



دانشکده‌ی علوم پایه
گروه آموزشی فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی فیزیک گرایش بنیادی

عنوان:

بررسی ساختار و تحول ستارگان دوتایی با پیوند مداری فراکوتاه

استاد راهنما:

داود منظوری

پژوهشگر:

محدثه یحیوی ویشکایی

بهمن ماه ۱۳۹۶

نام خانوادگی دانشجو: یحیوی ویشکایی	نام: محدثه
عنوان پایان نامه:	
بررسی ساختار و تحول ستارگان دوتایی با پریود مداری فراکوتاه	
استاد راهنما: داوود منظوری	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
گرایش: بنیادی	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم پایه	تاریخ دفاع: ۹۶/۱۱/۳۰ تعداد صفحات: ۱۱۹
چکیده:	
<p>در این پروژه، داده‌های نورسنجی فتو الکتریک در دو فیلتر I و V برای ۵ سیستم با پریود مداری فراکوتاه به شماره کاتالوگ‌های OGLE-BLG-ECL-000002 و OGLE-BLG-ECL-000004 و OGLE-BLG-ECL-000008 و KIC9532219 و KIC11825204 که از داده‌های تلسکوپ فضایی کپلر و از پروژه OGLE انتخاب شده‌اند. آنها از طریق تحلیل منحنی‌های نوری فتوالکتریک‌شان، با تعیین پارامترهای فیزیکی و مداری، با استفاده از نرم‌فزار PHOEBE مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. سپس وضعیت تحولی این سیستم‌ها بر روی نمودارهای H-R، M-R، M-L تعیین و با سیستم‌های مشابه مقایسه شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که ستاره‌ها با پریود مداری فراکوتاه نسبت به سیستم‌های مشابه تحول سریعتری دارند. علاوه بر این، سن این سیستم‌ها بیشتر از 10Gyr می‌باشد. این امر با این نظریه کلی که اتلاف بادهای ستاره‌ای مغناطیده که باعث تنگ‌تر و کوچک‌تر شدن مدار و کاهش پریود مداری و در نهایت ادغام دو ستاره همدم به یک تک ستاره، سازگاری دارند. زیرا همانطور که ذکر شد ستارگان با پریود مداری فراکوتاه دارای سنی زیاد و تحول یافته هستند.</p>	
کلید واژه‌ها: دوتایی گرفتی، ساختار و تحول ستارگان، ستارگان کم جرم، ستاره‌های دوتایی با پریود مداری فراکوتاه	

فهرست:

۱	فصل اول:	۱
۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	دلایل اهمیت مطالعه ستارگان دوتایی	۲
۳-۱	شکل گیری ستارگان دوتایی	۳
۱-۳-۱	نظریه تکه تکه شدن ابر مولکولی	۳
۲-۳-۱	نظریه گیراندازی	۴
۳-۳-۱	نظریه شکافت	۴
۴-۱	انواع ستارگان دوتایی	۴
1-4-1	دوتایی های ظاهری یا نوری	۴
۲-۴-۱	دوتایی های مرئی	۵
۳-۴-۱	دوتایی های طیف سنجی	۶
۴-۴-۱	دوتایی های طیفی	۷
۵-۴-۱	دوتایی های نجوم سنجی	۷
۶-۴-۱	دوتایی های گرفتی	۸
۵-۱	اهمیت مطالعه ستاره های دوتایی گرفتی	۱۰
۶-۱	رده بندی سیستم های دوتایی بر اساس موقعیت مؤلفه ها روی نمودار هر تز پرانگ-راسل (H_R)	۱۱
۱-۶-۱	رده بندی ساها	۱۱
۲-۶-۱	رده بندی کوپال	۱۲
۳-۶-۱	رده بندی بر اساس شکل منحنی نوری	۱۳
۴-۶-۱	رده بندی کرات	۱۹
۵-۶-۱	رده بندی گابین	۲۰
۷-۱	رده بندی کوکارکین برای ستارگان متغیر	Error! Bookmark not defined.
	فصل دوم:	Error! Bookmark not defined.
۱-۲	مقدمه	Error! Bookmark not defined.
۲-۲	تابع جرم بیک سیستم دوتایی	Error! Bookmark not defined.
۳-۲	توصیف تحول سیستم های دوتایی با استفاده از سطوح هم پتانسیل	Error! Bookmark not defined.
۴-۲	تأثیر انتقال جرم بر تحول سیستم های دوتایی نزدیکتر	Error! Bookmark not defined.
۱-۴-۲	تبادل پایسته جرم	Error! Bookmark not defined.
۲-۴-۲	تبادل جرم ناپایسته (اتلاف جرم)	Error! Bookmark not defined.
۵-۲	تحول تکانه زاویه مداری به وسیله بادهای مغناطیسی در ستاره	Error! Bookmark not defined.
۶-۲	تحول ستاره دوتایی تماسی با جرم کم	Error! Bookmark not defined.
۷-۲	نظریه یانگ [30]	Error! Bookmark not defined.
	فصل سوم:	Error! Bookmark not defined.
۱-۳	مقدمه	Error! Bookmark not defined.
۲-۳	آشنایی با برنامه ویلسون-دوینی	Error! Bookmark not defined.

آشنایی با برنامه فوبه	۳-۳
اریجین	۴-۳
پروژه OGLE	۵-۳
تاریخچه	۱-۵-۳
پروژه کیپلر	۶-۳
فصل هفتم:	
مقدمه	۱-۴
اطلاعات اولیه حاصل از بررسی منحنی نوری	۲-۴
هدف از حل منحنی نوری	۳-۴
پدیده گرفتگی	۱-۳-۴
جسم سوم	۲-۳-۴
اثر بازتاب	۳-۳-۴
شکل مولفه‌ها	۴-۳-۴
اثر تاریکی گرانش	۵-۳-۴
تاریکی لبه	۶-۳-۴
حل منحنی نوری و محاسبه پارامترهای سیستم‌های مورد مطالعه با استفاده از برنامه فوبه	۴-۴
not defined.	
سیستم OGLE-BLG-ECL-000002	۱-۴-۴
سیستم OGLE-BLG-ECL-000004	۲-۴-۴
سیستم OGLE-BLG-ECL-000008	۳-۴-۴
سیستم KIC9532219	۴-۴-۴
سیستم KIC11825204	۵-۴-۴
فصل نهم:	
نمودارهای هرترز پرانگ-راسل و موارد استفاده از آنها	۱-۵
6 پیرتا	
7	

فهرست جداول:

جدول ۴-۱: مشخصات سیستم‌های دوتایی با پریود مداری فراکوتاه مورد مطالعه **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۲: پارامترهای مطلق سیستم OGLE-BLG-ECL-000002 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۳: پارامترهای نسبی سیستم OGLE-BLG-ECL-000002 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۴: پارامترهای مطلق سیستم OGLE-BLG-ECL-000004 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۵: پارامترهای نسبی سیستم OGLE-BLG-ECL-000004 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۶: مشخصات لکه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000004 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۷: پارامترهای مطلق سیستم OGLE-BLG-ECL-000008 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۸: پارامترهای نسبی سیستم OGLE-BLG-ECL-000008 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۹: مشخصات لکه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000008 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۱۰: پارامترهای مطلق سیستم KIC9532219 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۱۱: پارامترهای نسبی سیستم KIC9532219 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۱۲: مشخصات لکه‌های سیستم KIC9532219 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۱۳: پارامترهای مطلق سیستم KIC11825204 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۴-۱۴: پارامترهای نسبی سیستم KIC11825204 **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۵-۱: مشخصات سیستم OGLE-BLG-ECL-000002 و سیستم‌های مشابه آن **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۵-۲: مشخصات سیستم OGLE-BLG-ECL-000004 و سیستم‌های مشابه آن **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۵-۳: مشخصات سیستم OGLE-BLG-ECL-000008 و سیستم‌های مشابه آن **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۵-۴: مشخصات سیستم KIC932219 و سیستم‌های مشابه آن **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۵-۵: مشخصات سیستم KIC11825204 و سیستم‌های مشابه آن **Error! Bookmark not defined.**

defined.

