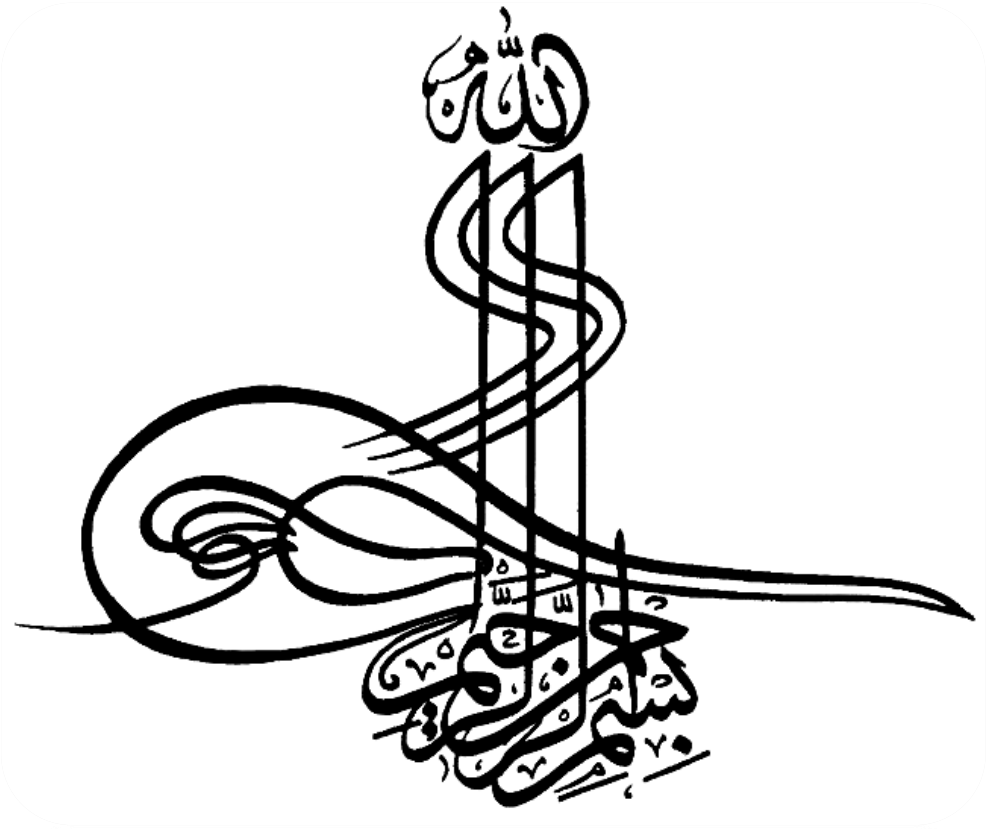

الله
بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به

درخشان ترین ستاره های شب های زندگی ام

پدر و مادر عزیزم

دانشگاه بیرجند

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک (نجوم)

عنوان:

نورسنجی و تحلیل منحنی نوری ستاره دوتایی گرفتی AC Boo در صافی های B , V, G و R

استاد راهنما:

دکتر عباس عابدی

نگارش:

زهره السادات سادات حسینیان

تابستان ۱۳۹۱

چکیده

در این پژوهش ستاره دوتایی گرفتی AC Boo نورسنجی و مورد تحلیل قرار گرفته است. نورسنجی این سیستم طی شش شب، در صافی‌های B، V، G و R جانسون، و با استفاده از تلسکوپ اشمیت- کاسگرین با قطر دهانه ۱۴ اینچ و CCD مدل ST-7 در رصد خانه دکتر مجتهدی دانشگاه بیرجند انجام گرفته است. چگونگی تحلیل این سیستم در چند مرحله بیان گردیده است.

مرحله اول: با استفاده از داده‌های جمع آوری شده و کاهش آنها، منحنی نوری سیستم در صافی‌های مورد نظر بدست آمده است. این منحنی‌ها با استفاده از نرم افزار Phoebe مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و کمیت های نسبی سیستم استخراج شده است.

مرحله دوم: با استفاده از برنامه ویلسون-دوینی، منحنی سرعت شعاعی سیستم رسم گردیده، و با تعیین نیم دامنه‌های سرعت شعاعی کمیتهای مطلق سیستم محاسبه شده‌اند.

مرحله سوم: با استفاده از نمودار تغییرات قدر بر حسب زمان ژولیانی، زمان‌های کمینه گرفت جدید بدست آمده‌اند. در ادامه منحنی o-c کمینه‌های گرفت با استفاده از زمان‌های کمینه جدید و زمان‌های کمینه گرفتی که دیگران اعلان کرده‌اند، رسم شده است. با تحلیل این منحنی ابتدا آهنگ تغییرات دوره تناوب مداری سیستم، و در نتیجه زیج خطی جدید سیستم ارائه شده است. به کمک آهنگ تغییر دوره تناوب و با فرض پایستاری جرم سیستم آهنگ انتقال جرم محاسبه شده است. سپس با استفاده از منحنی باقیمانده‌های o-c احتمال حضور جسم سوم بررسی و کمیت‌های مربوط به سیستم سه جسمی محاسبه گردیده‌اند. به دلیل تناوبی بودن منحنی باقیمانده‌های نهایی o-c احتمال حرکت لکهٔ سیستم مورد بررسی قرار گرفته، و دوره تناوب آن محاسبه شده است.

