

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم پایه  
پایان نامه دوره دکتری در رشته فیزیک گرایش اخترفیزیک

موضوع:  
وابستگی زمانی جریان برافزایش به همراه میدان مغناطیسی  
چنبره‌ای

استاد راهنما:  
دکتر علیرضا خصالی

اساتید مشاور:  
دکتر محسن نژاد اصغر  
دکتر کوروش نوذری

نگارش:  
کاظم فاقعی

مرداد ۱۳۸۸



دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره دکتری در رشته فیزیک گرایش اخترفیزیک

موضوع:

وابستگی زمانی جریان برافزایش به همراه میدان مغناطیسی  
چنبره‌ای

استاد راهنما:

دکتر علیرضا خصالی

اساتید مشاور:

دکتر محسن نژاد اصغر    دکتر کوروش نوذری

اساتید داور:

دکتر جمشید قنبری    دکتر شهرام عباسی  
دکتر فرشاد صحبت‌زاده    دکتر امید ناصر قدسی

نگارش:

کاظم فاقعی

مرداد ۱۳۸۸

## چکیده

در این پایان نامه تحول زمانی جریان برافزایشی در حضور میدان چنبره ای مغناطیسی در دو مدل پلی تروپ و غلبه پهن رفت مورد تحقیق قرار گرفته است. در مدل پلی تروپ، معادله پلی-تروپ را جایگزین معادله انرژی نموده ایم، ولی در مدل با غلبه پهن رفت معادله انرژی را مورد استفاده قرار می دهیم. در مدل با غلبه پهن رفت جریان دارای بازده تابندگی خوبی نمی باشد و کسری از انرژی تولید شده توسط فرآیندهای اتلافی در سیال محبوس می شود و با مواد بر روی جسم مرکزی برافزایش می کند. در هر دو مدل فرض کرده ایم که تلاطم و شکسانی عهده دار انتقال تکانه ی زاویه ای می باشد و توصیف آلفا را برای ضریب سینماتیک و شکسانی انتخاب نموده ایم. معادلات جریان برافزایشی در یک مدل یک بعدی حل شده اند که از وابستگی ارتفاعی جریان چشم پوشی شده است. ما به منظور حل معادلات حاکم بر رفتار دینامیکی جریان برافزایشی، روش خود مشابهی را استفاده کرده ایم. پاسخ خود مشابهی بدست آمده چندین بینش در دینامیک جریان برافزایشی فراهم می آورد و از محدودیت های خود مشابهی ایستا اجتناب می کند. اثر میدان مغناطیسی چنبره ای با یک متغیر اضافی  $\beta = P_{mag}/P_{gas}$  بررسی شده است، که  $P_{mag}$  و  $P_{gas}$  به ترتیب فشار مغناطیسی و فشار گاز می باشند. همچنین برای بررسی اثر پهن رفت بر روی چنین سیستم هایی پارامتر  $f$  را تعریف نموده ایم که بیان کننده کسری از انرژی است که با مواد بر روی جسم مرکزی برافزایش می کند. پاسخ های بدست آمده در هر دو مدل یک نقطه حول صوتی را نشان می دهند که این نقطه بطور چشمگیری با قوی تر شدن میدان مغناطیسی چنبره ای به جسم مرکزی نزدیکتر می شود، درحالی که پارامتر پهن رفت  $f$  اثری جزئی بر روی آن دارد. همچنین با قویتر شدن میدان مغناطیسی و افزایش پارامتر  $f$  ابعاد قرص کاهش می یابد و قرص فشرده می شود. در مدل پلی تروپ بصورت تحلیلی نشان داده شده است که سرعت شعاعی تابعی از سرعت آلفن می باشد. در مدل پلی تروپ جریان دارای چرخش دیفرانسیلی می باشد و در تمامی شعاع ها زیرکپلری است. در مدل جریان برافزایش با غلبه پهن رفت نیز جریان دارای چرخش دیفرانسیلی می باشد و در نواحی داخلی زیرکپلری و در نواحی خارجی ابرکپلری می باشد.

