بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه ی کارشناسی ارشد فیزیک (نجوم)

نورسنجی و تحلیل منحنی نوری ستاره دوتایی گرفتی AK Her در صافی های B، V و R

استاد راهنما:

دکتر عباس عابدی

نگارش:

مریم محمدی

شهریور ۱۳۹۲

چکیده

در این پژوهش ستاره دوتایی گرفتی AK Her که یک سیستم W UMa از نوع A می باشد، در سه صافی B، V و R جانسون به وسیله ی تلسکوپ اشمیت – کاسگرین با قطر دهانه ۱۴ اینچ و CCD مدل ST-7 در رصدخانه ی دکتر مجتهدی دانشگاه بیرجند نورسنجی شده است. پردازش تصاویر نجومی توسط نرم افزار IRIS انجام شده است. با استفاده از نرم افزار فوبه، داده های حاصل از نورسنجی سیستم تجزیه و تحلیل شده و پارامتر های فیزیکی و هندسی نسبی سیستم بدست آمده اند. همچنین به کمک پارامتر های منحنی سرعت شعاعی سیستم، کمیت های مطلق این سیستم دوتایی تعیین شده اند. علاوه بر ارائه ی چند زمان کمینه ی گرفت برای این سیستم دوتایی، با استفاده از زمان های کمینه ی گرفتی که دیگران اعلام کرده اند، منحنی O-C کمینه های گرفت این سیستم رسم گردیده و با تحلیل این منحنی، زیج خطی جدید سیستم و آهنگ انتقال جرم از مولفه ی ثانویه به اولیه تعیین شده و همچنین با نسبت دادن تغییرات تناوبی این منحنی به اثر نور – زمان، پارامتر های هندسی سیستم سه تایی و کمینه ی جرم جسم سوم محاسبه شده است.