فصل اول
سیستم های دوتایی

۱–۱ تاریخچه

ستارگان آسمان بر خلاف چیزی که ما با چشم غیر مسلح در آسمان می بینیم به صورت تنها زندگی نمی کنند بلکه حدود ۵۰٪ آنها دارای همدم هایی هستند و به صورت دوتایی زندگی می کنند.

برای ناظر دشوار است که باور کند که بیشتر از نصف تمامی ستارگان در واقع منظومه های چند ستاره ای، شامل دو، سه یا چند ستاره اند. اما اخترشناسان می دانند که وقتی دو ستاره نزدیک به هم دیده می شوند دو توضیح ممکن برای این امر وجود دارد. یکی آن که آنها واقعاً به هم نزدیکند و دیگر آن که آنها از هم دورند و تنها به دلیل اینکه از دیدگاه ناظر در یک خط قرار گرفته اند، نزدیک هم به نظر می رسند.

در واقع ستاره دوتایی به مجموعه دو ستاره گفته می‌شود که در آسمان در مجاورت هم قرار داشته باشند و تحت تأثیر نیروی گرانشی به دور مرکز جرم مشترکشان گردش کنند. در این سیستم ها به ستارهٔ کوچکتر ستارهٔ همدم گفته می‌شود.

اولین ستاره دوتایی در سال ۱۶۵۰ م. توسط جین باتیستاریچپولی[۱] ستاره‌شناس ایتالیایی با نام میزار[۲] کشف شد. در سال ۱۶۵۶. م کریستین هویگنس[۳] موفق شد تتای جبار[۴] را که ستاره‌ای سه‌گانه است کشف کند و در سال ۱۶۶۴ م رابرت هوک[۵] دریافت که ستاره گامای حمل[۶] در واقع یک جفت ستاره است.

سر ویلیام هرشل[۷] ، ستاره‌شناس انگلیسی متولد آلمان با توجه به اهمیت پتانسیل شگرف ستارگان دوتایی، کار تحقیقی منظمی را در مورد آنها آغاز کرد. در سال ۱۷۸۲. م، یعنی فقط پس از دو سال مشاهده، هرشل ۲۶۹ ستاره دوتای را مشاهده و فهرست نمود و در مدت دو سال بعد ۴۳۴ ستاره دیگر به آنها اضافه کرد. در سال ۱۷۹۷. م وی در بررسی بعضی از ستارگان دوتایی که ۲۰ سال قبل آنها را کشف کرده بود، متعجبانه دریافت که موضع نسبی بسیاری از آنها تغییر کرده است. این حرکات به هرشل ثابت کرد که این ستارگان صرفاً در ظاهر دوتایی نبوده بلکه در واقع امر، ترکیب دوگانه‌ای از

---

[1] Jean Baptista Riccioli
[2] Mizar
[3] Christian Hugghens
[4] θ Orionis
[5] Robbert Houk
[6] γ Arietis
[7] William Herschel

دو ستاره هستند که سرانجام در اثر پیوند کشش متقابل، در کنار هم جای گرفته‌اند و از آنجا، ستاره‌شناسی ستارگان دوتایی[1] پا گرفت.

هرشل، در ۱۷۸۰ میلادی،۷۰۰ سامانه دوتایی، و حدود ۵۰ سامانه که به نظرش بیشتر از دو ستاره دارند ثبت نمود. فرزند او، جان هرشل[2] کار پدر را با جستجوی دوتایی‌ها ادامه داد و بیش از ۱۰۰۰۰ منظومه دو یا چند ستاره ای را فهرست کرد [۱، ۲، ۳].

با توجه به اینکه تعیین کمیت‌ها برای ستاره منفرد کار دشواری است، ولی ما می‌توانیم با مشاهده نوع حرکت ستارگان دوتایی، سرعت، شعاع، جرم، تابندگی و بسیاری دیگر از ویژگی های ستاره‌ها را بدست آوریم، لذا این سیستم‌ها از اهمیت بالایی برخوردارند.

۱–۲ شکل گیری ستارگان دوتایی

اصولاً سه نظریه در مورد شکل گیری ستارگان دوتایی وجود دارد که به صورت مختصر هر یک را معرفی می‌کنیم.

۱–۲–۱ نظریه به دام افتادن[3]:

بر مبنای این نظریه دو ستاره به صورت تصادفی در دام میدان‌های گرانشی یکدیگر می‌افتند و در نتیجه بسیار بهم نزدیک می‌شوند. اما شانس چنین برخوردی چندان اندک است که مشکل بتوان این نظریه را برای توضیح چندگانگی سیستم‌های مزدوج به کار گرفت. در خوشه‌های ستاره‌ای با چگالی بالا این نظریه می‌تواند منشأ تولید دوتایی‌ها باشد [۴، ۵].

۱–۲–۲ نظریه تکه تکه شدن ابرهای مولکولی[4]:

یک ابر مولکولی با سرعت زیادی می‌چرخد و در طول چرخیدن به صورت قرص در آمده و در یک حالت خاص تکه تکه شده و ستارگان دوتایی را بوجود می‌آورد همچنین ممکن است هر کدام از

[1] Binary Stars
[2] John Herschel
[3] Capture Hypothesis
[4] Fragmentation Hypothesis

این تکه تکه ها دوباره تکه تکه شده و ستارگان دیگری را پدید آورد و این نظریه می‌تواند منشأ تولید دوتایی‌ها با دوره تناوب طولانی باشد. [۲، ۴، ۵، ۶].