- جدول ۱-۶: داده‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000002 **Error! Bookmark not defined.**
- جدول ۲-۶: داده‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000004 **Error! Bookmark not defined.**
- جدول ۳-۶: داده‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000008 **Error! Bookmark not defined.**
- جدول ۴-۶: داده‌های سیستم KIC9532219 **Error! Bookmark not defined.**
- جدول ۵-۶: داده‌های سیستم KIC11825204 **Error! Bookmark not defined.**

فهرست شکل؛

- شکل ۱-۱: دوتایی مرئی ۶
- شکل ۲-۱: یک سیستم دوتایی طیف‌سنجی ۷
- شکل ۳-۱: حرکت ستاره Sirius در مدت ۸۰ سال ۸
- شکل ۴-۱: منحنی نوری یک دوتایی گرفتی که ستاره کوچکتر دمای بیشتری دارد و روشنتر است. ۱۰
- شکل ۵-۱: انواع دوتایی‌های گرفتی بر اساس رده‌بندی کوپال ۱۳
- شکل ۶-۱: منحنی نوری دو سیستم نوع الغول ۱۴
- شکل ۷-۱: منحنی نوری دو سیستم شبه بتا شلیاکی ۱۵
- شکل ۸-۱: منحنی نوری دو سیستم نوع W Uma (EW, AW) ۱۶
- شکل ۱-۲: سطوح هم پتانسیل روش **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۲ **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۳-۲ **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۲: تغییرات زمانی سرعت زاویه‌ای بر حسب سرعت زاویه‌ای برای ستاره‌ها با تقریبهای S و K-Ch **Error! Bookmark not defined.**
- [28] **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۵-۲: مقایسه حرکت مداری مشاهده شده تکانه زاویه‌ای از ستارگان تماسی با جرم کم (دایره‌های توپر) و مشاهدات از سیستم‌های نوع W Uma (نقاط مثبت). خطوط ممتد سیاه متناظر با فاز تماس و خط چین متناظر با فازهای نزدیک هستند که از مدل ارائه شده پیروی می‌کند [29]. **Error!**

Bookmark not defined.

- شکل ۱-۴: نقاط تجربی (دایره‌های توخالی) و منحنی برازش شده (خط ممتد) در فیلتر I و V برای سیستم OGLE-BLG-ECL-000002 **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۴: نقاط تجربی (دایره‌های توخالی) و منحنی برازش شده (خط ممتد) در فیلتر I برای سیستم
Error! Bookmark not defined......OGLE-BLG-ECL-000004

شکل ۳-۴: نقاط تجربی (دایره‌های توخالی) و منحنی برازش شده (خط ممتد) در فیلتر I و V برای
سیستم OGLE-BLG-ECL-000008
Error! Bookmark not defined......

شکل ۴-۴: نقاط تجربی (دایره‌های توخالی) و منحنی برازش شده (خط ممتد) در فیلتر V برای سیستم
KIC9532219
Error! Bookmark not defined......

شکل ۵-۴: نقاط تجربی (دایره‌های توخالی) و منحنی برازش شده (خط ممتد) در فیلتر V برای سیستم
KIC11825204
Error! Bookmark not defined......

شکل ۱-۵:
Error! Bookmark not defined......

شکل ۲-۵:
Error! Bookmark not defined......

شکل ۳-۵: نمودار H-R و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000002 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه PV Cas (ستاره‌های آبی رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه، V 541 Cyg (ستاره‌های قهوه‌ای رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه، V 451 Oph (ستاره‌های زرد رنگ) که با $p3$ همدم اولیه و $s3$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۵: نمودار M-R و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000002 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه PV Cas (ستاره‌های آبی رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه، V 541 Cyg (ستاره‌های قهوه‌ای رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه، V 451 Oph (ستاره‌های زرد رنگ) که با $p3$ همدم اولیه و $s3$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۵: نمودار M-L و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000002 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه PV Cas (ستاره‌های آبی رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه، V 541 Cyg (ستاره‌های قهوه‌ای رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه، V 451 Oph (ستاره‌های زرد رنگ) که با $p3$ همدم اولیه و $s3$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۶-۵: نمودار H-R و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000004 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه RY Aur (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه، BO And (ستاره‌های آبی رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۷-۵: نمودار M-R و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000004 (ستاره‌های قرمز

رنگ) و سیستم‌های مشابه RY Aur (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه، BO And (ستاره‌های آبی رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error!**

Bookmark not defined.

شکل ۵-۸: نمودار M-L و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000004 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه RY Aur (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه،

BO And (ستاره‌های آبی رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error!**

Bookmark not defined.

شکل ۵-۹: نمودار H-R و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000008 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه Phe ζ (ستاره‌های زرد رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه،

Hya (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error!**

Bookmark not defined.

شکل ۵-۱۰: نمودار M-R و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000008 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه Phe ζ (ستاره‌های زرد رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه،

Hya (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error!**

Bookmark not defined.

شکل ۵-۱۱: نمودار M-L و موقعیت مولفه‌های سیستم OGLE-BLG-ECL-000008 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه Phe ζ (ستاره‌های زرد رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه،

Hya (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error!**

Bookmark not defined.

شکل ۵-۱۲: نمودار H-R و موقعیت مولفه‌های سیستم KIC9532219 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه V 636 cen (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه،

(ستاره‌های زرد رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error! Bookmark**

not defined.

شکل ۵-۱۳: نمودار M-R و موقعیت مولفه‌های سیستم KIC9532219 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه V 636 cen (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه،

Lyr (ستاره‌های زرد رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error!**

Bookmark not defined.

شکل ۵-۱۴: نمودار M-L و موقعیت مولفه‌های سیستم KIC9532219 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم‌های مشابه V 636 cen (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه،

(ستاره‌های زرد رنگ) که با $p2$ همدم اولیه و $s2$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند. **Error! Bookmark**

not defined.

شکل ۵-۱۵: نمودار H-R و موقعیت مولفه‌های سیستم KIC11825204 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم مشابه V 530 Ori (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه نشان داده شده‌اند.

Error! Bookmark not defined......

شکل ۵-۱۶: نمودار M-R و موقعیت مولفه‌های سیستم KIC11825204 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم مشابه V 530 Ori (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه نشان داده

شده‌اند.....**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل ۵-۱۷: نمودار M-L و موقعیت مولفه‌های سیستم KIC11825204 (ستاره‌های قرمز رنگ) و سیستم مشابه V 530 Ori (ستاره‌های سبز رنگ) که با $p1$ همدم اولیه و $s1$ همدم ثانویه نشان داده

شده‌اند.....**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل ۵-۱۸: نمایش ایزوکرون‌ها و موقعیت سیستم‌های مورد مطالعه بر روی آنها **Error! Bookmark**

not defined.

فصل اول:

آشنایی با ستارگان دوتایی

۱-۱ مقدمه

هنگامی که به آسمان می‌نگریم تعداد زیادی ستاره را می‌توانیم ببینیم که در کنار یکدیگر واقع شده‌اند. بشر از دیرباز متوجه این ستاره‌ها شده و آن‌ها را ستاره‌های دوگانه^۱ یا چندگانه^۲ نامگذاری کرده بود. برای مثال، بطلمیوس واژه ستاره دوگانه را برای مشخص کردن ستاره γ در صورت فلکی قوس به کار برده بود. تصور اولیه بر آن بود که این ستاره‌ها واقعاً در کنار یکدیگر قرار ندارند بلکه اتفاقی در راستای دید ناظر واقع شده‌اند. شواهد تاریخی نشان می‌دهد که نخستین ستاره دوگانه در سال ۱۶۵۰ میلادی توسط جین باتیستا ریچولی^۴ کشف شد (1)، این ستاره γ دب اکبر^۵ بود. پس از اختراع تلسکوپ تعداد ستاره‌های دوگانه کشف شده به سرعت افزایش یافت. در فاصله سال‌های ۱۸۲۱ تا ۱۸۷۲ تعداد ستاره‌های دوگانه و چندگانه به بیش از ده‌هزار عدد رسید. سر ویلیام هرشل^۶ (2) نخستین کسی بود که در سال ۱۸۰۲ میلادی متوجه حرکت مداری این ستاره‌ها گردید و نخستین بار از این ستاره‌ها با نام ستارگان دوتایی^۷ در مقابل ستارگان دوگانه یا چندگانه استفاده کرد.

سیستم‌های دوتایی یکی از فراوان‌ترین جمعیت‌های ستاره‌ای در کهکشان راه شیری و حتی در دیگر کهکشان‌ها را تشکیل می‌دهند. اگر توجه کنیم که در محدوده ۳۰ پارسکی خورشید از هر 10^4 ستاره حداکثر ۱۰ ستاره دوتایی گرفته وجود دارد، می‌توان دریافت که تعداد کل دوتایی‌های گرفته در کهکشان را شیری به 10^9 می‌رسد (3).

۲-۱ دلایل اهمیت مطالعه ستارگان دوتایی

سیستم‌های چندتایی و به ویژه دوتایی، بنا به دلایل زیر از اهمیت زیادی برخوردار است

(3):

- تعداد این نوع ستارگان در آسمان بسیار زیاد است.
- تنها راه مستقیم پیدا کردن جرم ستاره، مطالعه دینامیکی یک ستاره دوتایی است.