## واژه های کلیدی:

برافزایش، قرص های برافزایشی، مغناطو هیدرودینامیک

مقالات استخراج شده از این رساله

1. Time Dependence of Accretion Flow with a Toroidal Magnetic Field  
(2008, *MNRAS*, **389**, 1218)
2. Time Dependence of Advection Dominated Accretion Flow with a Toroidal Magnetic Field  
(2009, *Accepted by MNRAS*)

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
د	فهرست شکل ها
ر	فهرست علائم و اختصارات
۱	فصل اول- مقدمه‌ای بر فرآیند برافزایش
۲	۱-۱- مقدمه
۴	۱-۲- طبقه بندی اصلی قرص‌های برافزایشی
۵	۱-۲-۱- ستاره‌های دوتایی
۹	۱-۲-۲- سیستم‌های پیش‌ستاره‌ای
۱۳	۱-۲-۳- هسته‌های فعال کهکشانی
۱۵	۱-۳-۱- طبقه‌بندی از لحاظ شکل هندسی
۱۵	۱-۳-۱-۱- قرص‌های نازک
۱۵	۱-۳-۱-۲- قرص‌های ضخیم
۱۶	۱-۴-۱- پارامترهای نوعی قرص‌ها
۲۰	۱-۵- معادلات مغناطوهیدرودینامیک
۲۴	۱-۶- معمای تکانه‌زاویه‌ای
۲۷	۱-۶-۱- مدل‌های $\alpha$ و $\beta$
۲۸	۱-۶-۲- هیدرودینامیک موضعی قرص
۲۹	۱-۶-۳- امواج چگالی ماریچی شکل
۳۰	۱-۶-۴- میدان مغناطیسی
۳۲	۱-۷- برافزایش کروی ایستا
۴۱	۱-۸- رئوس مطالب پایان‌نامه
۴۲	فصل دوم-وابستگی زمانی جریان برافزایش پلی‌تروپ به همراه میدان مغناطیسی چنبره‌ای
۴۳	۱-۲- مقدمه
۴۵	۱-۲-۲- فرمول‌بندی کلی مسئله
۴۹	۱-۲-۳- پاسخ‌های خودمشابهی
۴۹	۱-۳-۲- تحلیل
۵۶	۱-۳-۲-۲- پاسخ‌های مجانبی داخلی

۵۸	..... ۲-۳-۳- پاسخ‌های عددی
۶۶	..... ۲-۴- بحث و نتیجه‌گیری
	<b>فصل سوم- وابستگی زمانی جریان برافزایش با غلبه‌ی پهن رفت به همراه میدان مغناطیسی</b>
۶۸	..... چنبره‌ای
۶۹	..... ۳-۱- مقدمه
۷۱	..... ۳-۲- فرمول‌بندی کلی مسئله
۷۴	..... ۳-۳- پاسخ‌های خودمشابهی
۷۴	..... ۳-۳-۱- تحلیل
۸۱	..... ۳-۳-۲- پاسخ‌های مجانبی داخلی
۸۶	..... ۳-۳-۳- پاسخ‌های عددی
۹۶	..... ۳-۴- خلاصه و نتیجه‌گیری
۹۸	..... <b>فصل چهارم- بحث و نتیجه‌گیری</b>
۹۹	..... ۴-۱- مقدمه
۹۹	..... ۴-۲- الگوی ۱
۱۰۰	..... ۴-۳- الگوی ۲
۱۰۱	..... ۴-۴- مقایسه دو الگوی ۱ و ۲
۱۰۲	..... ۴-۵- کارهای آتی
۱۰۳	..... منابع
۱۰۹	..... چکیده انگلیسی