۱-۲-۳ نظریه شکافت[1]:

این نظریه بسیار شبیه به نظریه تشکیل منظومه شمسی می‌باشد. بر اساس این نظریه وقتی ابری از گاز هیدروژن متراکم تشکیل ستاره ای را شروع کند، بیش از یک مرکز در آن پدید می‌آید و هر یک از این مرکزها ستاره‌ای را به وجود می‌آورد. چنین ستارگانی یک حرکت اولیه خواهند داشت و سپس تحت تأثیر گرانی دو جانبه، حرکت مداری مزدوج را آغاز می‌کنند [۵].

۱- ۳ دسته بندی ستارگان دوتایی

ستارگان دوتایی را به شش دسته طبقه بندی می‌کنند:

۱-۳-۱ دوتایی ظاهری یا نوری[2]

این ستارگان دوتایی‌های واقعی نیستند چرا که ارتباط فیزیکی با یکدیگر ندارند و تنها به واسطه این که از نظر ظاهری در یک خط دید قرار دارند مرتبط به نظر می‌رسند [۲].

۱-۳-۲ دوتایی مرئی یا دیدگانی[3]

به دلیل جو آشفته زمین، تصویر مشاهده شده از یک ستاره به ندرت با قطری کمتر از "۱ است. دو ستاره در یک سیستم دوتایی در صورتی که به اندازه کافی به ما نزدیک، و در عین حال به قدر کافی از یکدیگر دور باشند، در این صورت ما می‌توانیم به طور عادی و با بهره‌گیری از تکنیک‌های بصری یا روش‌های تداخل‌سنجی حضور این دو ستاره را در یک سیستم دریابیم، به این سیستم‌ها دوتایی‌های مرئی می‌گویند. اعضاء یک دوتایی مرئی در نقطه‌ای از حرکت مداری‌شان بایستی تحت زاویه‌ای بخوبی

[1] Fission Hypothesis
[2] Optical Binary
[3] Visual Binary

جدا شوند؛ وگرنه دوتایی بودن آنها مشخص نخواهد شد. بنابراین، همچنان که از قانون سوم کپلر انتظار می‌رود، دوره‌های تناوب مداری مشاهده شده الزاماً طولانی خواهد بود (سالها تا صدها یا هزاران سال) [۲، ۷].

۱-۳-۳ دوتایی اخترسنجی[1]

گاهی ممکن است در یک سیستم دوتایی عضو کم نورتر چنان کم نور باشد که نتوان با تلسکوپ آن را دید، یعنی اینگونه دوتایی‌ها در تلسکوپ تنها به صورت یک ستاره به نظر می رسند. اما حرکت‌های تناوبی ستاره پرنورتر، نشان می‌دهد که به دور یک همدم نامرئی می‌گردند. البته درواقع هیچ کدام ازاین دوستاره به دور دیگری نمی‌گردد، بلکه هردو به دور مرکز جرم مشترکشان می‌گردند. این نوع از دوتایی‌ها را دوتایی اخترسنجی می‌نامیم [۸، ۹].

۱-۳-۴ دوتایی طیفی[2]

تفاوت این سیستم ها با موارد قبلی آن است که کل سیستم غیر دیدگانی و در آن تصاویر طیفی حرکت مداری را آشکار نمی‌کنند، اما دو طیف کاملاً متفاوت بر روی هم قرار دارند، لذا ازاین طریق درمی‌یابیم که این طیف ترکیبی توسط دو ستاره ازیک سیستم دوتایی تولید شده است که به این نوع دوتایی‌ها دوتایی طیفی می‌گوییم. برای نمونه، طیف ستارگان داغ خطوط وابسته به اتم های یونیده را نشان می‌دهد و طیف ستارگان سرد خطوط وابسته به مولکولها را نشان می‌دهد، هرگاه ما هر دو طیف را از جسمی که به نظر تک ستاره می‌آید دریافت کنیم می‌توانیم نتیجه بگیریم که با یک سیستم دوتایی روبرو هستیم چرا که یک ستاره نمی‌تواند هم زمان هم داغ و هم سرد باشد [۹].

۱-۳-۵ دوتایی طیف سنجی[3]

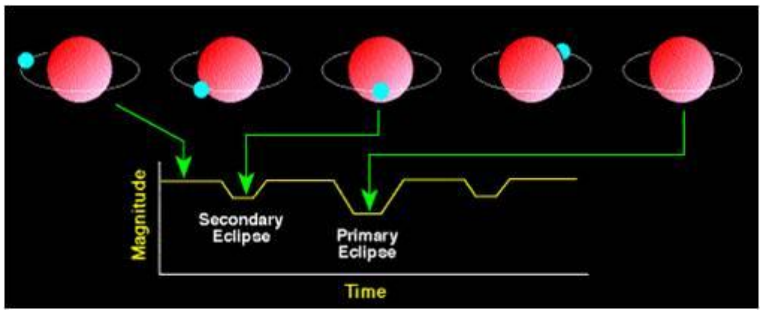
این نوع ازسیستم های دوتایی معمولاً غیر دیدگانی هستند و تنها از طریق نوسانات دوره‌ای درخطوط طیفی‌شان شناخته می‌شوند. اگر هر دو ستاره قابل تشخیص باشند مجموعه‌ای از اشکال طیفی (برای هر ستاره) دیده می‌شوند که با فازهای مخالف نوسان می‌کنند؛ ولی اگر یکی از ستاره‌ها کم نورتر از آن