^۱ Double Star

^۲ Multiple Star

^۳ زوج‌السهم

^۴ Jean Baptista Riccioli

^۵ عناق

^۶ sir William Herschel

^۷ Binary Star

- به راحتی با استفاده از قوانین فیزیکی و نجومی حاکم بر سیستم‌های دوتایی می‌توان مشخصه‌های فیزیکی آن‌ها شامل فاصله، دوره تناوب، جرم، شعاع، سرعت شعاعی، دمای ستاره و ... را بدست آورد.
- ستارگان دوتایی از نوع گرفتی از راه دور قابل تشخیص هستند.
- سیستم‌های دوتایی جدا از هم تحت تأثیر نیروهای جزر و مدی کهکشانی از هم پاشیده نمی‌شوند، بنابراین اطلاعات فراوانی درباره سیر تحولی آن‌ها به دست می‌آید.
- با مطالعه دوتایی‌ها می‌توان به ساختار داخلی و جو ستارگان پی برد.
- با بررسی جا به جایی خطوط طیفی ستارگان دوتایی، آن‌ها را می‌توان در فواصل خیلی دور حتی در چند پارسیکی تشخیص داد.

۳-۱ شکل‌گیری ستارگان دوتایی

سه نظریه عمده در مورد تولد و شکل‌گیری ستارگان دوتایی وجود دارد. این سه نظریه عبارتند از:

- نظریه تکه تکه شدن ابر مولکولی^۱
- نظریه گیراندازی^۲
- نظریه شکافت^۳

۱-۳-۱ نظریه تکه تکه شدن ابر مولکولی

بر طبق این الگوی قدیمی ابر مولکولی اولیه متقارن و چرخان فرض می‌شود، این ابر چرخان به علت ناپایداری گرانشی شروع به انقباض و رمبش می‌کند با ادامه رمبش ابر کوچک و کوچک‌تر شده و به علت بقاء اندازه حرکت زاویه‌ای سرعت چرخش ابر (با آهنگ ثابت) افزایش می‌یابد، سرانجام طی مراحل ابر به شکل یک قرص یا حلقه در می‌آید. با افزایش سرعت چرخش، ممکن است ابر مولکولی تکه تکه شده و سبب به وجود آمدن ستاره‌های دیگری گردند.

^۱ Fragmentation

^۲ Capture

^۳ Fission

در مدل‌های جدید این نظریه، چگالی ابر مولکولی و آهننگ چرخش ابر غیر یکنواخت فرض می‌شود و نحوه انتقال انرژی نیز از طریق تابش بررسی می‌شود. این الگو تنها برای توصیف ستارگان دوتایی با دوره تناوب طولانی که از یکدیگر دور باشند. مناسب است. اما برای دوتایی‌های نزدیک با دوره تناوب کوچک کاربرد ندارد.

۱-۳-۲ نظریه گیراندازی

در این نظریه فرض می‌شود که دو ستاره منفرد در نتیجه برخورد اتفاقی و در اثر میدان گرانشی یکدیگر می‌توانند یک دوتایی تشکیل دهند. البته برای این منظور باید شرایط ویژه‌ای فراهم باشد و همچنین جسم سوم نیز وجود داشته باشد تا انرژی گرانشی آزاد شده (در اثر نزدیک شدن دو ستاره به هم) را جذب کند.

۱-۳-۳ نظریه شکافت

بر طبق این نظریه هنگامی که یک پیش ستاره با ساختاری قرصی شکل به سمت رشته اصلی پیش می‌رود بر سرعت گردش ستاره به دور خود افزوده می‌شود و نسبت انرژی دورانی به انرژی گرانشی ستاره بیشتر می‌شود. هنگامی که این نسبت به یک مقدار حدی می‌رسد، ستاره تحت اثر ناپایداری‌هایی که به دلیل عدم تقارن شعاعی موارد آن به وجود می‌آید قرار گرفته و به دو ستاره شکافته می‌شود که این دو ستاره دو مؤلفه یک دوتایی را تشکیل می‌دهند. از آن جایی که در هر کدام از ستاره‌ها مقدار محدودی اندازه حرکت زاویه‌ای می‌تواند باقی بماند، تنها ستارگان دوتایی نزدیک می‌توانند به این طریق به وجود آیند.

۱-۴-۱ انواع ستارگان دوتایی

ستاره‌های دوتایی را با توجه به دلایل مشاهده‌ای و فیزیکی می‌توان در شش گروه رده-بندی کرد که عبارتند از:

۱-۴-۱-۱ دوتایی‌های ظاهری یا نوری^۱

این دوتایی‌ها متعلق به یک سیستم واقعی دوتایی نیستند و ارتباطی نیز با هم ندارند تنها به دلیل قرار گرفتن در امتداد خط دید ناظر به صورت دوتایی به نظر می‌رسند، اختلاف فاصله این دوتایی‌ها از ما می‌تواند به صدها سال نوری برسد و هر کدام از آن‌ها می‌توانند خود متعلق به یک

^۱Optical binary

سیستم دوتایی و یا چندتایی باشند.

۱-۴-۲ دوتایی‌های مرئی^۱

این گونه دوتایی‌ها در اثر پیوند گرانشی متقابل به دور مرکز جرم مشترکشان می‌گردند و می‌توان آن‌ها را به صورت دو ستاره مجزا از درون تلسکوپ دید و این زمانی ممکن است که فاصله دو ستاره از خورشید کم و یا فاصله دو ستاره از هم خیلی زیاد باشد. معمولاً فاصله دو ستاره در یک سیستم دوتایی مرئی بسیار زیاد است به همین دلیل سرعت مداری این ستاره‌ها کم و دوره تناوب مداری سیستم طولانی است و بررسی آن‌ها چندین سال طول می‌کشد. تاکنون حدود ۷۵۰۰۰ ستاره دوتایی مرئی کشف و رده‌بندی شده‌اند ولی مدار حدود ۷۰۰ عدد از آن‌ها تعیین شده است که از این میان حدود ۲۵ عدد آن‌ها قابل اطمینان است.

برای تشخیص این که یک دوتایی ظاهری است یا دوتایی مرئی، آیتکن^۲ (4) پیشنهاد کرد که هر چه جدایی زاویه‌ای بین دو ستاره کوچک‌تر باشد احتمال بیشتری وجود دارد که آن‌ها مؤلفه‌های یک سیستم دوتایی واقعی باشند و بر این اساس رابطه‌ی تجربی زیر را معرفی کرد:

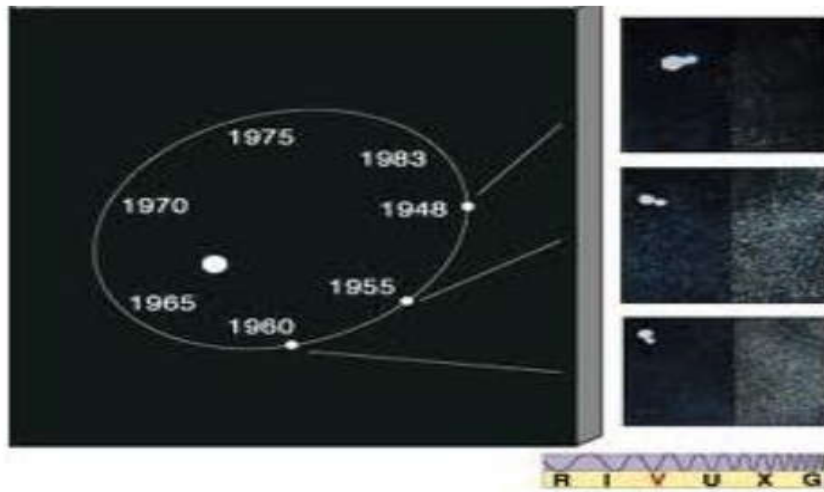
$$\log a = 2/8 - 0/2m \quad (1-1)$$

در رابطه فوق a جدایی زاویه‌ای دو ستاره بر حسب ثانیه قوسی و m قدر ظاهری دو ستاره می‌باشد. با اندازه‌گیری قدر ظاهری ستاره (m) و جایگذاری آن در رابطه (1-1) می‌توان مقدار a را محاسبه کرد و با مقدار a که از طریق مشاهده به دست می‌آید، مقایسه کرد.

اگر مقدار a محاسبه شده از مقدار تجربی مشاهده‌ای کمتر باشد، در این صورت دوتایی مورد نظر یک دوتایی واقعی (مرئی) است.