## فهرست شکل‌ها

شکل	صفحه
شکل ۱-۱: پتانسیل روچ یک ستاره دوتایی معمولی	۷
شکل ۲-۱: یک قرص T-Tauri با بادهای قطبی و پوشی که آنرا محاصره کرده است	۱۱
شکل ۳-۱: خطوط میدان مغناطیسی در اثر دوران مواد قرص	۲۳
شکل ۴-۱: یک شبیه سازی دو بعدی جریان MHD در یک قرص کپلری	۳۱
شکل ۱-۲: نمایه های چگالی برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۵۹
شکل ۲-۲: نمایه های سرعت شعاعی برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۶۰
شکل ۳-۲: نمایه های میدان مغناطیسی چنبره‌ای برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۶۱
شکل ۴-۲: نمایه های سرعت زاویه‌ای برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۶۲
شکل ۵-۲: نمایه های عدد ماخ برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۶۴
شکل ۶-۲: نمایه های پارامتر $\beta$ برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۶۵
شکل ۱-۳: نمایه های $\omega_0$ ، $R_0$ و $V_0$ به عنوان تابعی از ضریب وشکسانی $\alpha$	۸۳
شکل ۲-۳: نمایه های $\omega_0$ ، $R_0$ و $V_0$ به عنوان تابعی از پارامتر پهن رفت $f$	۸۴
شکل ۳-۳: نمایه های چگالی برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۸۸
شکل ۴-۳: نمایه های فشار برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۸۸
شکل ۵-۳: نمایه های سرعت شعاعی برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۸۹
شکل ۶-۳: نمایه های سرعت زاویه‌ای برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۸۹
شکل ۷-۳: نمایه های میدان مغناطیسی چنبره‌ای برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۹۰
شکل ۸-۳: نمایه های نسبت فشار مغناطیسی چنبره ای به فشار گاز برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف $\beta_{in}$	۹۰
شکل ۹-۳: نمایه های چگالی برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف پارامتر پهن رفت $f$	۹۱
شکل ۱۰-۳: نمایه های فشار گاز برحسب متغیر مشابهی $\eta$ به ازای مقادیر مختلف پارامتر پهن رفت $f$	۹۱



- شکل ۳-۱۱: نمایه های سرعت شعاعی برحسب متغیر مشابهی  $\eta$  به ازای مقادیر مختلف پارامتر پهن رفت  $f$  ..... ۹۲
- شکل ۳-۱۲: نمایه های سرعت زاویه ای برحسب متغیر مشابهی  $\eta$  به ازای مقادیر مختلف پارامتر پهن رفت  $f$  ..... ۹۲
- شکل ۳-۱۳: نمایه های میدان مغناطیسی چنبره ای برحسب متغیر مشابهی  $\eta$  به ازای مقادیر مختلف پارامتر پهن رفت  $f$  ..... ۹۳
- شکل ۳-۱۴: نمایه های نسبت فشار مغناطیسی چنبره ای به فشار گاز برحسب متغیر مشابهی  $\eta$  به ازای مقادیر مختلف پارامتر پهن رفت  $f$  ..... ۹۳
- شکل ۳-۱۵: نمایه های عدد ماخ برحسب متغیر مشابهی  $\eta$  به ازای مقادیر مختلف  $\beta_{in}$  ..... ۹۴
- شکل ۳-۱۶: نمایه های عدد ماخ برحسب متغیر مشابهی  $\eta$  به ازای مقادیر مختلف پارامتر پهن رفت  $f$  ..... ۹۴

## فهرست علائم و اختصارات

برای سهولت استفاده از متن، به ترتیب حروف الفبای انگلیسی علائم و کلمات اختصاری که در این متن قرار دارند را در این قسمت فهرست نموده‌ایم

<b>ADAF</b>	Advection Dominated Accretion Flow	جریان برافزایش با غلبه‌ی پهن‌رفت
<b>AGN</b>	Active Galactic Nulae	هسته فعال کهکشانی
<b>BBB</b>	Big Blue Bump	برآمدگی آبی بزرگ
<b>CTTS</b>	Classical T-Tauri Stars	ستارگان T-Tauri کلاسیکی
<b>MDAF</b>	Magnetic Dominated Accretion Flow	جریان برافزایش با غلبه‌ی مغناطیسی
<b>MHD</b>	Magnetohydrodynamics	مغناطوهیدرودینامیک
<b>MRI</b>	Magneto-rotational Instability	ناپایداری مغناطوچرخشی
<b>NLS1</b>	Narrow Line Seyfert 1	خط باریک کهکشانهای سیفرت نوع ۱
<b>SED</b>	Spectral Energy Distribution	توزیع انرژی طیفشان
<b>WTTS</b>	Weak-line T-Tauri Stars	ستارگان T-Tauri خط ضعیف
<b>YSO</b>	Young Stellar Object	جرم ستاره‌ای جوان