[1] Astrometric Binary
[2] Spectrum Binary
[3] Spectroscopic Binary

باشد که دیده شود، تنها یک مجموعه از خطوط طیفی نوسان کننده ثبت می‌شود. در این سیستم‌ها دوره تناوب مداری از چندین ساعت تا چندین ماه متغیر است [۲، ۸].

۱–۳–۶ دوتایی گرفتی[1]

وقتی صفحه مداری سیستم دوتایی بطور تقریبی از خط دید ما عبور کند، یعنی زاویه میل مداری نزدیک به ۹۰ درجه باشد، در این صورت هر یک از ستاره‌ها بطور متناوب ستاره دیگر را پوشانده، طوری که در هر دوره تناوب مداری دو بار نور دریافتی از سیستم کاهش می‌یابد؛ شکل(۱-۱)، به چنین سیستم‌هایی، سیستم دوتایی گرفتی گویند، که دوتایی بودن آنها با بررسی تغییرات نوری ستاره پرنورتر و افت وخیزهای آن مشخص می‌شود. این سیستم‌ها علاوه بر گرفتی بودن عمدتاً می‌توانند طیف سنجی یا مرئی باشند [۲، ۱۰].



شکل۱-۱ منحنی نوری یک سیستم دوتایی

۱– ۴ رده بندی ستارگان دوتایی

به منظور بررسی و مطالعه دقیق سیستم‌های دوتایی رده بندی آن‌ها ضروری می‌باشد. این رده بندی‌ها بر اساس عوامل فیزیکی مختلف صورت می‌گیرد. در ادامه این رده بندی ها را معرفی می‌کنیم.

ستارگان دوتایی را می‌توان بر مبنای موضوعات زیر دسته‌بندی کرد:

الف) طبقه بندی ساها[2]، که بر مبنای موقعیت مؤلفه بر روی نمودار H-R می‌باشد.

ب) طبقه بندی کوپال[3]، که مبنای طبقه بندی سطوح هم پتانسیل و تحول مؤلفه ها می باشد.

ج) طبقه بندی بر مبنای منحنی نوری ستارگان دوتایی گرفتی.

---

[1] Eclipsing binary
[2] Sahade
[3] Kopal

اما رده بندی کوپال از اهمیت بیشتری برخوردار است لذا این رده بندی را مفصل مورد بررسی قرار می‌دهیم[۶].

طبقه بندی کوپال

برای توضیح این رده بندی لازم است که مدل روچ به صورت کامل توضیح داده شود لذا مدل روچ در بخش بعدی مورد بررسی قرار گرفته است.

بر مبنای این مدل یک حد روچ لپ بحرانی برای هر ستاره تعریف می‌شود. رده بندی کوپال با توجه به وضعیت قرارگیری ستاره‌ها نسبت به روچ لپ بحرانی اول صورت گرفته است، بر این اساس ستارگان دوتایی به سه دسته تقسیم بندی می‌شوند [۱۱].

۱-۴-۱ دوتایی های جدا از هم[1]

اگر هر ستاره در داخل روچ بحرانی خودش قرار گرفته باشد و آن را پر نکرده باشد، دوتایی را جدا از هم می‌نامیم [۱۱].

۱-۴-۲ دوتایی های نیمه جدا[2]

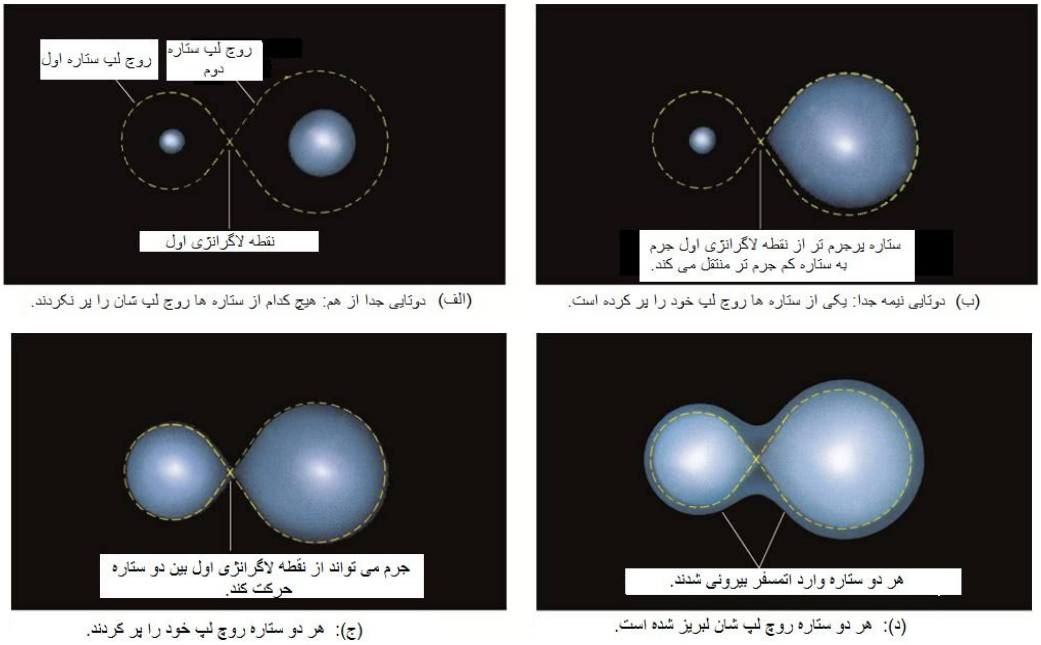
اگر فقط یکی از ستاره‌ها روچ اش را پر کرده باشد، دوتایی را نیمه جدا می‌نامیم [۱۱].