فهرست مطالب

۱ ستارگان دوتایی ۱

۱.۱ مقدمه ۲

۳.۱ تاریخچه ی ستارگان دوتایی ۳

۳.۲ انواع سیستم های دوتایی ۴

۱.۳.۱ سیستم های دوتایی نوری ۴

۲.۳.۱ سیستم های دوتایی مرئی ۴

۳.۳.۱ سیستم های دوتایی اخترسنجی ۵

۴.۳.۱ سیستم های دوتایی طیفی ۵

۵.۳.۱ سیستم های دوتایی طیف سنجی ۵

۶.۳.۱ سیستم های دوتایی گرفتی ۶

۴.۱ رده بندی ستارگان دوتایی ۷

۱.۴.۱ رده بندی کوپال ۷

۲.۴.۱ رده بندی هازل هرست ۹

۵.۱ مدل روچ برای ستارگان دوتایی ۱۱

۶.۱ عوامل موثر بر منحنی نوری ۱۵

۱.۶.۱ دمای مؤلفه ها ۱۵

۲.۶.۱ سمت گیری و شکل مدار ۱۵

۳.۶.۱ شکل غیر کروی مؤلفه ها ۱۶

۴.۶.۱ تاریکی لبه ۱۶

۵.۶.۱ تاریکی گرانشی ۱۶

۶.۶.۱ اثر انعکاس ۱۹

۷.۶.۱ اثر لکه های ستاره ای ۱۸

۸.۶.۱ حضور جسم سوم ۱۸

۷.۱ عوامل موثر بر تغییر دوره تناوب سیستم ۱۹

۱.۷.۱ انتقال جرم پایستار/مبادله ی جرم ۱۹

۲.۷.۱ انتقال جرم غیر پایستار/ اتلاف جرم ۱۹

۳.۷.۱ فعالیت های دوره ای مغناطیسی ۲۰

۴.۷.۱ اثر نور زمان ناشی از حضور جسم سوم ۲۱

۵.۷.۱ حرکت اوجی ۲۲

۲ نورسنجی و نرم افزار های مرتبط ۲۳

۱.۲ معرفی رصدخانه دکتر مجتهدی دانشگاه بیرجند ۲۴

۲.۲ مقدمات شروع رصد ۲۵

۱.۲.۲ انتخاب سیستم دوتایی ۲۵

۲.۲.۲ انتخاب ستاره ی مقایسه ۲۵

۳.۲ ابزار های مورد استفاده ۲۶

۱.۳.۲ تلسکوپ اشمیت – کاسگرین ۲۶

۲.۳.۲ CCD ۲۷

۱.۲.۳.۲ مزیت های CCD ها ۲۸

۴.۲ هدایت تلسکوپ ۲۹

۵.۲ نرم افزار MaxIm DL ۳۲

۱.۵.۲ تعیین زمان نوردهی مناسب در عکس برداری ۳۵

۲.۵.۲ نسبت سیگنال به نویز ۳۶

۶.۲ آشنایی با نرم افزار IRIS ۳۹

۱.۶.۲ تنظیمات اولیه ۳۹

۲.۶.۲ اجرا ۴۰

۳.۶.۲ نام گذاری تصاویر ۴۱

۴.۶.۲ بهنجار کردن تصاویر ۴۱

۵.۶.۲ تراز کردن تصاویر ۴۵

۶.۶.۲ نورسنجی ۴۶

۷.۲ آشنایی با نرم افزار فوبه ۵۰

۳ حل منحنی نوری و مطالعه دوره تناوب ستاره دوتایی AK Her ۵۴

۱.۴ چشم اندازی بر AK Her ۵۵

۲.۳ مشاهدات و نورسنجی ۵۶

۳.۳ تحلیل منحنی نوری ۵۷

۴.۳ تعیین کمیت های مطلق ۶۳

۵.۳ زمان های کمینه ی گرفت ۶۷

۶.۳ مطالعه ی دوره تناوب ۷۱

۱.۶.۳ تعیین زیج خطی جدید ستاره دوتایی AK Her ۷۳

۲.۶.۳ بررسی اثر نور زمان ناشی از جسم سوم ۷۷

۱.۲.۶.۳ تعیین کمیت های سیستم سه تایی ۷۷

۲.۲.۶.۳ جرم جسم سوم ۸۲

۴ بحث و نتیجه گیری ۸۴

مراجع ۸۹

فهرست تصاویر

۱.۱	نمونه ای از منحنی نوری ستارگان دوتایی گرفتی	۶
۲.۱	رده بندی کوپال	۸
۳.۱	منحنی نوری دوتایی نوع الغول	۹
۴.۱	منحنی نوری دوتایی بتا شلیاق	۱۰
۵.۱	منحنی نوری دوتایی w دب اکبر	۱۰
۶.۱	هندسه ی یک سیستم دوتایی	۱۲
۷.۱	نمودار سطوح هم پتانسیل مدل روچ و نقاط لاگرانژی	۱۳
۸.۱	مدار سیستم سه تایی که شیب مداری ۹۰ در نظر گرفته شده است.	۲۲
۱.۲	نمایی از رصدخانه ی دکتر مجتهدی دانشگاه بیرجند	۲۴
۲.۲	تلسکوپ اشمیت – کاسگرین	۲۷
۳.۲	CCD مدل ST-7	۲۸
۴.۲	ستاره های پر نور نزدیک به ستاره دوتایی AK Her	۳۱
۵.۲	پنجره ی تنظیمات نرم افزار MaxIm Dl	۳۲
۶.۲	دوتایی AK Her و ستارگان اطراف آن در تصویر گرفته شده توسط CCD	۳۴
۷.۲	دوتایی AK Her و ستارگان اطراف آن در نرم افزار Starry night	۳۴
۸.۲	پنجره ی Information	۳۵