## **فصل اول**

### **مقدمه‌ای بر فرآیند برافزایش**

## فصل اول

### مقدمه‌ای بر فرآیند برافزایش

#### ۱-۱- مقدمه

قرص‌های برافزایشی بدون شک یکی از قدیمی‌ترین پدیده‌های اختر فیزیکی می‌باشند. قرص‌های برافزایشی در مرحله‌ای از نجوم ظاهر شدند که گاليله در سال ۱۶۱۰ میلادی و هویگنس در سال ۱۶۵۹ میلادی پی به سیستم حلقوی زحل بردند که یکی از اولین کشفیات بوسیلهٔ تلسکوپ می‌باشد [۱]. قرص زحل نوعی متفاوت با قرصی است که در این پایان‌نامه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. قرص زحل مرکب از ذرات گرد و غبار و یخ می‌باشد که در حال فعل و انفعال گرانشی و برخورد می‌باشند. اولین قرصی که فشار در آن نقش مهمی را ایفا می‌کرد، در نیمهٔ دوم قرن هجدهم توسط کانت و لاپلاس مورد بررسی قرار گرفت، که هم‌اکنون به نام قرص‌های پیش‌سیاره‌ای<sup>۱</sup> و پیش‌ستاره‌ای<sup>۲</sup> شناخته می‌شوند. بحث سر اینکه آیا منظومهٔ شمسی از قرص تشکیل شده است، امروزه بوسیلهٔ بسیاری از مشاهدات تایید شده است [۲]. با استفاده از نسبت عام و نتایج حاصل از سیاهچاله‌ها، مطالعهٔ قرص-

---

<sup>۱</sup> Proto-planetary

<sup>۲</sup> Proto-stellar

های برافزایشی به مرحله مهمی رسیده است که می توان آنها را یکی از منابع مهم برای تایید وجود سیاهچاله ها دانست. اگرچه شواهد حاصل از مشاهدات مستقیم برای قرص های برافزایشی خیلی مشکل است، اما بیشترین نامزدهای احتمالی برای وجود آنها در گستره عظیمی از اشیاء مانند اخترش ها<sup>۳</sup>، هسته های فعال کهکشانی<sup>۴</sup> (AGN)، کهکشانهای بیضوی، دوتائی های محکم<sup>۵</sup>، منبع های عظیم پرتو X کهکشانی و احتمالاً شیء بسیار مبهم SS433 (که گمان میرود ستاره نوترونی باشد) می باشند. از این منابع مختلف بیشترین احتمال مربوط به دوتائی های پرتو X، اخترش ها و هسته های فعال کهکشانی می باشند، که انرژی کل خروجی آنها (در انرژیهای بالا) از مرتبه  $10^{45} - 10^{48} \text{ erg s}^{-1}$  می باشد. هنگامی که با چنین پدیده هایی مواجه می شویم، بهترین فرآیند برای خروج انرژی از طریق گرانش می باشد [۳]. برافزایش، استخراج انرژی پتانسیل گرانشی از مواد در حال سقوط بر روی یک پتانسیل گرانشی می باشد. اگرچه سوخت هسته ای، منبع انرژی ستاره مرکزی است که اجازه می دهد در مقابل نیروی گرانش حاصل از جرم خودش ایستادگی کند، ولی بیشتر پدیده های پرنرژی در جهان بوسیله انرژی پتانسیل گرانشی قوت می گیرند که می توانند از طریق برافزایش آزاد شوند. این پتانسیل می تواند ناشی از شیء بسیار پر جرم فشرده ای باشد که در مرکز کهکشانها متمرکز شده اند یا اجرام ستاره ای بسیار جوانی باشند که بوسیله گازی که از فرو ریزش ابر باقی مانده است، محاصره شده اند. در تمامی این موارد، مواد بوسیله جرم فشرده مرکزی در حال برافزایش می باشند و انرژی پتانسیل گرانشی در شکل تابش و گرما آزاد می شود.

سوختن هیدروژن و تبدیل به هلیوم زمانی که در خورشید و بیشتر عمر هر ستاره ای رخ می دهد، یک آهنگ پایدار از انرژی را در هسته آزاد می کند. برای زنجیره پروتون - پروتون انرژی آزاد شده از طریق همجوشی هسته هیدروژن (m) برابر  $\Delta E_{pp} = 0.007 mc^2$  است که برحسب انرژی بر واحد

<sup>3</sup> Quasar

<sup>4</sup> Active Galactic Nuclei (AGN)

<sup>5</sup> Tight binary

جرم در حال سکون، بازده همجوشی هسته ای حدود 0.7% می‌باشد. در مقایسه، مقدار انرژی پتانسیل گرانشی آزاد شده بوسیلهٔ برافزایش جرم  $m$  از بینهایت بر روی یک شیء مرکزی (به جرم  $M$  و به شعاع  $R$ ) برابر  $\Delta E_{acc} = \frac{GMm}{R}$  است. بنابراین بازده برافزایش مستقیماً با بهم فشردگی شیء مرکزی متناسب است، برای مثال یک ستارهٔ نوترونی به جرم 1.4 برابر جرم خورشید و به شعاع تقریباً 10km، یک بازده 20% را خواهد داشت.