^۱Visual binary

^۲ R.J.Aitken



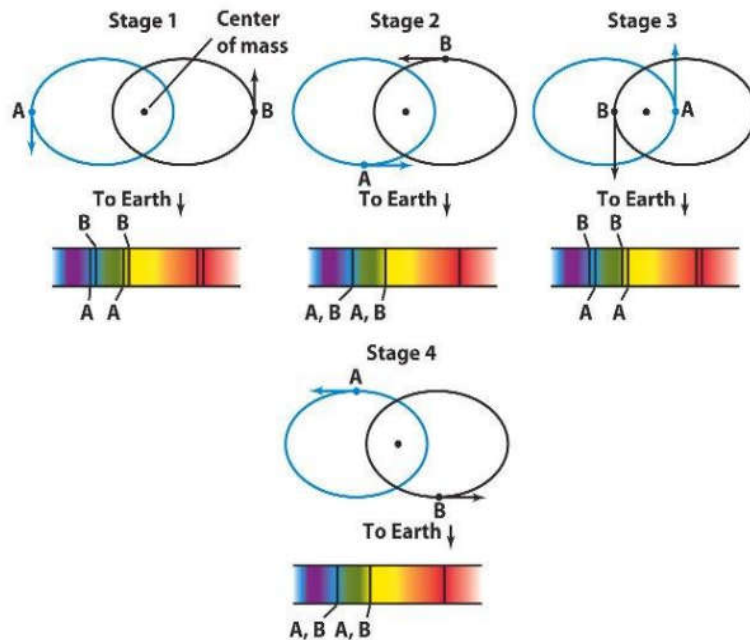
شکل ۱-۱: دوتایی مرئی

۱-۴-۳ دوتایی‌های طیف سنجی^۱

برخی از دوتایی‌ها آنقدر به هم نزدیک و یا از ما دور هستند که حتی با قوی‌ترین تلسکوپ‌ها نیز قادر به تفکیک آن‌ها نمی‌باشیم. اگر دو ستاره آنقدر به هم نزدیک باشند که سرعت گردش مداری آن‌ها بیشتر از $1 \frac{km}{s}$ باشد و به علاوه زاویه میل مداری آن‌ها نیز مخالف صفر باشد، در خطوط طیفی این ستاره‌ها جابجایی دوره‌ای مشاهده می‌شود. این جابجایی‌ها به دلیل پدیده دوپلر می‌باشد که در اثر دور یا نزدیک شدن ستاره‌ها به ما به وقوع می‌پیوندد. اگر طیف هر دو ستاره قابل تشخیص باشد هنگامی که یکی از ستاره به ما نزدیک و دیگری دور می‌شود، از هم جدا شده و هنگامی که هر دو ستاره از مقابل ما عبور می‌کنند، این خطوط بر هم منطبق می‌شوند.

به کمک اندازه‌گیری جابجایی دوپلر بر حسب زمان می‌توان مؤلفه در امتداد دید سرعت ستاره مؤلفه شعاعی را به دست آورد. البته همیشه در طیف یک دوتایی، خطوط طیفی هر دو ستاره مشخص نیست، در صورتی که هر دو عضو یک سیستم دوتایی طیف سنجی به اندازه کافی واضح و روشن باشند و طیف هر کدام از مؤلفه‌ها مشخص باشد، آن دوتایی را دوتایی طیف سنجی دو خطی (SB2) می‌گوییم و اگر یک مؤلفه کم نورتر از دیگری باشد، آن گاه در خطوط طیفی بیش از یک سری خط مشاهده نمی‌شود، این دوتایی را تک خط (SB1) می‌گوییم.

^۱Spectroscopic binary



شکل ۱-۲: یک سیستم دوتایی طیف‌سنجی

۴-۴-۱ دوتایی‌های طیفی

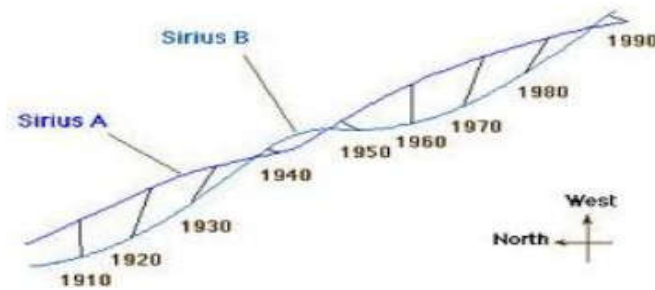
اغلب سیستم دوتایی آنچنان به یکدیگر نزدیک یا از ما دور هستند که به صورت یک جفت نوری قابل تشخیص نیستند. با این وجود طیف به دست آمده از چنین سیستمی، دو نوع ستاره متفاوت را نشان خواهد داد. به طور طبیعی هر ستاره، طیف منحصر به فردی دارد: به طور مثال یک ستاره داغ خطوط غنی از هیدروژن و در طیف یک ستاره سرد خطوط غنی از فلزات دیده می‌شود.

۵-۴-۱ دوتایی‌های نجوم‌سنجی^۱

معمولاً دو عضو یک ستاره دوتایی دارای روشنایی یکسان نیستند، حال روشنایی مؤلفه همدم بسیار ضعیف‌تر از روشنایی مؤلفه اصلی باشد و یا این که دو مؤلفه خیلی به هم نزدیک باشند، علت محدودیت‌های تفکیک هندسی موجود در تلسکوپ‌ها، قادر به رؤیت هر دو ستاره نیستیم و تنها یک ستاره در تلسکوپ دیده خواهد شد. اما با در نظر گرفتن اثرات گرانشی بین دو مؤلفه، ممکن است بتوان ثابت کرد که چنین منظومه‌ای یک سیستم دوتایی است. به منظومه‌های دوتایی که حرکت مداری آن‌ها توسط روش‌های نجوم‌سنجی، مشخص و آشکار می‌گردد دوتایی‌های نجوم‌سنجی گفته

^۱ Astrometric Binary

می‌شود. به عنوان مثال دو ستاره شعرای یمانی الف و ب^۱ در صورت فلکی سگ بزرگ^۲ دو مؤلفه یک سیستم دوتایی نجوم‌سنجی‌اند. ستاره شعرای یمانی به عنوان عنصر کوچک و کم‌نورتر این منظومه‌ی دوتایی در سال ۱۸۴۴ میلادی توسط فردریش ویلهلم بسل^۳ (5) و با توجه به حرکت ویژه‌اش^۴ در آسمان کشف گردید. شکل ۱-۳ حرکت خاص این سیستم را طی ۸۰ سال نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳: حرکت ستاره Sirius در مدت ۸۰ سال

۱-۴-۶ دوتایی‌های گرفتی^۵

ستارگان دوتایی گرفتی از مهمترین زیر مجموعه‌های دوتایی‌های طیف سنجی و مرئی می‌باشند. سیستم‌های دوتایی گرفتی به سه گروه الغول‌ها، W Uma و β -lyrae تقسیم می‌شوند که در بین این سه گروه، W Uma بیشترین فراوانی را دارند و به همین دلیل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. اولین بار در سال ۱۹۴۱ میلادی کوپر (6) این سیستم‌ها را معرفی نمود و دانشمندان زیادی بعد از وی بر روی این نوع ستارگان دوتایی مطالعه نموده‌اند که از اولین این افراد عبارتند از لوسی ۱۹۶۸ م (7). بنینجک ۱۹۷۰ م (8). روسینسکی ۱۹۷۰ م (9). کرافت ۱۹۶۷ م (10). کیتامورا ۱۹۵۹ م (11). ساها ۱۹۶۰ م (12) و هوانگ ۱۹۵۸ م (13).

با توجه به سه نظریه ذکر شده در بالا برای منشأ ستارگان دوتایی و بررسی خصوصیات هر یک از نظریات متوجه می‌شویم که ستارگان W Uma با نظریه شکافت مطابقت دارند.

اشکال اصلی نظریه شکافت به عنوان منشأ ایجاد در برخی ستارگان دوتایی، مربوط به اندازه حرکت زاویه‌ای می‌باشد زیرا برای برخی از ستارگان دوتایی، اندازه حرکت زاویه‌ای مداری از

^۱ Sirius A, B
^۲ Canis Major
^۳ Friedrich Wilhelm Bessel
^۴ Proper motion
^۵ Eclipsing Binary

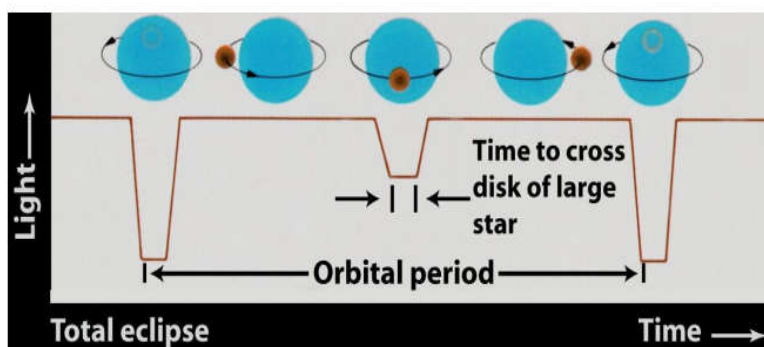
اندازه حرکت چرخشی هر کدام از مؤلفه‌ها بیشتر است، به همین دلیل یک ستاره چرخان سریع، اندازه حرکت زاویه‌ای کافی برای این پدیده را ندارد. در مورد ستارگان W Uma، اندازه حرکت زاویه‌ای مداری با اندازه حرکت چرخشی، اندکی متفاوت است و این اشکال وجود ندارد. محدوده جرمی ذکر شده برای نظریه شکافت $0.8 < M < 4$ جرم خورشیدی می‌باشد و از آنجا که جرم ستارگان W Uma نیز در محدوده جرمی $0.74 < M < 3.8$ جرم خورشیدی است، بین این دو حد مطابقت وجود دارد، بنابراین تنها نظریه جوابگو برای ستارگان W Uma نظریه شکافت می‌باشد.