۹.۲	پنجره ی Expose	۳۷
۱۰.۲	پنجره ی Autosave	۳۸
۱۱.۲	پنجره ی تنظیمات	۴۰
۱۲.۲	پنجره ی فرمان	۴۰
۱۳.۲	ساختن تصویر تاریک	۴۴
۱۴.۲	نمایش دستور کلی برای بهنجار کردن تصاویر در پنجره ی فرمان	۴۴
۱۵.۲	پنجره ی تراز کردن تصاویر	۴۶
۱۶.۲	پنجره ی نورسنجی روزنه ای	۴۷
۱۷.۲	نمایش داده های بدست آمده از نورسنجی در پنجره ی خروجی	۴۷
۱۸.۲	پنجره ی نورسنجی خودکار	۴۸
۱۹.۲	پنجره ی خروجی داده های نورسنجی	۴۹
۲۰.۲	محیط کار برنامه ی فوبه	۵۰
۲۱.۲	نمایش پنجره های برنامه ی فوبه	۵۱
۲۲.۲	نمایش سر برگ های قسمت کمیت ها در برنامه ی فوبه	۵۲
۲۳.۲	نمایش سر برگ های قسمت رسم منحنی در برنامه ی فوبه	۵۳
۱.۳	منحنی تغییرات قدر ستاره دوتایی AK Her بر حسب فاز در صافی های B، V و R	۵۷
۲.۳	انطباق منحنی نظری بر داده های مشاهداتی در صافی های V، B و R جانسون	۶۰
۳.۳	پنجره ی مربوط به منحنی باقی مانده ها در صافی R	۶۲
۴.۳	مدار نسبی یک دوتایی در سه بعد. صفحه ی مماس بر آسمان XNY است	۶۳
۵.۳	منحنی سرعت شعاعی برای دو ستاره در یک سیستم دوتایی	۶۵

۶.۳	تطبیق تابع لورنتسی بر کمینه ی اولیه ی منحنی نوری AK Her در صافی B	۶۸
۷.۳	تطبیق تابع لورنتسی بر کمینه ی ثانویه ی منحنی نوری AK Her در صافی B	۶۸
۸.۳	تطبیق تابع لورنتسی بر کمینه ی اولیه ی منحنی نوری AK Her در صافی R	۶۹
۹.۳	تطبیق تابع لورنتسی بر کمینه ی ثانویه ی منحنی نوری AK Her در صافی R	۶۹
۱۰.۳	تطبیق تابع لورنتسی بر کمینه ی اولیه ی منحنی نوری AK Her در صافی V	۷۰
۱۱.۳	تطبیق تابع لورنتسی بر کمینه ی ثانویه ی منحنی نوری AK Her در صافی V	۷۰
۱۲.۳	منحنی o-c کمینه ها ی گرفت اولیه و ثانویه ی دوتایی AK Her بر حسب دوره	۷۲
۱۳.۳	منحنی O-C به همراه بهترین تابع درجه ۲ منطبق بر آن	۷۳
۱۴.۳	منحنی باقیمانده های O-C بر حسب دوره	۷۷
۱۵.۳	تطبیق تابع لورنتسی بر بیشینه و کمینه ی منحنی باقیمانده ها بر حسب دوره	۷۸
۱۶.۳	انطباق منحنی ساخته شده توسط نرم افزار Period04 بر داده های باقی مانده ها	۸۰
۱۷.۳	تطبیق تابع نور- زمان بر منحنی باقی مانده های O-C بر حسب آنومالی حقیقی	۸۱
۱۸.۳	باقی مانده های نهایی بر حسب دوره حول خط افقی گذرنده از مبدأ	۸۳
۱.۴	وضعیت تحولی ستارگان و محل قرارگیری لکه بر سطح ستاره در فاز ۰/۷۵	۸۶

فهرست جداول

۱.۲	مشخصات ستاره ی متغیر و مقایسه	۲۶
۱.۳	کمیت های بدست آمده از اجرای برنامه ی فوبه برای دوتایی گرفتی AK Her	۶۱
۲.۳	مشخصات لکه ی واقع بر سطح ستاره ی اولیه	۶۱
۳.۳	کمیت های مطلق ستاره دوتایی AK Her	۶۶
۴.۳	زمان های کمینه ی گرفت	۶۷
۵.۳	ضرایب تابع درجه ۲ منطبق شده بر منحنی O-C	۷۳
۶.۳	کمیت های سیستم سه تایی	۸۱
۷.۳	جرم و نیم قطر اطول مداری جسم سوم به ازای زوایای مختلف شیب مداری سیستم سه جسمی	۸۲
۱.۴	مقایسه ی کمیت های نسبی بدست آمده برای دوتایی گرفتی AK Her با کار سایرین	۸۵
۲.۴	مقایسه ی کمیت های مطلق بدست آمده برای دوتایی گرفتی AK Her با کار سایرین	۸۶

فصل اول:

ستارگان دوتایی

۱.۱ مقدمه

تشخیص رفتار بلند مدت ستارگان متغیر، نیازمند رصدهای منظم در طول دهه ها می باشد. ستاره شناسان غیر حرفه ای با به کار گیری روش های بصری، فتوگرافی، فتومتری و CCD[۱] به رصد ستارگان متغیر می پردازند و برای آگاهی از رفتار ستارگان متغیر نیاز به پردازش این داده ها است. با زمان بندی ماهواره ها برای مشاهده ی ستارگانی که از متغیر بودن آنها اطمینان داریم و با منطبق کردن اطلاعات ماهواره ها و مشاهدات زمینی و مدل های نظری رایانه ای، شناخت رفتار ستارگان متغیر امکان پذیر می شود.