اگر گاز در حال سقوط دارای تکانهٔ زاویه ای باشد، به علت امکان وجود مدارهای پایدار دایره‌ای، در اطراف سیاهچاله یک قرص گازی شکل می‌گیرد. هنگامی که ستارگان نوترونی و یا کوتوله‌های سفید در یک سیستم دوتایی واقع باشند نیز چنین قرص‌های برافزایشی تشکیل می‌شوند. سالپتر<sup>6</sup> در سال ۱۹۶۴ میلادی برای اولین بار برافزایش روی سیاهچاله‌های با جرم بسیار زیاد را مورد بررسی قرار داد و لیندن<sup>7</sup> در سال ۱۹۶۹ میلادی قرص برافزایشی اطراف یک سیاهچاله موجود در هستهٔ کهکشانی را به عنوان یک الگو برای اختروش‌ها مورد بررسی قرار داد. وقتی که یک قرص تشکیل می‌شود مواد نمی‌توانند بدون از دست دادن تکانهٔ زاویه ای به طور شعاعی به درون حرکت کنند و در نتیجه زمان بیشتری را برای تابش انرژی درونی، اختصاص خواهند داد [۳].

## ۱-۲- طبقه بندی اصلی قرص‌های برافزایشی

طبق اشاراتی که در بخش قبل داشتیم، اصولاً سه طبقه بندی اصلی برای قرص‌های برافزایشی

وجود دارد:

<sup>6</sup> Salpeter

<sup>7</sup> Lynden-Bel

الف) قرص‌های اطراف یک ستاره فشرده (کوتوله سفید، ستاره نوترونی یا سیاهچاله) در یک سیستم دوتایی

ب) قرص‌های اطراف پیش ستاره ها

ج) قرص‌های اطراف هسته های فعال کهکشانی

در این بخش به طور خلاصه به بررسی چنین قرص هایی می پردازیم:

### ۱-۲-۱- ستاره های دوتایی

اهمیت برافزایش به عنوان یک منبع قوی برای اولین بار در سیستم‌های دوتایی بویژه دوتایی‌های پرتو X تشخیص داده شد، که هنوز بزرگترین پیشرفت در درک برافزایش را برای ما فراهم می‌آورند. جزئیات مطالعه اندرکنش سیستم‌های دوتایی اهمیت تکانه زاویه ای را در برافزایش آشکار کرده است. به دو دلیل بسیاری از دوتایی ها در چند مرحله از عمرشان مواد را انتقال می دهند:

الف) در دوره ای از تحولشان، یکی از ستاره ها در سیستم دوتایی شعاعش افزایش می یابد، یا جدایی بین دوتایی کم می‌شود، به نحوی که کشش گرانشی یکی از ستاره ها مواد را از لایه های بیرونی ستاره دیگر برداشت می کند (لبریز شدن حد روچ<sup>۸</sup>).

ب) یکی از ستاره ها ممکن است در مرحله ای از تحول، مقداری از جرم خود را به شکل باد ستاره ای به بیرون براند، که بعضی از این مواد بوسیله گرانش ستاره همدم اسیر می شوند.

حالت توصیف شده (الف) اول بار در قرن نوزدهم بوسیله ریاضیدان فرانسوی به نام ادوارد روچ<sup>۹</sup> در ارتباط با تخریب یا بقاء مدار قمرهای سیاره ای مطالعه شد، که به این خاطر به نام او پیوند خورده است.