در دوتایی‌های گرفتی، دو مؤلفه در مدارهایی دایروی و یا بیضی‌گون حول مرکز جرم سیستم می‌گردند و به تناوب از مقابل یکدیگر عبور کرده و یکدیگر را می‌پوشانند و از این رو موجب تغییر میزان روشنایی دوتایی نسبت به زمان می‌شوند. با رسم تغییرات روشنایی یا تابندگی سیستم دوتایی نسبت به زمان، منحنی نوری بدست آید.

منحنی‌های نوری منظومه‌های دوتایی از دو کمینه تشکیل شده است و چون در حالت کلی روشنایی دو ستاره یکسان نیست. لذا عمق کمینه‌ها برابر نخواهد بود. هنگامی که ستاره‌ی روشن‌تر (مؤلفه‌ی اصلی) توسط ستاره‌ی کم‌نورتر (ستاره همدم) پوشانده می‌شود، کمینه عمیق‌تر یا کمینه اصلی ایجاد می‌شود و هنگامی که ستاره همدم توسط ستاره اصلی پوشانده می‌شود کمینه دوم به وجود می‌آید. شکل ۱-۴ منحنی نوری یک دوتایی گرفتی را نشان می‌دهد که ستاره اصلی کوچک‌تر ولی روشن‌تر است. در کمینه اول همواره ستاره با سطح روشن بزرگ‌تر (ستاره داغ‌تر) است که پوشیده می‌شود. اگر ستاره کوچک‌تر ستاره داغ‌تر باشد، ضمن گرفتی، کاملاً توسط ستاره سردتر و بزرگ‌تر پوشیده می‌شود که به آن گرفت کلی^۱ می‌گوییم، اما اگر ستاره کوچک‌تر، ستاره سردتر نیز باشد آنگاه کمینه اول مربوط به زمانی است که این ستاره از مقابل ستاره بزرگ‌تر می‌گذرد و فقط قسمتی از سطح ستاره بزرگ‌تر را می‌پوشاند که به آن گرفت جزئی^۲ می‌گوییم. مدار دوتایی‌های گرفتی نسبت به دوتایی‌های مرئی کوچکتر است و دو مؤلفه به هم نزدیک‌ترند، نزدیک بودن مؤلفه‌ها به هم موجب می‌شود تا شکل منحنی نوری از یک سیستم دوتایی تا سیستم دوتایی دیگر متفاوت باشد و در واقع سیستم‌های دوتایی گرفتی، خود از زیر رده‌های کوچک‌تری تشکیل شده‌اند.

^۱ Total eclipse

^۲ Partial eclipse



شکل ۱-۴: منحنی نوری یک دوتایی گرفتی که ستاره کوچک‌تر دمای بیشتری دارد و روشن‌تر است.

۱-۵ اهمیت مطالعه ستاره‌های دوتایی گرفتی

دلایل اهمیت مطالعه ستارگان دوتایی گرفتی را می‌توانیم در موارد زیر خلاصه کنیم:

الف - دوتایی‌های گرفتی پدیده‌های نادری نیستند، بیش از ۵۰ درصد ستارگان اطراف خورشید در مجموعه‌های دو یا چندتایی به سر می‌برند. از بین ۱۰۰۰ ستاره‌ای که در فاصله کمتر از ۳۰ پارسیکی خورشید قرار دارند حداقل ۲ تا ۳ آن‌ها دوتایی گرفتی می‌باشند یعنی ۰/۰۲ درصد ستارگان اطراف خورشید دوتایی گرفتی هستند. اگر این نسبت را به کل کهکشان تعمیم دهیم تعداد دوتایی‌های گرفتی در کهکشان ما حدود 10^8 عدد می‌باشد.

ب - اندازه‌گیری جرم ستاره‌ها: اگر بخواهیم جرم یک ستاره را به طور مستقیم و با دقت زیاد اندازه‌گیری کنیم بایستی از تأثیر نیروی گرانشی ستاره بر اجرام مجاورش استفاده کنیم، زمانی می‌توانیم جرم مؤلفه‌های یک دوتایی را تعیین کنیم که دوتایی، یک دوتایی گرفتی باشد.

ج - اطلاعات متعدد از خواص فیزیکی و هندسی ستاره‌ها: از حل منحنی نوری این ستاره‌ها می‌توان اطلاعاتی همچون شعاع، تابندگی، دمای سطحی و فاصله دو ستاره را بدست آورد. مطالعه ساختار جو این ستاره‌ها نیز از طریق اندازه‌گیری ضرایب تاریکی لبه ممکن می‌شود. اندازه‌گیری ضرایب تاریکی گرانی نیز می‌تواند ما را از ساختار درونی ستاره‌ها آگاه سازد.

د - بررسی تحول ستاره‌ها: در دوتایی‌های گرفتی نزدیک، با توجه به برخی شرایط تأثیر گرانش متقابل ستاره‌ها بر هم، سبب انتقال جرم بین دو مؤلفه می‌شود. این کاهش جرم برای یک مؤلفه و افزایش جرم برای مؤلفه دیگر بر مسیر تحول ستاره تأثیر می‌گذارد. بنابراین، دوتایی‌های

گرفتی آزمایشگاه مناسبی برای نظریه‌های موجود درباره تحول ستاره‌ها می‌باشند.

ه- بررسی ستاره‌ها در سایر کهکشان‌ها: از طریق مشاهده دوتایی‌ها با تلسکوپ تنها می‌توان تا فواصل چند صد پارسکی را مطالعه کرد اما، مشاهده تغییرات نور ستاره‌های گرفتی با ابزارهای نورسنجی الکترونیکی تا فاصله چند هزار پارسکی از خورشید، حتی در کهکشان‌های مجاور نیز امکان پذیر است.

۱-۶ رده‌بندی سیستم‌های دوتایی بر اساس موقعیت مؤلفه‌ها روی نمودار هر تیز پرائنگ- راسل (H_R)

رده‌بندی ستارگان دوتایی گرفتی بر اساس تحول مؤلفه‌ها یا رده‌بندی ساها^۱، برهم‌کنش مؤلفه‌ها با رده‌بندی کوپال^۲، شکل منحنی نوری، رده‌بندی کرات و رده بندی گانین.

۱-۶-۱ رده‌بندی ساها

این رده‌بندی در سال ۱۹۷۵ میلادی توسط ساها (14) ارائه گردید. بر اساس این رده-بندی، ستارگان دوتایی گرفتی با توجه به موقعیت مؤلفه‌ها بر روی نمودار H-R به پنج دسته تقسیم می‌شوند:

الف- حداقل یک مؤلفه در مرحله پیش رشته اصلی^۳ می‌باشد.

ب- هر دو مؤلفه بر روی رشته اصلی قرار دارند و دو حالت وجود دارد، رده طیفی دو مؤلفه مشابه و رده طیفی دو مؤلفه غیر متشابه است.

ج- یک مؤلفه بر روی رشته اصلی و مؤلفه دیگر در ناحیه پیش‌غول یا غول قرار دارد.

د- هر دو مؤلفه در ناحیه غول‌ها یا پیش‌غول‌ها قرار دارند و دو حالت وجود دارد، رده طیفی هر دو مؤلفه مشابه و رده طیفی هر دو مؤلفه نامتشابه است.

ه- یک مؤلفه در ناحیه زیررشته اصلی قرار دارد.