ستارگان دوتایی به دو ستاره گفته می‌شوند که به هم نزدیک هستند و به دور مرکز ثقلشان گردش می‌کنند. تحقیقات جدید نشان می‌دهد درصد زیادی از ستارگان بخشی از یک سامانه حداقل دو ستاره‌ای هستند. ستارگان دوتایی در اختر فیزیک بسیار مهم هستند زیرا مدار آنها جرمشان را مشخص می‌کند. جرم بسیاری از ستارگان تکی از روی برون‌یابی جرم ستارگان دوتایی بدست می‌آید.

یکی از مهمترین اهمیت های مطالعه ی ستارگان دوتایی در این است که به کمک قوانین فیزیکی و تحلیل منحنی نوری دوتایی های گرفتی و منحنی سرعت شعاعی آنها می‌توان به خصوصیات مهم این ستاره ها مانند: جرم، شعاع، چگالی، دمای سطحی، تابندگی و آهنگ چرخش آنها دست پیدا کرد و با اندازه گیری ضرایب تاریکی لبه می‌توان به بررسی ساختار جو ستارگان پرداخت. از تحلیل منحنی نوری دوتایی ها، شیب مداری، شعاع نسبی ستاره ها و خروج از مرکز مداری نیز به دست می آید. امکان تعیین کمیت های مطلق ستارگان سیستم و نیز سیر تحولی ستارگان با استفاده از مشاهدات نورسنجی و مطالعات طیف سنجی از دیگر دلایل اهمیت سیستم دوتایی و مطالعه ی آن ها است. به دست آوردن برخی از این اطلاعات از راههای دیگر بسیار مشکل یا غیر ممکن به نظر می رسد. در بسیاری از موارد، جواب در ذات متغیر بودن نهفته است و در نهایت این اطلاعات برای دیگر ستاره ها استفاده می شوند[۱].

[۱] Charge Couple Device

۲.۱ تاریخچه ی ستارگان دوتایی

نقاط نورانی واقع در آسمان شب که آنها را ستاره می نامیم، می توان به دو گروه تقسیم کرد: یک گروه ستارگان تنها شبیه خورشید هستند که ممکن است سیارات و یا جرم های سرگردان دیگر، که جرمشان یک هزارم جرم ستاره ی اصلی است، به دور آن بچرخند.

کشف ومطالعه ستارگان دوتایی به ۳۰۰ سال قبل باز می گردد.اولین بار کلمه ستاره دوتایی توسط سرویلیام هرشل در سال ۱۸۰۲ میلادی برای مشخص کردن دو ستاره که در یک منظومه دوتایی به دور یکدیگر می چرخند به کار رفته است. بطلمیوس این کلمه را برای مشخص کردن ستاره ای در صورت فلکی قوس که به صورت دو ستاره از قدر پنجم با فاصله ی ۱۴ دقیقه قوسی دیده می شوند بکار برده است. البته تمام ستاره های دوگانه، دوتایی واقعی نیستند و در بسیاری از موارد صرفاً قرار گرفتن اتفاقی دو ستاره در امتداد خط دید ما باعث می شود که کنار یکدیگر دیده شوند. اولین ستاره ی دوتایی در سال ۱۶۵۰ میلادی توسط جین باتیستا ریچیولی[۲] ستاره شناس ایتالیایی کشف شد. این ستاره به نام میزار[۳] در دب اکبر واقع است. در سال ۱۶۵۶ م. هویگنس[۴] موفق شد تتای جبار، که سیستمی سه‌تایی است را کشف کند و در سال ۱۶۶۴ م. رابرت هوک[۵] دریافت که ستاره ی گامای حمل در واقع یک جفت ستاره است. از اواخر قرن هجده تا اوایل قرن بیستم مطالعه ی ستارگان دوتایی مرئی یکی از زمینه های اصلی تحقیقات نجومی به حساب می آمد که در واقع با کشف تغییرات تابندگی دوتایی رأس الغول توسط جان گودریک[۶] در سال ۱۷۸۳ م. و به دنبال آن تعیین دوره تناوب برای این دسته از ستارگان آغاز گردید. استروا در استونی در سال ۱۸۲۴ در مدت ۲ سال و۱۲۰ شب در بررسی ۱۲۰۰۰۰ستاره، ۳۰۰۰ ستاره دوتایی را کشف کرد. گام بعدی در کشف ستارگان دوتایی توسط دوپلرصورت گرفت که کشف او براساس رنگ ستارگان دوتایی بود[۲].