---

<sup>8</sup> Roche lobe

ماهیت کار روچ بررسی یک ذره آزمون در پتانسیل گرانشی دو جسم سنگین است که در حال چرخیدن به دور یکدیگر تحت نفوذ جاذبه گرانشی متقابل هم هستند. با توجه به نیروهای گرانشی و مرکزگرایی یک دوتایی، پتانسیل روچ در واحد جرم بصورت زیر می باشد

$$\phi_R(\vec{r}) = -\frac{GM_1}{|\vec{r} - \vec{r}_1|} - \frac{GM_2}{|\vec{r} - \vec{r}_2|} - \frac{1}{2}|\vec{\omega} \times \vec{r}|^2$$

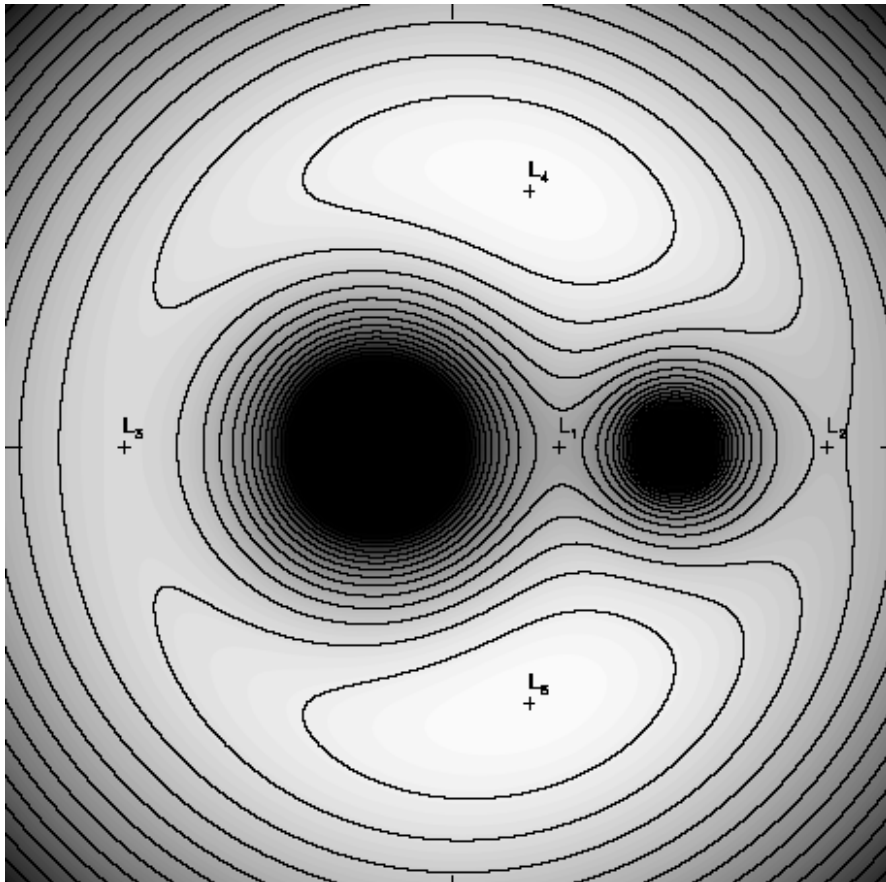
که  $\vec{r}_1$  و  $\vec{r}_2$  بردارهای موقعیت مرکز دو ستاره و  $\omega$  سرعت زاویه ای در یک چهارچوب لخت می باشند. در اینجا ما مسئله برافزایش را با رسم سطوح هم پتانسیل  $\phi_R$  ادامه می دهیم (شکل ۱-۱).

همانطور که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است، پنج نقطه لاگرانژی وجود دارد، که مهم ترین آنها برای یک اندرکنش دوتایی، درونی ترین نقطه لاگرانژی یعنی  $L_1$  است، که یک نقطه زینی بین دو ستاره می باشد و ساده ترین مسیر برای اینکه ماده بین آنها انتقال پیدا کند را نشان می دهد. بدین علت که مواد بدون صرف هیچ انرژی از این نقطه انتقال پیدا می کنند. حد روچ یک ستاره، سطح هم پتانسیل قطره اشکی شکل (در سه بعد) است که در نقطه  $L_1$  با یکدیگر تماس دارند. اگر ستاره فراتر از حد روچ برود، مواد از طریق نقطه  $L_1$  به ستاره همدم انتقال پیدا خواهند کرد. به علت اینکه مواد دارای تکانه زاویه ای می باشند، مستقیماً به سمت ستاره همدم پیش نمی روند و در عوض، یک حلقه را در اطراف ستاره همدم تشکیل می دهند. اندرکنش های وشکسانی باعث خواهد شد که

---

<sup>9</sup> Edouard Roche





شکل (۱-۱): پتانسیل روچ یک ستاره دوتایی معمولی با نسبت جرمی 0.33 (برافزایش کننده سه برابر سنگینتر از دهنده جرم)، اگر این دوتایی اندر کنش معمولی داشته باشند، ستاره سنگینتر در سمت چپ و ستاره اعطاء کننده جرم در سمت راست قرار دارد.