۱-۴-۳ دوتایی های تماسی[3]

اگر هر دو ستاره روچ شان را پر کرده باشند، دوتایی تماسی است. اگر فصل مشترک دو ستاره بیشتر از یک نقطه باشد، دوتایی را فوق تماسی[4] گوییم [۱۱].

شکل(۱-۲) این طبقه بندی را نشان می‌دهد.

[1] Detached Binary
[2] Smidetached Binary
[3] Contact Binary
[4] Over Contact Binary



(الف) دوتایی جدا از هم: هیچ کدام از ستاره ها روچ لب شان را پر نکردند. (ب) دوتایی نیمه جدا: یکی از ستاره ها روچ لب خود را پر کرده است.

(ج): هر دو ستاره روچ لب خود را پر کردند. (د): هر دو ستاره روچ لب شان لبریز شده است.

شکل۱-۲ طبقه بندی دوتایی‌ها برمبنای مدل روچ

۱–۵ مدل روچ برای ستارگان دوتایی

مدار حرکت یک سیاره به دور خورشید یک مسیر بسته نیست به عبارتی مسیر حرکت سیاره به دور خورشید تکرار همان بیضی قبلی نخواهد بود.

محققان برای بدست آوردن این مسیر جدید پتانسیل حاکم بر سیاره را به صورت رابطه (۱-۱) می‌نویسند.

$$\varphi = \varphi_0 + s \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه φ پتانسیل حاکم بر سیاره، φ_0 پتانسل ناشی از گرانش خورشید وسیاره و s پتانسیل اغتشاشی می‌باشد. پتانسیل اغتشاشی جمله‌ای است که به عنوان اغتشاش وارد می‌شود که این جمله باید نسبت به φ_0 خیلی کوچکتر باشد. مثلا s می‌تواند ناشی از شکل غیرکروی ستارگان باشد که البته این تغییر شکل باید کوچک باشد، اگر این تغییر شکل بسیار بزرگ باشد، دیگر این مدل کاربرد ندارد و باید سراغ یک مدل جدید به نام مدل روچ برویم. مدل روچ در قرن نوزدهم میلادی توسط ادوارد روچ[1] بر پایه پتانسیل گرانشی بیان شده است که در آن ریاضیات مساله سه جسمی را بررسی می‌کند. در این مدل فرض بر آن است که دو جسم نقطه‌ای به جرم‌های m_1 و m_2 در اطراف

[1] Edouard Roche

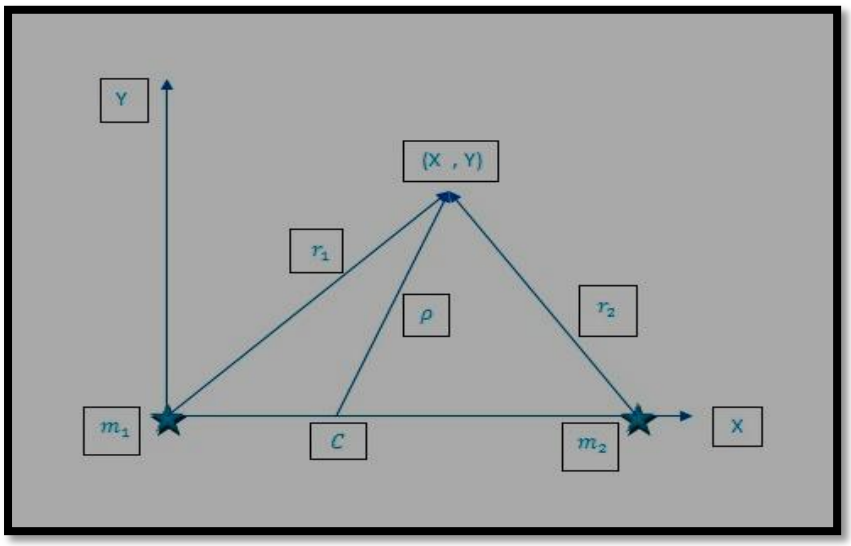
مرکز جرم مشترک خود یعنی c در یک مدار بیضوی حرکت می‌کنند و همچنین جسم سومی به جرم واحد در میدان گرانشی این دو جسم حرکت می‌کند. می‌خواهیم پتانسیلی را که این جسم احساس می‌کند، محاسبه کنیم [۱۱].