[۲] Jean Baptista Riccioli
[۳] Mizar
[۴] Hugghens
[۵] Robert Houk
[۶] Goodrich

۳.۱ انواع سیستم های دوتایی

سیستم های دوتایی با توجه به فاصله دو ستاره ودرخشندگی ستاره ها و نیز نحوه آشکار سازی در

چند دسته ی مختلف رده بندی می‌شوند:

۱.۳.۱ سیستم های دوتایی نوری[۷]

این دوتایی ها سیستم های واقعی نیستند و تنها به دلیل اینکه بعد و میل تقریباً یکسانی دارند در آسمان در یک مکان دیده می شوند در صورتی که ممکن است صد ها سال نوری از یکدیگر فاصله داشته باشند و فقط در یک امتداد خط دید واقع شده اند بنابراین نیروی گرانشی بین آنها وجود ندارد، در حقیقت ستاره دوتایی فیزیکی نیستند و نمی توان از آنها برای تعیین خصوصیات مؤلفه ها استفاده کرد. دوتایی عناق[۸] و سها[۹] در صورت فلکی دب اکبر، نمونه ای از اینگونه سیستم ها هستند که تنها به دلیل نزدیکی ظاهری با یکدیگر به صورت سیستم دوتایی به نظر می رسند. [۳].

۲.۳.۱ سیستم های دوتایی مرئی[۱۰]

در سیستم ها ی دوتایی مرئی دو ستاره به اندازه ی کافی از هم فاصله دارند به طوری که می توان جدایی آن ها را مشاهده کرد. دوره تناوب این سیستم ها ممکن است در حدود چند صد سال باشد. در جو آشفته زمین، تصویر مشاهده شده از یک ستاره بندرت با قطری کمتر از ″۱ است. اعضا ی یک دوتایی مرئی در نقطه ای از حرکت مداری شان بایستی تحت زاویه ای به خوبی جدا شوند، در غیر این صورت دوتایی بودن آنها تفکیک نخواهد شد. و با استفاده از جدایی خطی ستاره ها می توان فاصله ی آنها را از ناظر محاسبه نمود [۳و۴].

[۷] Obtical binary
[۸] Mizar
[۹] Alcor
[۱۰] Visual binary

۳.۳.۱ سیستم های دوتایی اختر سنجی[۱۱]

دوتایی‌هایی هستند که تنها یک مؤلفه‌ی آنها با تلسکوپ قابل رؤیتاست و از غیر یکنواخت بودن مدار آنها، که ناشی از اثر گرانش جرم‌یگری می باشد که حول مرکز جرم مشترکشان حرکت می کند به وجوهضو ناپیدای دیگرشان پی برده می شود مانند سیروس [۱۲]که از روی حرکت اختلالی آن سیروس B که یک کوتوله ی سفید است، کشف شد[۳].

۴.۳.۱ سیستم های دوتایی طیفی[۱۳]

برخی از دوتایی ها آنقدر به هم نزدیک و یا از ما دورند که تفکیک آنها با تلسکوپ های قوی نیز ممکن نیست و تصاویر طیفی آن ها نیز حرکت مداری را آشکار نمی کند، اما این سیستم ها دارای خطوط طیفی، متعلق به دو دسته ی طیفی مختلف اند، بطور واضح تر می‌توان گفت دو طیف کاملاً متفاوت و مجزا روی هم قرار می‌گیرند و از این طریق در می یابیم که این طیف ترکیبی توسط دو ستاره از یک سیستم دوتایی تولید شده است، در این موارد شیب مداری صفر می باشد[۳].