حلقه در درون قرص گسترده شود. نقاط  $L_2$  و  $L_3$  (خط واصل بین این دو نقطه از مرکز دو ستاره عبور می کند) نیز نقاط زینی می باشند و نقاط  $L_4$  و  $L_5$  ماکزیمم پتانسیل هستند. چهار نقطه  $L_2, L_3, L_4$  و  $L_5$  نقاط تعادل ناپایدار هستند که ممکن است مواد در آنها گیر بیافتند.

ستاره های دوتایی از لحاظ جدایشان به سه دسته تقسیم می شوند: دوتایی های جدا، دوتایی های نیمه جدا و دوتایی های تماسی. در دوتایی های جدا، هر دو ستاره در درون حد روچ خودشان هستند و

معمولا هیچ مبادله ماده بین آنها وجود ندارد. اکثریت ستاره های دوتایی از این نوع هستند. در یک دوتایی نیمه جدا، یکی از ستاره ها به اندازه کافی بزرگ است که با حد روچ خودش برخورد کند و در نتیجه مواد از طریق نقطه  $L_1$  به حد روچ ستاره همدم وارد می شوند. این دسته از دوتایی ها تنوعی از اجرام را شامل می شوند: الگول ها<sup>10</sup> [۴] که ستاره اولیه یک ستاره معمولی می باشد، متغیرهای کاتالسمیک<sup>11</sup> [۵] که ستاره اولیه یک کوتوله می باشد و دوتایی های پرتو X [۶] که در اینجا ستاره اولیه یک ستاره نوترونی یا یک سیاهچاله می باشد. در دوتایی های تماسی هر دو ستاره حد روچ های خودشان را پر یا بیش از اندازه پر می کنند و آنها یک شکل دمبلی عجیب را تشکیل می دهند که دو هسته ستاره ای در یک پوش مشترک قرار دارند.

با توجه به تحول ستاره ای، نوع یک دوتایی به علت تغییر شعاع ستاره ها تغییر می کند. به علت از دست دادن جرم توسط بادهای ستاره ای و تابش گرانشی تکانه زاویه ای سیستم کاهش می یابد، در نتیجه این کاهش تکانه زاویه ای باعث تغییر فاصله جدایی یک دوتایی می شود. بیشتر اندرکنش های دوتایی در سیستم های نیمه جدا رخ می دهند که از سرریز شدن مواد از حد روچ رخ می دهد. البته دوتایی های تماسی نیز درصد زیادی از اندرکنش ها را نشان می دهند، همچنین دوتایی جدا با جرم بالا و دارای پرتو X<sup>12</sup> اندرکنش هایی را نشان می دهند که از طریق یک باد ستاره ای قوی رخ می دهد. ستاره دهنده جرم در دوره ای از عمرش مواد را به شکل باد ستاره ای به بیرون می راند و همزمان گرانش ستاره همدمش با غلبه بر انرژی جنبشی باد، مواد را به سمت خود می کشد. به علت اینکه مواد دارای تکانه زاویه ای هستند، تشکیل یک قرص را اطراف ستاره همدم میسر می سازند. در سیستم هایی دوتایی نیمه جدا که ستاره اولیه یک ستاره نوترونی یا سیاهچاله می باشد و ستاره دهنده جرم یک ستاره با جرم پایین

---

<sup>10</sup> Algol

<sup>11</sup> Cataclysmic Variable

<sup>12</sup> High-mass X-ray binary

(تقریباً کوچکتر یا مساوی جرم خورشید) باشد، شاهد یک دوتایی با جرم پایین و دارای پرتو  $X^{13}$  هستیم.