این پتانسیل ناشی از دو عامل است:

۱ - پتانسیل و نیروی ناشی از دو جسم ستاره‌ای

۲ - پتانسیل ناشی از چرخش ستاره‌ها

فرض می‌کنیم m_1 در مبدا دستگاه مختصات قرار گرفته و z عمود بر صفحه x-y به سمت بیرون است. دو جسم ستاره‌ای در فاصله $a = 1$ از هم قرار گرفته و با سرعت زاویه‌ای ω حول مرکز جرم مشترکشان می‌چرخند شکل (۱-۳).



شکل۱-۳ هندسه مساله سه جسمی

اگر فرض کنیم دستگاه مختصات همراه با جرم m_1 حول z با همان سرعت ω بچرخد و از دید m_1 مساله را بررسی کنیم، آنگاه پتانسیل مؤثر بر جرم m از رابطه (۱-۲) بدست می‌آید.

$$\varphi(p) = -\frac{G\,m_1}{r_1} - \frac{G\,m_2}{r_2} - \frac{1}{2}\,\rho^2\omega^2 \qquad (۱-۲)$$

در این رابطه جمله سوم، پتانسیل ناشی از چرخش دستگاه می‌باشد و ρ فاصله جسم سوم تا مرکز جرم سیستم دوتایی است لذا داریم:

$$\rho^2 = (x - x_c)^2 + (y - 0)^2 \qquad (۳-۱)$$

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \qquad (۴-۱)$$

در رابطه (۱-۴)، x_1 مکان m_1 و x_2 مکان m_2 می‌باشد. لذا در رابطه (۱-۲) خواهیم داشت:

$$\varphi(p) = -\frac{G m_1}{r_1} - \frac{G m_2}{r_2} - \frac{1}{2}\omega^2\left(\left(x - \frac{m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 + (y)^2\right)$$

از طرفی r_1 و r_2 از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2$$
$$r_2^2 = (1 - x)^2 + y^2 + z^2$$

ω نیز از قانون سوم کپلر بدست می‌آید.

$$\omega^2 = \frac{4\pi^2}{P^2} = G(m_1 + m_2)$$

φ_n (پتانسیل بهنجار) را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\varphi_n = \frac{-2\varphi(\rho)}{G(m_1 + m_2)}$$

$$\varphi_n = \frac{2Gm_1}{r_1 G(m_1 + m_2)} + \frac{2Gm_2}{r_2 G(m_1 + m_2)} + \left(\left(x - \frac{m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 + (y)^2\right)$$

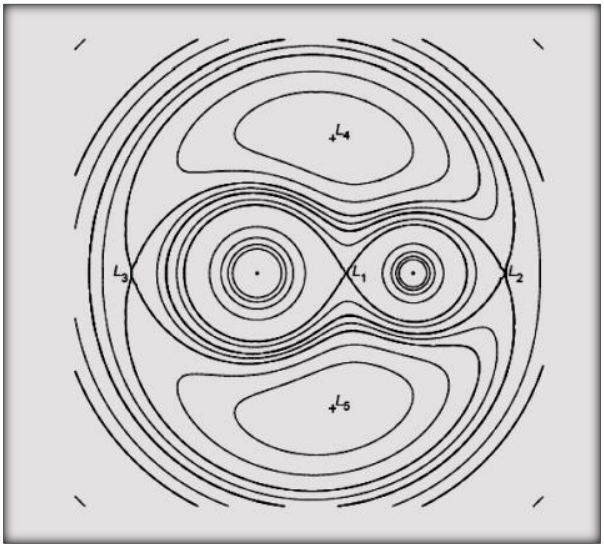
اگر $q = \frac{m_2}{m_1}$ نسبت جرم باشد، φ_n بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\varphi_n = \frac{2}{r_1(1+q)} + \frac{2q}{r_2(1+q)} + \left(\left(x - \frac{q}{1+q}\right)^2 + y^2\right) \qquad (۵-۱)$$

به کمک رابطه (۱-۵) سطوح هم پتانسیل را می‌توانیم پیدا کنیم. شکل ستاره‌ها در یک سیستم دوتایی در حقیقت همین سطوح هم پتانسیل می‌باشند و در واقع جسم سوم در این مساله مانند یک حسگر عمل می‌کند و در هر مرحله شکل ستاره را می‌دهد[۱۱].

این سطوح هم پتانسیل در نزدیکی مرکز جرم هر ستاره به صورت کروی هستند، و هر چه دورتر می‌شویم شکل کروی خود را از دست می‌دهند تا اینکه به سطحی می‌رسیم که سطح یا حجم مشترک دو ستاره بوده و به شکل ∞ می‌باشد، به این سطح، سطح بحرانی یا روچ لپ گوییم. از آنجا که تا قبل از اینکه ستاره به حد روچ لپ خود برسد، جرمش کاملا متعلق به خودش است ولی بعد از عبور از حد روچ اش متعلق به دو ستاره می‌شود، لذا به این سطح بحرانی می‌گویند. در نقطه l_1 که به آن نقطه لاگرانژی اول می‌گویند، برایند نیروهای وارد بر این نقطه صفر است و لذا از این نقطه انتقال جرم اتفاق می‌افتد. در مرحله بعد از روچ لپ بحرانی اول یک پوش به اصطلاح همرفت داریم که ستاره‌ها در آن دارای یک مقطع مشترک می‌باشند و ماده به راحتی در آن حرکت می‌کند، تا اینکه به سطحی می رسیم که در آن نقطه l_2 یا لاگرانژی دوم قرار دارد. همانند l_1 برایند نیروها در این نقطه صفر است ولی با این تفاوت که از این نقطه اتلاف جرم صورت می‌گیرد و دیگر سیستم بقای جرم ندارد [۱۱].