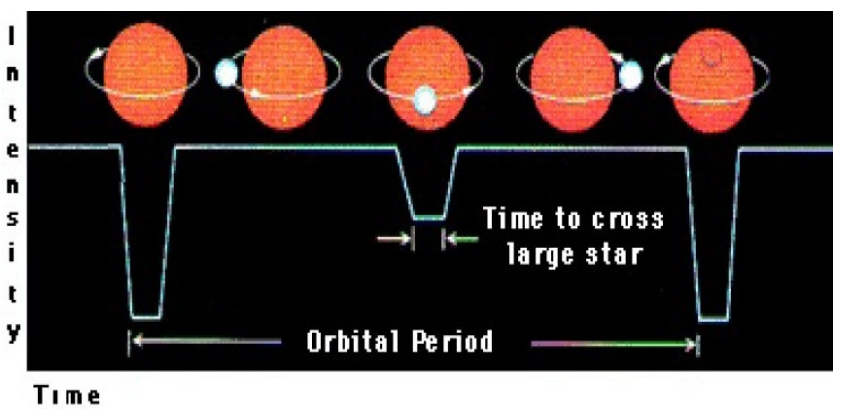
۵.۳.۱ سیستم های دوتایی طیف سنجی[۱۴]

سیستم‌هایی با دو طیف کاملاً مستقل و قابل تشخیص اند، که دوتایی بودنش به وسیله نوسانات دوره ای در خطوط طیفی اش مشخص می شود. در این سیستم ها دو ستاره خیلی نزدیک ($AU \leq$) و چنانچه سرعت حرکت مداریشان بیش از یک کیلومتر بر ثانیه و با زاویه شیب مداریشان مخالف صفر حول مرکز جرمشان می گردد، خطوط طیفی هر یک از ستاره ها به علت اثر دوپلر نسبت به چارچوب سکون انتقال پیدا می‌کند به طوریکه وقتی خطوط طیف یک ستاره به سمت آبی انتقال پیدا می‌کند ستاره ی دیگر انتقالی به سمت قرمز دارد. در طیف دوتایی های طیف سنجی گاهی یک ستاره به قدری کم نور است که فقط طیف یک ستاره دیده می‌شود یک دوتایی طیف سنجی تک خط داریم و در مواردی که دو ستاره با درخشندگی نزدیک به هم دو مجموعه اشکال طیفی تولید می کنند که در جهات مخالف نوسان می نمایند.به این سیستم دوتایی، طیف سنجی دو خط می گوییم [۳].

[۱۱] Astrometric binary
[۱۲] Sirius
[۱۳] Spectrum binary
[۱۴] Spectroscopic binary

۶.۳.۱ سیستم های دوتایی گرفتی[۱۵]

در میان گروه‌های مختلف سیستم‌های دوتایی، گروهی دوتایی گرفتی نامیده شده اند. این دوتایی ها بخشی از کهن ترین ستارگان متغیر شناخته شده می‌باشند. این دوتایی ها برعکس دوتایی های مرئی خیلی به هم نزدیک اند و با تلسکوپ نمی توان آنها را از هم تفکیک کرد. در واقع صفحه ی گردش مداری این نوع از دوتایی ها به گونه ایست که در هر دور گردش، یکی از ستاره ها جلوی دیگری را می گیرد و مانع رسیدن نور آن به ما می شود، در نتیجه ما نمی توانیم نور یکی از ستاره ها را ببینیم و مطابق شکل ۱.۱ گرفت های اولیه و ثانویه رخ می دهند. ما از روی آهنگ کم و زیاد شدن نور ستاره می فهمیم که در حقیقت دو ستاره است، که یکی در حال گردش به دور دیگری است. با استفاده از روش نورسنجی در بازه های زمانی معین از ستاره ها، منحنی نوری سیستم دوتایی بدست می آید. و به کمک این منحنی نوری می توان بسیاری از پارامتر های فیزیکی و هندسی ستارگان این سیستم دوتایی را تعیین کرد. این سیستم ها می توانند طیفی و یا مرئی باشند که عمدتاً طیفی اند و از روی منحنی های سرعت شعاعی و نوری اینگونه سیستم ها، کمیت های مطلق هر کدام از مؤلفه ها را به صورت جداگانه محاسبه کرد. راس الغول یا همان بتای برساووش[۱۶] یکی از بهترین نمونه های دوتایی های گرفتی است[۳].