## ۱-۲-۲- سیستم‌های پیش ستاره‌ای

سیستم‌های ستاره‌ای در مناطق بزرگی از ابرهای مولکولی هیدروژنی متولد می‌شوند، که می‌توانند به ابعاد چند سال نوری و جرم‌هایی حدود  $10^6$  برابر جرم خورشید باشند [۷،۸]. هسته‌های ابرهای مولکولی معمولاً دارای جرمی چند برابر جرم خورشید و ابعادی برابر کسری از سال نوری می‌باشند [۹]. بیشتر تکانه‌زاویه‌ای ابر در حال فروریزش به یک میلیونیم از اندازه اولیه در درون قرصی گازی که ستاره در حال تشکیل را دور می‌زند قرار دارد [۱۰]. در اطراف حدود نیمی از ستارگان پیش رشته اصلی با سن کمتر از  $3 \times 10^6$  سال و جرم حدود دو تا سه برابر جرم خورشید ( $M \leq 2 - 3 M_{sun}$ )، قرص‌های گازی تایید شده است [۱۱]. این قرص‌ها معمولاً به ابعاد چند صد AU، جرم‌هایی حدود  $10^{-1}$  تا  $10^{-3}$  برابر جرم خورشید دارند [۱۲]. معمولاً قرص‌ها بعد از  $10^7$  سال جرمی بیشتر از ده درصد جرم ستاره مرکزی را قبل از اینکه آنها به علت برافزایش در ستاره ناپدید شوند یا در سیارات مجتمع شوند و یا به علت منشاء گرمایی خارجی تبخیر شوند شامل نمی‌شوند [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶].

مدرک سنتی برای وجود قرص‌ها در اطراف ستارگان T-Tauri (ستاره‌های پیش رشته اصلی جوانتر از حدود  $10^7$  سال) توسط تابش‌های فرسرخ (طول موج‌های زیر میلیمتری و میلیمتری) در بالای جو ستاره می‌باشد که در توزیع انرژی طیفشان<sup>۱۴</sup> (SED) مشاهده شده است [۱۷]. قرص‌های

<sup>13</sup> Low-mass X-ray binary

<sup>14</sup> Spectral Energy Distribution

سیستم‌های پیش ستاره‌ای برای اولین بار بوسیله اپتیک انطباقی [۱۸،۱۹] و تلسکوپ فضایی هابل به تصویر کشیده شد [۲۰،۲۱،۲۲].

در ابتدا ستارگان T-Tauri به عنوان یک دسته جدا از ستارگان طبقه بندی شده بودند [۲۳،۲۴،۲۵]، زیرا SED آنها خطوط نشری اپتیکی قوی را نشان می داد، بویژه  $H\alpha$  ( $6563 \text{ \AA}$ ) که بر یک نشر پیوسته فرابنفش و اپتیکی اضافه می شد، به اضافه چند تغییر که در درخشندگیشان بوجود می آمد. ستارگان از نوع خورشید و جوان با این ویژگی‌ها اکنون به عنوان ستارگان T-Tauri کلاسیکی<sup>۱۵</sup> (CTTS) نامیده می شوند. وقتی که پهنای هم ارز خط نشری کمتر از حدود  $10 \text{ \AA}$  باشد [۲۶]، آنها به عنوان ستارگان T-Tauri خط ضعیف<sup>۱۶</sup> (WTTS) دسته بندی می شوند.

اولین بار لیندن - بل و پرینگل در سال ۱۹۷۴ میلادی پی به ارتباط نشر حاصل از CTTSها با قرصهای برافزایشی بردند. آنها عقیده داشتند که سطح ستاره و درونی ترین قسمت قرص به طور فیزیکی به یکدیگر مربوط می باشند و نشر پیوسته گرم حاصل از تماس منطقه مرزی قرص و ستاره بوجود می آید. در حالیکه عقیده جدید بر آن است که شعاع داخلی قرص در چندین شعاع ستاره ای جدا می باشد [۲۷،۲۸،۲۹] و خطوط نشری از سقوط آزاد گاز گرم شده به دماهای تقریباً 8000 K بدست می آیند که در طول خطوط میدان مغناطیسی جریان پیدا می کنند (شکل ۱-۲). نشر زیادی از ضربه‌های فراهم شده بوسیله گاز برافزایش کننده بر سطح ستاره سرچشمه می گیرد [۳۰،۳۱].

---

<sup>15</sup> Classical T-Tauri Star (CTTS)

<sup>16</sup> Weak-line T-Tauri Star (WTTS)