در هندسه روچ ۵ نقطه لاگرانژی تعریف شده که در آنها برایند نیروها صفر است. شکل (۱-۴) .



شکل۱-۴ نمایی کلی از سطوح روچ دو ستاره در فضای دو بعدی

حجم روچ لپ کمیت مهمی است که در تحول ستاره‌های سیستم دوتایی مطرح می‌شود. این کمیت تابع شعاع مؤثر می‌باشد. شعاع مؤثر یا r_L شعاع کره‌ای هم حجم با روچ لپ ستاره است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$r_L = \frac{0.49\, q^{\frac{2}{3}}}{0.69\, q^{\frac{2}{3}} + \mathrm{Ln}(1+q^{\frac{1}{3}})} \qquad (۶-۱)$$

برای ستاره با جرم کمتر، $q = \frac{m_2}{m_1}$ و برای ستاره با جرم بیشتر $q = \frac{m_1}{m_2}$ می‌باشد. از طرفی شعاع مطلق نیز از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$R_L = r_L\, a \qquad (۷-۱)$$

پس حجم روچ لپ تابع فاصله دوستاره از هم و دوره تناوب سیستم (با توجه به قانون سوم کپلر) می‌باشد [۱۱].

۱–۶ مبادله و اتلاف جرم

با توجه به رابطه (۱-۷) بسته به اینکه نیم قطر اطول یا دوره تناوب مداری سیستم چقدر باشد، روچ لپ ستاره در مراحل متفاوتی از تحولش پر خواهد شد. و اما مراحل:

A- زمانی که ستاره روی رشته اصلی باشد و روچ لپ اش را پر کند.

B- پر شدن روچ لپ ستاره در مرحله غول‌ها.

C- پر شدن روچ لپ ستاره‌ها در مرحله ابر غول‌ها.

با توجه به اینکه روی رشته اصلی شعاع ستاره تقریباً دو برابر می‌شود، پس اگر روچ لپ ستاره کمتر از دو برابر شعاع اش باشد، در مرحله A روچ اش پر می‌شود و اگر بیش از دو برابر شعاع باشد، در فاز غول‌ها و اگر روچ اش پنجاه برابر شعاع باشد در مرحله ابر غول‌ها، روچ ستاره پر می‌شود [۱۱].

همان طور که گفتیم اگر یکی از ستاره‌ها روچ اش را پر کند، می‌تواند از نقطه لاگرانژی اول ماده را به ستاره دوم که روچ اش را پر نکرده ، منتقل کند یعنی انتقال جرم داریم. ولی اگر هر دو ستاره روچ شان را پر کنند، آنگاه از نقطه لاگرانژی دوم سیستم جرم از دست می‌دهد و لذا اتلاف جرم اتفاق می‌افتد.

انتقال جرم در سیستم های دوتایی از اهمیت بالایی برخوردار است و این انتقال به دو صورت پایستار و غیر پایستار صورت می‌گیرد.

۱–۶–۱ انتقال جرم پایستار

در این حالت وقتی یک ستاره جرم از دست می‌دهد، همان جرم را ستاره دوم دریافت می‌کند و لذا جرم کل سیستم ثابت است. از طرفی اندازه حرکت مداری سیستم هم باید ثابت بماند.

می‌دانیم وقتی ستاره جرم از دست می‌دهد، تکانه و اسپین آن تغییر می‌کند لذا اندازه حرکت کل که از جمع اندازه حرکت مداری با اندازه حرکت چرخشی اسپین بدست می‌آید باید تغییر کند، ولی به دلیل اینکه اندازه حرکت اسپینی ستاره حدود ۱ تا ۲ درصد اندازه حرکت مداری است و بسیار کم می‌باشد، می‌توانیم در این حالت اندازه حرکت کل را ثابت بگیریم.

با در نظر گرفتن ثبات جرم کل و اندازه حرکت مداری کل و همچنین به کمک قانون سوم کپلر می‌توانیم رابطه (۱–۸) را بین تغییرات دوره تناوب و تغییرات جرم بنویسیم.

$$\frac{\dot{P}}{P} = \frac{3\dot{m}_1}{m_1 m_2}(m_1 - m_2) \qquad (۱–۸)$$

تغییرات دوره تناوب می‌تواند ابعاد روچ لپ ستاره را تغییر دهد.

برای توضیح این اتفاق فرض کنید $m_2 < m_1$ باشد و انتقال جرم از m_1 به m_2 صورت گیرد، در این صورت باید $\dot{m}_1$ کوچکتر از صفر بوده و در نتیجه $\dot{P}$ منفی باشد. از طرفی با توجه به قانون سوم کپلر a نیز کاهش می‌یابد و با توجه به رابطه (۱–۷)، ابعاد روچ لپ کم خواهد شد. اگر این انتقال جرم ادامه یابد $m_2 > m_1$ شده و در نتیجه $\dot{P}$ مثبت و دوره تناوب و در نتیجه a افزایش می‌یابد، به این ترتیب ابعاد روچ نیز زیاد می‌شود [۱۱].