شکل ۱.۱: نمونه ای از منحنی نوری ستارگان دوتایی گرفتی

[۱۵] Eclipsing binary
[۱۶] β Perseus

۴.۱ رده بندی ستارگان دوتایی

به منظور بررسی و مطالعه دقیق سیستم های دوتایی، با توجه به فراوانی و تفاوت های فیزیکی ستارگان دوتایی، رده بندی آنها مهم و ضروری است. این رده بندی ها بر اساس عوامل فیزیکی مختلف و عمدتاً بر مبنای تحول مؤلفه ها، سطوح هم پتانسیل و شکل منحنی نوری ستارگان دوتایی گرفتی انجام شده است. در ادامه به بررسی رده بندی های ستارگان دوتایی، می پردازیم. ستارگان دوتایی را می توان بر مبنای موضوعات زیر دسته بندی کرد[۱]:

الف : رده بندی ساها، که بر مبنای موقعیت مؤلفه بر روی نمودار H-R می باشد.

ب : رده بندی کوپال، که مبنای سطوح هم پتانسیل و تحول مؤلفه ها می باشد.

ج : رده بندی بر مبنای منحنی نوری ستارگان دوتایی گرفتی.

به دلیل اهمیت رده بندی کوپال به بررسی آن به طور مفصل می پردازیم[۲].

۱.۴.۱ رده بندی کوپال

کوپال در سال ۱۹۵۹دوتایی ها را مطابق شکل ۲.۱ بر اساس نوع تحول مؤلفه‌ها و سطوح هم پتانسیل اطراف آنها به سه گروه زیر تقسیم بندی کرد[۵]:

۱. دوتایی‌های جدا از هم[۱۷]

در این سیستم های دوتایی که شعاع ستاره آنها خیلی کوچکتر از فاصله ی جدایی آنهاست،به شکل کروی و به صورت مستقل متحول می شوند، هر دو مؤلفه، کوچکتر از حد بحرانی (توضیح مربوط به حد بحرانی در بخش ۶.۱ آمده است) خود می‌باشند. اکثر دوتایی های تحول نیافته با مؤلفه هایی بر روی رشته ی اصلی در این گروه جای می‌گیرند. دوره تناوب آنها اکثراً کوتاه و مؤلفه ی اصلی بزرگتر، پرجرمتر و دارای طیفی با دمای بالاتر است.

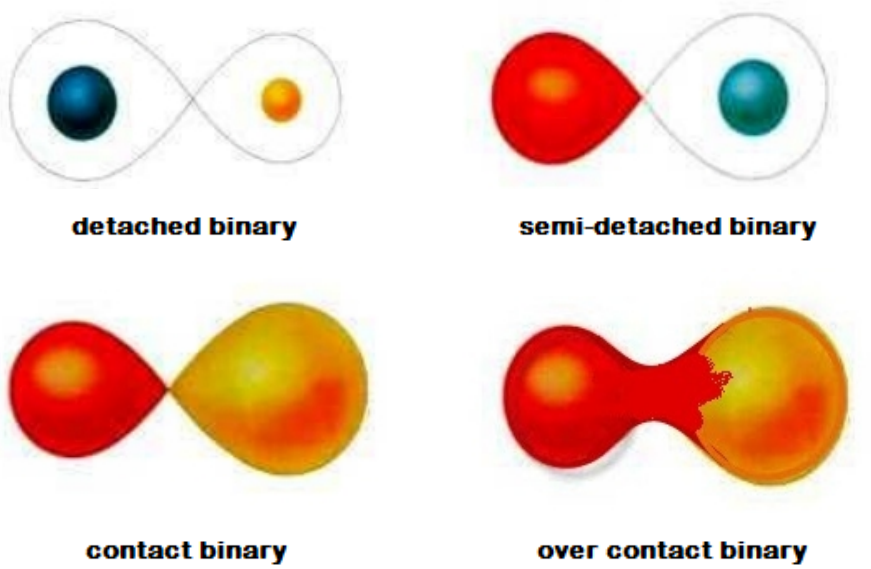
[۱۷] Detached binary

۲. دوتایی‌های نیمه جدا[۱۸]