^۱ Sahade

^۲ Kopal

^۳ Pre-main sequence

۱-۶-۲ رده‌بندی کوپال

این رده‌بندی در سال ۱۹۵۴ میلادی توسط کوپال (15) مطرح گردید، در این رده‌بندی منظومه‌های دوتایی‌گرفتی بر اساس تحول و سطوح هم‌پتانسیل روش^۱ (به فصل ۲ بخش ۲-۳ مراجعه شود)، یا سطوح با صفر، طبقه‌بندی می‌شوند. برای ستاره منفرد غیرچرخان، سطوح هم‌پتانسیل کروی است، اما برای جفت ستاره که در حال گردش به دور یکدیگرند، این سطوح از حالت کروی خارج شده و شبیه یک گلابی یا دمبل خواهد بود. حال بسته به این که ابعاد مؤلفه‌ها کوچک‌تر، مساوی و یا بزرگ‌تر از حد روش باشند، دوتایی‌های گرفتی به سه دسته سیستم‌های جدا^۲، سیستم‌های نیمه جدا^۳ و سیستم‌های تماسی^۴ تقسیم می‌شوند.

الف - سیستم‌هایی با مؤلفه‌های جدا از هم: در این سیستم هر دو مؤلفه کوچک‌تر از

حد روش خود می‌باشند، مؤلفه‌های اصلی بزرگ‌تر و پر حجم‌تر از مؤلفه دوم بوده و دارای رده طیفی گرم‌تر نیز می‌باشد. دوره تناوب این دوتایی‌ها اکثراً کوتاه بوده و هر دو ستاره تقریباً بر روی دو رشته اصلی قرار گرفته‌اند.

ب - سیستم‌های با مؤلفه‌های نیمه جدا: در این سیستم‌ها یکی از مؤلفه‌ها حد روش

خود را پر کرده و مؤلفه دیگر کوچک‌تر از حد روش خود می‌باشد در اغلب سیستم‌های نیمه جدا، مؤلفه همدم یک غول یا ابرغول است در حالی که مؤلفه اصلی کوچک‌تر و داغ‌تر از مؤلفه همدم بوده و یک ستاره رشته اصلی است.

ج - سیستم‌ها با مؤلفه‌های تماسی: در این سیستم‌ها هر دو مؤلفه حد روش خود را

پر کرده و با یکدیگر در تماس مستقیم می‌باشند، در سیستم‌های تماسی دو ستاره بسیار نزدیک به هم هستند و در نتیجه دوره تناوب این نوع دوتایی‌های گرفتی کوتاه بوده و کم‌تر از یک روز می‌باشد. در این سیستم‌ها گرفتی‌های متوالی دارای عمق‌های تقریباً یکسانی هستند که دلالت بر اختلاف روشنایی کم دو مؤلفه دارد. در برخی موارد هر دو مؤلفه آن قدر منبسط شده‌اند که در حد روش داخلی شارش کرده و بخشی از فضای روش داخلی را پر نموده‌اند. این نوع سیستم‌ها را فوق تماسی

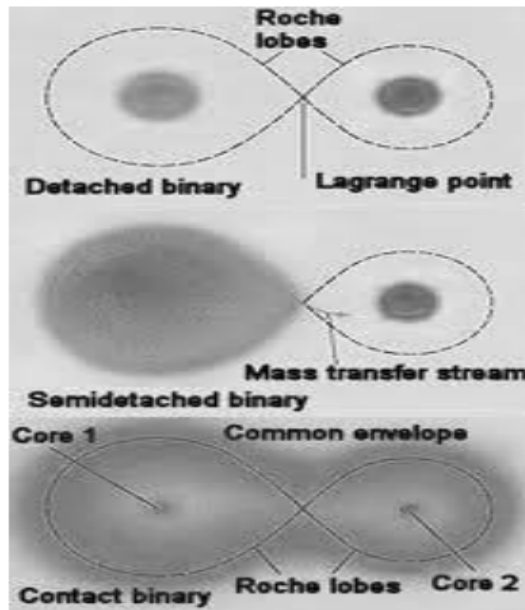
^۱ Roche

^۲ Detached

^۳ Semi-Detached

^۴ Contact

می‌نامند. پلاوک^۱ (16) در سال ۱۹۶۸ و فالکنر^۲ (17) در سال ۱۹۷۱ سطوح را به دو عامل نسبت داده‌اند: ۱- تحول یکی از مؤلفه‌ها که منجر به انبساط شده و سطح روش را پر می‌کند. ۲- کاهش لب روش به داخل سطح ناشی از کاهش در جدایی مداری که بر اثر تابش گرانشی ایجاد شده است.



شکل ۱-۵: انواع دوتایی‌های گرفتی بر اساس رده‌بندی کوبال

۱-۶-۳ رده بندی بر اساس شکل منحنی نوری

منحنی نوری ستارگان دوتایی گرفتی بسته به شکل مؤلفه‌ها، میزان نزدیکی دو مؤلفه، مرحله تحولی و عوامل دیگر فیزیکی تغییر می‌کند و لذا با توجه به شکل منحنی نوری می‌توان این سیستم‌ها را به سه نوع EB (β Lyrae)، EA (Algol)، EW (W Uma) تقسیم بندی کرد:

الف- دوتایی‌های شبه الغول: در ستارگان دوتایی نوع EA یا الغول^۳ اختلاف عمق دو

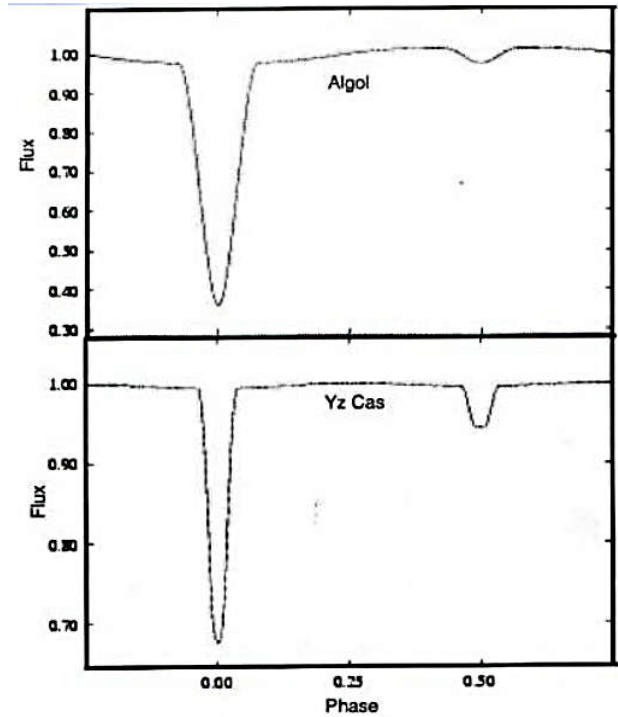
کمینه زیاد بوده و قسمت‌های بیشینه منحنی نوری تخت و هموار است و تغییرات قابل ملاحظه‌ای در نواحی خارج از گرفت دیده نمی‌شود. به عبارت دیگر در دوتایی‌های نوع الغول به علت دوری دو مؤلفه از یکدیگر، اثرات مجاورت ناچیز بوده و مؤلفه‌ها تقریباً کروی شکل هستند. نکته‌ی مهم و حائز اهمیت دیگری که در دوتایی‌های نوع الغول باید خاطر نشان نمود آن است که کمینه دوم در برخی طول

^۱ Plavec

^۲ Faulkner

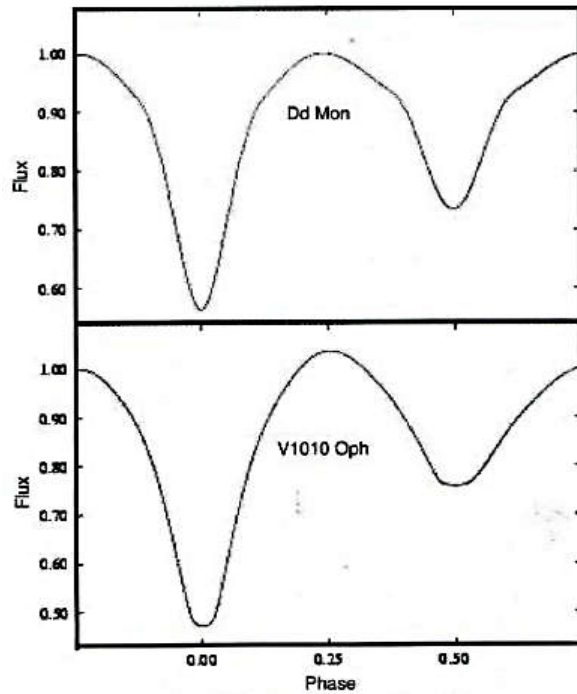
^۳ Algol

موج‌ها برجسته و مشخص نیست، به عبارت دیگر اثر انعکاس در این نوع دوتایی‌ها کاملاً واضح و قابل مشاهده است. دوره تناوب مداری این سیستم‌ها از یک روز تا چندین سال است (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱: منحنی نوری دو سیستم نوع الغول

ب- دوتایی‌های شبه بتا شلیاکی^۱: تغییرات منحنی نوری سیستم‌های نوع EB پیوسته است و از این رو می‌توان اینطور استنباط کرد که دیگر شکل مؤلفه‌ها کروی نیست. علاوه بر این عمق کمینه‌ها نابرابر است و این موضوع نشان می‌دهد که دو مؤلفه دارای تابندگی یکسان نیستند. فاصله بین مؤلفه‌ها در مقایسه با دوتایی‌های شبه الغول کاهش یافته است. دوره تناوب دوتایی‌های بتالیرا از یک روز تا دو هفته است (شکل ۷-۱).

