را می‌توان با

[1] Obtical binary
[2] mizar
[3] alcor
[4] Visual binary

استفاده از تلسکوپ مشاهده کرد، همچنین با استفاده از جدایی خطی ستاره‌ها می‌توان فاصله آنها را از ناظر محاسبه نمود[۳].

۱-۳-۳- سیستم‌های دوتایی اختر سنجی[1]

اگر یکی از مؤلفه‌های دوتایی روشنایی بیشتری نسبت به مؤلفه دیگر داشته باشد، ممکن است هر دو مؤلفه به طور مستقیم قابل مشاهده نباشند. در این مورد وجود مؤلفه دوم از روی حرکت نوسانی مؤلفه قابل مشاهده نتیجه می‌شود. زیرا طبق قانون اول نیوتن یک جسم که نیرویی به آن وارد نمی‌شود، در مسیر مستقیم حرکت می‌کند و این حرکت نوسانی به وسیله نیروی گرانشی ناشی از مؤلفه دیگر قابل توجیه است. مانند سیروس[2] که از روی حرکت اختلالی آن سیروس B که یک کوتوله سفید می‌باشد کشف شد. این اثر برای زمین و ماه نیز برقرار است[۳].

۱-۳-۴- سیستم‌های دوتایی طیف سنجی[3]

سیستم‌هایی با دو طیف کاملاً مستقل و قابل تشخیص هستند، چنانچه سرعت چرخش مداریشان بیش از یک کیلومتر بر ثانیه و زاویه میل مداریشان مخالف صفر باشد، خطوط طیفی هر یک از ستار ه‌ها به علت اثر دوپلر نسبت به چارچوب سکون انتقال پیدا می کند به طوریکه وقتی خطوط طیف یک ستاره به سمت آبی انتقال پیدا می‌کند ستاره‌ی دیگر انتقالی به سمت قرمز دارد. در مواردی که دو ستاره قابل تشخیص باشند دو خط طیفی که با فازهای مخالف نوسان می‌کنند مشاهده می‌شود (طیف دو خط)، اما در برخی از این سیستم‌ها که یکی از ستارگان کم نور است و قابل تشخیص نیست تنها یک دسته از خطوط طیفی متغیر وجود خواهند داشت (طیف تک خط)[۴].

---

[1] Astrometric binary
[2] sirius
[3] Spectroscopic binary

۱-۳-۵- سیستم‌های دوتایی طیفی[1]

تفاوت این سیستم‌ها با مورد قبلی آن است که سیستم با چشم یا تلسکوپ تفکیک پذیر نیست و تصاویر طیفی نیز در مسیر درک حرکت مداری ستاره به ما کمکی نمی‌کند. تنها راه تشخیص این سیستم‌ها آن است که دو طیف کاملاً متفاوت بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند و از این طریق ما درمی‌یابیم که این طیف ترکیبی توسط دو ستاره از یک سیستم دوتایی تولید شده است[۳].

۱-۳-۶- سیستم‌های دوتایی گرفتی[2]

در این سیستم‌ها، دو ستاره طوری به دور یکدیگر می‌گردند که به طور متناوب یکدیگر را می‌پوشانند و تغییرات ایجاد شده در روشنایی ظاهری که نتیجه این پوشش است، راه شناخت این سیستم‌ها می-باشد. ویژگی مهم این سیستم‌ها آن است که میل مداریشان نزدیک به ۹۰ درجه است و این بدان معناست که خط دید تقریباً در صفحه مداری قرار دارد. لازم به ذکر است که این سیستم‌ها می‌توانند طیفی یا مرئی نیز باشند که البته عمدتاً طیفی‌اند .در نتیجه می‌توانیم از روی منحنی‌های سرعت شعاعی و نوری اینگونه سیستم‌ها، پارامترهای مطلق هر کدام از مؤلفه‌ها را به صورت منفرد محاسبه نمود. ستاره راس‌الغول یا همان بتای برساووش[3] یکی از بهترین نمونه‌های دوتایی‌های گرفتی است[۳].

۱-۴-رده بندی ستارگان دوتایی:

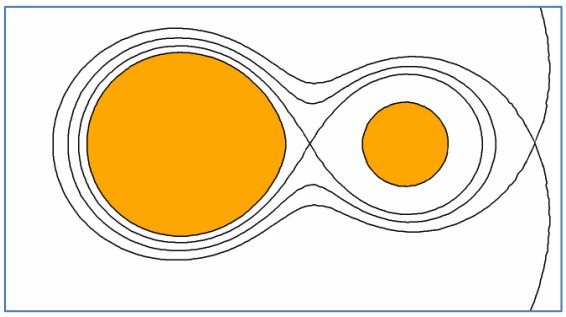
با توجه به فراوانی دوتایی‌ها آنها را برحسب مرحله تحولی و یا از روی شکل منحنی‌های نوری آنها رده بندی می‌کنند.

کوپال[4] در سال ۱۹۵۹ دوتایی‌ها را برحسب تحول هر مؤلفه و سطوح هم‌پتانسیل (توضیح مربوط به سطوح هم‌پتانسیل در بخش ۲-۲- آمده است) اطراف آنها به سه دسته تقسیم بندی کرد:

[1] Spectrum binary
[2] Eclipsing binary
[3] β Perseus
[4] Kopal

۱-۴-۱- دوتایی‌های جدا از هم[1]:

در این سیستم‌ها هر دو مؤلفه کوچکتر از حد بحرانی اولیه خود می‌باشند. حد بحرانی هر مؤلفه، سطح هم پتانسیل اطراف ستاره می‌باشد که اگر ابعاد ستاره از این حد بزرگتر شود جرم خارج از این حد می‌تواند در اثر نیروی خارجی وارد بر آن، سطح ستاره را ترک کند. چون هر دو مؤلفه سیستم کوچکتر از حد بحرانی بوده و انتقال و اتلاف جرمی ندارند بنابراین سیر تحولی آنها تقریباً مستقل از هم می‌باشد به همین دلیل از این دوتایی‌ها به عنوان یک آزمایشگاه برای بررسی ویژگی‌های ستاره‌های منفرد می‌توان استفاده کرد. شمایی از این دوتایی‌ها در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است[۴].



شکل ۱-۱: وضعیت قرارگیری دو مؤلفه نسبت به سطوح هم‌پتانسیل اطراف ستاره‌ها در دوتایی‌های جدا از هم[۵]

۱-۴-۲- دوتایی‌های نیمه جدا[2]:

در این سیستم‌ها مطابق شکل ۱-۲ یکی از دو مؤلفه حد بحرانی (روچ لب) خود را پر کرده و مؤلفه دیگر در داخل حد بحرانی خود قرار دارد. اینگونه سیستم‌ها دارای ویژگی‌هایی چون انتقال جرم، جفت شدگی مغناطیسی دو مؤلفه و دیسک‌های برافزایشی اطراف ستاره‌ای هستند[۴].

[1] detached binary
[2] semidetached binary