در این دوتایی ها یک مؤلفه حد بحرانی خود را پرکرده است و انتقال جرم از این مؤلفه به مؤلفه ی همدم صورت می گیرد و سبب تحول ستاره می شود. غالباً در این دوتایی ها، مؤلفه‌ی اصلی کوچکتـر و گرمتـر از مؤلفـه ی همدم است. غالباً مدار این سیستم ها دایروی می باشد. دوتایی های الگول[۱۹] جزء این گروه محسوب می‌شوند.

۳. دوتایی های تماسی[۲۰]

در این سیستم ها هر دو مؤلفه حد بحرانی مخصوص به خود را پرکرده و حتی گاهی از آن لبریز شده و پوشش مشتـرک تشکیل مـی‌دهند. دوتایی های WUMa و ستارگان کوتوله با دوره تناوب های کمتر از یک روز در این دسته قرار می گیرند. در دوتایی های تماسی، دو ستاره یک نقطه ی اشتراک دارند که نقطه لاگرانژی اول L_1 نام دارد. گاهی فصل مشترک دو ستاره بیشتر از یک نقطه خواهد بود که در این صورت سیستم را دوتایی فوق تماسی[۲۱] می نامند.



شکل ۲.۱: رده بندی کوپال

[۱۸] Semidetached binary
[۱۹] Algol
[۲۰] Contact binary
[۲۱] Over contact binary

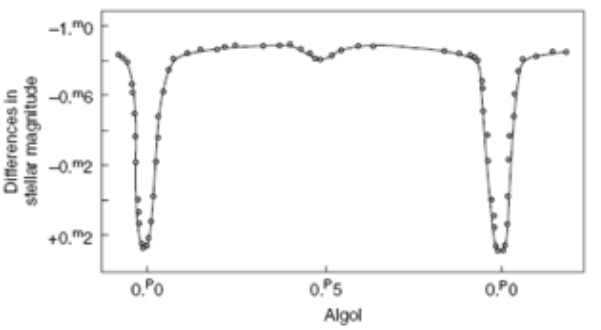
۲.۴.۱ رده بندی هازل هرست

شکل منحنی نوری ستارگان دوتایی با هم متفاوت است. هازل هرست دوتایی ها رابر اساس شکل منحنی نوری شان به سه گروه زیر مطابق شکل ۳.۱ تا ۵.۱ طبقه بندی کرده است[۱]:

۱. نوع الغول[۲۲] (EA)

نمونه اصلی این سیستم ها بتا پرسی می باشد، که به نام الغول شناخته شده است. در این منحنی ها زمان شروع و پایان گرفت کاملاً مشخص می باشد و ویژگی بارز این سیستم ها در باند عبور مرئی اینست که در زمان های خارج از گرفت منحنی نوری ثابت است ولی این بدان معنا نیست که کمیت های فیزیکی این نوع دوتایی ها کاملاً شبیه به دوتایی الغول می باشد، بلکه فقط از نظر شکل منحنی نوری به هم شبیه می باشند، عموماً عمق دو کمینه گرفت الغول ها خیلی متفاوت است، که به دلیل اختلاف دمای زیاد دو مؤلفه می باشد

درالغول ها مؤلفه ی قرمز تر وکم جرم تر روچ خود را پر کرده و در حال انتقال جرم به ستاره همدم خود می باشد، چون عمدتاً در دوتایی ها ستاره بزرگتر در حال انتقال جرم به ستاره همدم خود می باشد در اینجا اصطلاحی تحت عنوان پارادوکس الغول ها وارد می شود.علت این پارادوکس این است که در ابتدا ستاره بزرگتر و پر جرم تر به ستاره همدم خود جرم منتقل می کرده و آنقدر جرم از دست داده است که الان کم جرم تر از ستاره همدم خود شده است واین انتقال جرم همچنان ادامه دارد[۶].



شکل ۳.۱: منحنی نوری دوتایی نوع الغول[۱]

[۲۲] Eclipsing variable of the Algol type