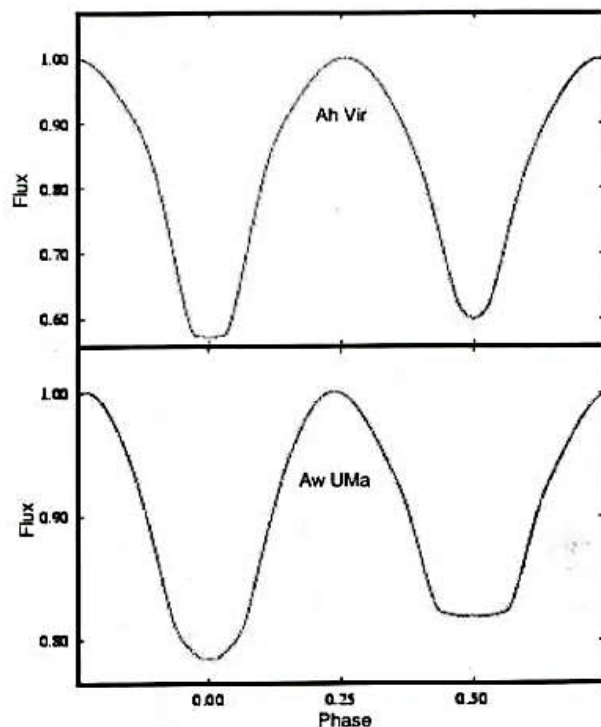


شکل ۱-۷: منحنی نوری دو سیستم شبه بتا شلیافی

ج- دوتایی‌های شبه دبلیدوب اکبری^۱: منحنی نوری سیستم‌های نوع EW نظیر سیستم‌های EB دارای تغییراتی پیوسته است ولی بر خلاف دوتایی‌های نوع EB عمق کمینه‌ها بسیار نزدیک به هم و تقریباً یکسان است. به عبارت دیگر در سیستم‌های نوع EW به علت اثرات مجاورت و نیروهای کشندی، دو مؤلفه دیگر کروی نیستند و بیشتر شبیه به یک بیضوی می‌باشند. (شکل ۱-۸). سیستم‌های EW با توجه به نوع گرفت خود به دو رده W و A تقسیم می‌شوند.

در سیستم‌های نوع A دوره تناوب مداری به طور پیوسته افزایش می‌یابد، کمینه عمیق‌تر در این نوع دوتایی مرتبط به ستاره بزرگ‌تر است. دوتایی نوع A تابندگی و جرم بیشتری نسبت به نوع W دارد در حالی که نسبت جرمی آن کمتر است. در نوع W دوره تناوب مداری به طور پیوسته کاهش می‌یابد، کمینه عمیق‌تر مرتبط به ستاره کوچک‌تر است. منحنی نوری در این نوع عدم تقارن دارد.

^۱ W Uma



شکل ۸-۱: منحنی نوری دو سیستم نوع (EW, AW) W Uma

۱-۳-۶-۱ خصوصیات سیستم‌های W Uma

اگر سطوح هم پتانسیل سیستم‌های روش را در نظر بگیریم، می‌توان سیستم‌های W Uma را به صورت دو دسته سیستم‌های تماسی و فوق تماسی با خصوصیات زیر مورد مطالعه قرار داد:

- سیستم‌هایی با مؤلفه تماسی: در این سیستم‌ها هر دو ستاره سطح روش خود را پر کرده‌اند و هر دو مؤلفه تحول یافته‌اند.
- سیستم‌هایی با مؤلفه فوق تماسی: اگر هر دو ستاره بیش از اندازه منبسط شوند به طوری که ماده از حد روش داخلی شارش کند و بخشی از فضای بین سطوح روش داخلی و خارجی را پر کند، سیستم با مؤلفه‌های فوق تماس خواهد بود.
- ستارگان سیستم‌های W Uma دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشند که در دوتایی‌های دیگر کمتر دیده می‌شوند. این تفاوت‌ها مربوط به جرم مؤلفه‌ها، دوره تناوب طیف، منحنی نوری و پیکربندی سیستم می‌باشند. در ذیل به برخی از ویژگی‌های این نوع ستارگان می‌پردازیم:

۱- سیستم‌های W Uma در نزدیکی رشته اصلی و یا روی رشته اصلی قرار دارند، به

همین دلیل با ستارگان اصلی تفاوت چندانی ندارند (18).

۲- دوره تناوب سیستم‌های W Uma کمتر از یک روز و معمولاً بین ۰/۲۵ تا ۰/۶۵ روز می‌باشد (19).

۳- رده طیفی این سیستم‌ها بین F0 تا K0 می‌باشد و رده طیفی هر دو مؤلفه تقریباً یکسان است (19).

۴- درجات قدر مطلق سیستم حدود ۳+ تا ۶+ می‌باشد.

۵- جرم مؤلفه‌ها در سیستم‌های W Uma اغلب بین $0.8 M_{\odot}$ تا $3/8 M_{\odot}$ قرار دارند.

۶- مؤلفه‌ها در سیستم‌های W Uma بیضی شکل هستند و هر دو مؤلفه از نظر ابعاد در روشنائی قابل مقایسه می‌باشند. مؤلفه‌ها خیلی نزدیک و اغلب با هم در تماس می‌باشند (20).

۷- در منحنی نوری این سیستم‌ها، به دلیل تابندگی‌های نزدیک به هم مؤلفه‌ها، عمق کمینه‌ها یکسان است (21).

۸- عدم تقارن در منحنی‌های نوری سیستم‌های W Uma امری عادی است.

۹- به دلیل واقع بودن این ستارگان در رشته اصلی، هنوز واکنش‌های هیدروژن‌سوز در آن‌ها موجود است.

۱۰- ستارگان W Uma به عنوان گسیل‌کنندگان اشعه X شناخته شده‌اند مکانیزم گسیل اشعه X در این سیستم‌های دوتایی مبهم باقی‌انده است اما تصور می‌شود که به فعالیت مغناطیسی ستارگان ناشی از یک پوش همرفتی مشترک و نیز چرخش سریع و همزمان آن‌ها مربوط می‌شود (22).

موقعیت سیستم‌های W Uma نسبت به رده‌بندی‌های دیگر ستارگان دوتایی گروهی از ستارگان در رده‌بندی سیستم‌های دوتایی گرفتی بر اساس منحنی نوری سیستم‌های W Uma می‌باشد، اما موقعیت این سیستم‌ها در رده‌بندی‌هایی که متوسط کوپال و کرات و کوکارین و ساها و ... صورت گرفته‌اند، متفاوت است که به بیان هر یک می‌پردازیم.

در رده‌بندی کوپال (15) که سیستم‌های دوتایی در آن بر اساس تحول مؤلفه‌ها و سطوح هم‌پتانسیل اطراف دو ستاره طبقه‌بندی می‌شوند، سیستم‌های W Uma در رده سیستم‌های تماسی

که دو مؤلفه سطوح روش خود را پر کرده‌اند و یا سیستم‌های فرا تماسی که دو مؤلفه بیش از اندازه منبسط شده‌اند به طوری که ماده از حد روش داخلی شارش کرده و بخشی از فضای روش داخلی و خارجی را پر می‌کند قرار می‌گیرند.

در رده‌بندی کوکارکین (23) این گروه در طبقه بندی KW قرار می‌گیرد که در آن مؤلفه‌ها از ستارگان رشته اصلی و یا زیر کوتوله می‌باشند و رده طیفی آنها از A5 تا K می‌باشد.

در رده‌بندی کرات (۱۹۴۴) که سیستم‌ها بر اساس خواص ذاتی و طبیعی مؤلفه‌ی طبقه‌بندی می‌شوند، این سیستم‌ها در رده بندی پنجم جای می‌گیرند که در آن هر دو مؤلفه از رده طیفی F5 و M می‌باشند و بعضی از این ستارگان کوتوله سفید با دوره تناوب کوتاه هستند.

سیستم‌های W Uma در رده‌بندی ارائه شده توسط ساها (14) که بر مبنای موقعیت مؤلفه‌ها روی نمودار H-R است، جای نمی‌گیرند و به عنوان یک گروه مستقل مورد توجه قرار می‌گیرند.