۱–۶–۲ انتقال جرم غیر پایستار یا اتلاف جرم

این حالت به یکی از دلایل زیر می‌تواند اتفاق بیفتد:

۱- باد ستاره‌ای که مستقل از وضعیت روچ لپ‌ها می‌باشد.

۲- از طریق نقطه لاگرانژی دوم در حالتی که روچ لپ‌ها پر شده باشند.

۳- انفجار ابرنواختری یا نواختری [۱۱].

فصل دوم

نورسنجی سیستم های دوتایی

۲–۱ مقدمه

نورسنجی فرایندی است که در آن مقدار درخشش ستارگان را اندازه‌گیری می‌کنند. به کمک نورسنجی می‌توانیم انرژی خروجی از ستارگان را در طول موج‌های مختلف اندازه‌گیری کرده و در نتیجه اطلاعاتی در مورد مدل ساختاری ستاره بدست آوردیم. مثلاً رنگ، اندازه و یا فاصله ستاره را می‌توانیم اندازه بگیریم [۱۲].

۲–۲ ابزارهای نورسنجی

نورسنجی می‌تواند با چشم، عکاسی، PMT [۱] و CCD [۲] صورت گیرد.

۱ -شبکیه ی چشم انسان آشکارساز طبیعی فوتون‌ها است و این توانایی را دارد که منظره‌ای را تحت زاویه‌ی وسیعی در مدت زمانی بسیار کوتاه و در دامنه‌های متفاوتی از روشنایی روز و شب به تصویر بکشد، ولی نمی‌تواند شار نور ستارگان را اندازه‌گیری و نور را با گذشت زمان جمع کند از طرفی نمی‌تواند یک تصویر ماندگار نیز تهیه کند[۱۲].

۲ -اولین آشکارساز پیشرفته ی که قادر به ثبت تصویر تلسکوپ بود، فیلم شیمیای عکاسی است. ولی این ابزار هم به دلیل زیر برای نورسنجی مناسب نبود:

الف- تنها به یک درصد نور فرودی حساس بودند.

ب- نور برخوردی را به صورت آنالوگ ثبت می‌کنند، لذا کار شمارش فوتون‌ها و اندازه‌گیری درخشندگی دشوار بود.

ج- نسبت به نور فرودی خطی عمل نمی‌کرد. یعنی با دو برابر شدن مقدار نور فرودی، مقدار خروجی دو برابر نمی‌شد.

تنها مزیت این ابزار گستردگی صفحه فیلم بود[۱۲].

---

[1] Photomultiplier tube
[2] Charge Coupled Device

۳- PMT شامل یک محفظه شیشه ای تخلیه شده از هوا است، که انتهای آن را با لایه‌ی نازکی از ماده‌ی خالصی پوشانده اند و به آن فوتوکاتد[1] می‌گویند. با برخورد یک فوتون به این ماده، یک الکترون از ماده آزاد می‌شود. این الکترون‌های آزاد با هدایت یک میدان الکتریکی از کاتد جدا شده و به کمک یکسری صفحات دیگر به نام دینود[2] تقویت و تکثیر پیدا می‌کنند و در طول محفظه شتاب می‌گیرند[۱۲].

نقطه ضعف این ابزار تک کانال بودن آن است. بدین معنی که هیچ اطلاعات اضافی در سیگنال خروجی وجود ندارد. سیگنال خروجی به محل برخورد فوتون به کاتد بستگی ندارد و بنابراین تمام نور ورودی به PMT اندازه‌گیری می‌شود. این نور ترکیبی از تمامی نورهای ورودی به دستگاه می‌باشد. لذا زمانی که با فوتومتر از یک ستاره نورسنجی می‌کنید باید یک بار هم به صورت جداگانه از آسمان نورسنجی کنید و بعداً آن ها را از هم کم کنید.

۴- جدیدترین نوع ابزار نورسنجی CCD می‌باشد. به کمک این ابزار می‌توان تصاویر دو بعدی به همراه اطلاعات اضافی در یک بار نوردهی تهیه کرد. این ابزار حساسیت و دقت بالاتری دارد و قادر است تصاویر تهیه شده را بایگانی کند [۱۲].

۲-۳ عوامل مؤثر بر منحنی نوری ستارگان دوتایی

به نموداری که وقوع تغییرات نور ستاره متغیر را در یک دوره زمانی نشان می‌دهد، منحنی نوری ستاره گوییم که از فرایند نورسنجی ستاره بدست می‌آید.

منحنی نوری یک سیستم دوتایی گرفتی از دو کمینه متقارن با عمق‌های متفاوت در فازهای گرفت تشکیل شده است که البته سایر فازهای آن به صورت خطی یکنواخت و افقی می‌باشند. عوامل بسیاری بر شدت نور دریافتی از دوتایی گرفتی و شکل منحنی نوری آن اثر می‌گذارند.

برخی از این ناهنجاری‌ها را در ادامه توضیح مختصری می‌دهیم.

[1] Photocathode
[2] Dynode