۱-۶-۳-۲ تغییرات دوره تناوب در ستارگان W Uma

دوره تناوب مداری یک ستاره دوتایی، یکی از پارامترهای اساسی است که می‌توان آن را با دقت زیاد تعیین کرد. در سیستم‌های دوتایی گرفتی، دوره تناوب از مشاهده فاصله زمانی بین دو گرفت اصلی اندازه گرفته می‌شوند. برای دو جرم نقطه‌ای که تحت تأثیر گرانش یکدیگر حول مرکز جرم مشترکشان در حال گردش‌اند، انتظار می‌رود دوره تناوب ثابت بماند، اما برای ستارگان واقعی به دلیل اینکه مقداری از جرم خود را به انرژی تبدیل کرده و در فضای اطراف خود گسیل می‌دارند، دوره تناوب به تدریج تغییر می‌کند. اگر چه گاهی تغییرات بسیار کوچک و غیرقابل آشکارسازی می‌باشند اما در بسیاری موارد از جمله در مورد ستارگان W Uma شاهد تغییرات چشمگیر دوره تناوب هستیم: دوتایی‌هایی که تغییرات دوره تناوب در آنها مشاهده می‌شود به دو گروه تقسیم می‌شوند:

۱- گروهی که تغییرات دوره تناوب آنها منظم و تناوبی است.

۲- گروهی که تغییرات دوره تناوب در آنها کاملاً نامنظم است.

تغییرات دوره تناوب در گروه اول به خاطر تغییرات در زمان رسیدن نور از سیستم

دوتایی به ناظر زمین است. اگر سیستم دوتایی مربوطه حول مرکز جرم مشترک با حجم سوم در حال گردش باشد و یا مدار آنها بیضی باشد و دوران حول قطر اطول بیضی داشته باشد، شاهد تغییرات منظم در زمان وقوع گرفت این سیستم‌ها و بنابراین شاهد تغییرات منظم دوره تناوبشان هستیم. مشاهدات نشان می‌دهند دوره تناوب سیستم‌های W Uma گاهی کاهش و گاهی افزایش می‌یابند و گاهی در زمان خاص ثابت می‌ماند. در ذیل مهمترین عوامل احتمال مؤثر و تغییرات دوره تناوب در سیستم‌های W Uma را ذکر می‌کنیم:

۱- انتقال و یا از دست دادن جرم توسط یکی از مؤلفه‌ها و یا هر دو آنها از یک سیستم دوتایی، جرم خود را در یک امتداد معین از دست دهد و یا جرم از ستاره‌ای به ستاره دیگر انتقال یابد، با توجه به محاسبات فصل دوم دوره تناوب با توجه به جرم دو ستاره و شرایط انتقال جرم، گاهی کاهش و گاهی افزایش می‌یابد.

۲- اگر اتلاف جرم با سرعت نسبتاً زیادی (در حدود چند کیلومتر در ثانیه) باشد، این اتلاف برای ایجاد تغییرات بزرگ در دوره تناوب یک سیستم دوتایی کافی خواهد بود.

۳- ذرات یونیزه موجود در مواد پرتاب شده بین دو ستاره بین ستاره و مواد پرتاب شده به محیط بین دو ستاره، تنها نیروهای موجود، نیروهای گرانشی بین ستاره‌ها و ذرات نیستند، بلکه ذرات یونیزه موجود در مواد پرتاب شده با میدان مغناطیسی ستارگان اندرکنش می‌کنند و راه‌های مؤثری را برای ایجاد تغییرات دوره تناوب مهیا می‌کند.

۴- وجود لک: با توجه به اینکه وجود لک‌های ستاره‌ای در مؤلفه‌های ستارگان W Uma مورد تأیید قرار گرفته است، لذا پرتاب جرم از این مناطق به صورت شراره‌های ستاره‌ای نیز می‌تواند به عنوان عامل مؤثر دیگری برای ایجاد تغییرات دوره تناوب محسوب شود.

۱-۶-۴ رده بندی کرات

در سال ۱۹۴۰ میلادی، یک رده بندی بر اساس خواص ذاتی و طبیعی مؤلفه‌ها پیشنهاد شد. در این رده بندی سیستم‌های دوتایی به شش دسته تقسیم می‌شوند که هر دسته را در ذیل شرح می‌دهیم:

الف) در این سیستم‌ها، هر دو مؤلفه به نوع طیفی O-139 متعلق‌اند. ابعاد مؤلفه‌ها نسبت به اندازه مدار بزرگ است و معمولاً بیضی‌گون‌اند و دوره تناوب مداری‌شان در حد چند روز است.

ب) در این سیستم‌ها که دوره تناوب‌شان معمولاً کسری از یک روز است، نوع طیفی مؤلفه کم نورتر A0-F5 است و اثر بیضی‌گون بودن محسوس می‌باشد.

پ) در این دسته که دوره تناوب مداری آن‌ها غالباً بیش از یک روز است، یکی از مؤلفه‌ها در حال تبدیل شدن به عنوان می‌باشد. بر خلاف دسته‌های قبل، اثر بیضی‌گون ناچیز است ولی اثر بازتاب چشمگیر می‌باشد.

ت) در این سیستم‌ها، دوره تناوب ممکن است کسری از روز یا چندین روز باشد و اثرات بیضی‌گون و بازتاب ناچیزند، هر دو مؤلفه‌های این سیستم‌ها، ستارگان رشته اصلی هستند و یک از آن‌ها بر نوع طیفی پایین‌تر از F5 متعلق‌اند.

ز) سیستم‌های متعلق به این دسته، دوره تناوب‌های کوتاه دارند و هر مؤلفه آن‌ها به نوع طیفی F5 تا M متعلق‌اند. برخی از ستارگان کوتوله سفید در این رده جای می‌گیرند.

د) در این دسته، هر دو مؤلفه و گاهی یکی از آن‌ها غول است و دوره تناوب مداری چندین سال می‌باشد.

۱-۶-۵ رده‌بندی گاینن

گاینن این رده‌بندی را در سال ۱۹۹۲ میلادی (24) برای سیستم‌های دوتایی فیزیک که مؤلفه‌ها با هم اندرکنش دارند، ارائه داد. بر این اساس، سیستم‌های دوتایی به ۹ زیر گروه تقسیم می‌شوند.

الف) الغول‌ها:

سیستم‌های متعلق به این گروه، ستاره‌های معمولی (رشته اصلی یا ابرغول) می‌باشند که متعلق به سیستم دوتایی نیمه جدا هستند. از بررسی و مطالعه این سیستم‌ها درباره مبادله جرم، خواص تحول ستاره‌ای می‌توان اطلاعاتی کسب کرد.

ب) سگ‌های تازی^۱ RS:

سیستم‌های متعلق به این گروه، دوتایی‌های فعال از نظر شید سپهر می‌باشند که برای

^۱ RS canis Major

Family name: Yahyavi vishkaei	Name: Mohaddeseh
Title of Thesis : Investigations of Structure and Evolution of Binary Stars with Ultra-short orbital period	
Supervisors: Davood Manzoori	
Graduate Degree: Master of Science	
University: Mohaghegh Ardabili	
<p>Abstract:</p> <p>In this project, with the aim of investigating the evolution of ultra-short orbital period binary systems, photoelectric photometry data of 5 ultra-short orbit period systems with catalog numbers as (OGLE-BLG-ECL-000002, OGLE-BLG-ECL-000004, OGLE-BLG-ECL-000008, KIC9532219, KIC11825204) in V and I band were selected from the data of the Kepler's Space Telescope and from the OGLE project. The photoelectric light curves of the systems were analyzed using PHOEBE software, the physical and orbital parameters of the systems were determined for the first time. Then, evolutionary status of these systems were determined in H-R, M-R and M-L diagrams, and were compared with almost similar systems. The results show that the stars with ultra-short orbit period have quicker evolution as compared to similar systems (ordinary non ultra- short). In addition, the ages of these systems on the Isochrones diagram were determined which almost all of them were elder than 10 Gyr. This is consistent with the theory that the loss of magnetized stellar wind makes the orbits tighter and shorter, hence reduces the orbital period so that ultimately the binary merges to a single star. Because as mentioned above, the stars with ultra-short orbit period are evolved.</p>	
<p>Keywords: Binaries eclipsing, Binary start with ultra-short orbital period, Stars low-mass, Structure and evolution of stars</p>	



University of Mohaghegh Ardabili
Faculty of Science
Department of Physics

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for
the degree of M.Sc. In Physics Specialty ...**

Title:
**Investigations of Structure and Evolution of Binary
Stars with Ultra-short orbital period**

Supervisor:
Davood Manzoori

By:
Mohaddeseh Yahyavi Vishkaei

February – 2018