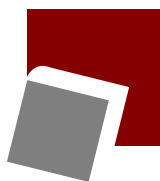


وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه
گاوزنگ - زنجان



تحول زمانی تابع جرم اولیه خوشه‌های ستاره‌ای در حضور نیروی کشندی کهکشانی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

سید محمد حسینی‌راد

استاد راهنما: دکتر حسین حقی

۹ مرداد ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم بہ

مولایم

صاحب العصر والزمان (عج)

روح و جانم فدای خاک پاک مقدس

شکر و قدردانی

حمد و سپاس مخصوص خدایی است که آفریدگار جهانیان است.

بعد از سه سال تحصیل در زنجان، کار پایان‌نامه‌ی من به آخر خود نزدیک می‌شود. گرچه که تحصیل علم هیچ‌گاه پایان نخواهد پذیرفت. در این مدت، عزیزان بسیاری به بنده کمک کردند و شایسته‌ی سپاس‌اند که سپاس از خداوند -جل جلاله و عظم شأنه-، بی‌قدردانی از خلق او ممکن نیست. در رأس همه‌ی آنها، از پدر و مادر بزرگوار و فداکارم که رنج دوری آن‌ها بسیار سخت بود، به خاطر همه چیز که به‌شمار نمی‌آید تشکر می‌کنم و دست ایشان را می‌بوسم و از خداوند آرزوی طول عمر و سلامتی و بهروزی برای ایشان دارم. از همسر عزیزم به خاطر حمایت‌ها و محبت‌هایشان کمال سپاس و قدردانی را دارم و برای ایشان نیز بهترین‌ها را آرزومندم. از تمامی اعضای خانواده‌ام، مخصوصاً برادر بزرگم آقا سید مصطفی، به خاطر حمایت‌ها و کمک‌هایشان کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. از استاد گرامی‌ام جناب آقای دکتر حسین حقی که جهالت‌های شاگردشان را تحمل کردند و در طول این سه سال، چه در هنگام انجام پروژه و چه در هنگامی که در کلاس‌هایشان حضور داشتیم به حقیر مطالب فراوانی آموختند، به جد سپاسگزارم. از استاد گرامی سرکار خانم دکتر اکرم حسنی، که راهنمایی‌ها و کمک‌های فراوانی در طول پروژه داشتند متشکرم. از همه‌ی اساتیدی که به بنده مطلب آموختند، مخصوصاً پرفسور دکتر ثبوتی، بنیانگذار مرکز که افتخار شاگردی‌شان را در کلاس‌های الکتروپدینامیک پیدا کردم بسیار سپاسگزارم. همچنین از دکتر اسور آرث به خاطر انتشار عمومی کد NBODY6، دکتر هولگر بامگارت در مدرسه‌ی ریاضیات و فیزیک دانشگاه کوپننلند استرالیا، به خاطر در اختیار قرار دادن رایانه‌های مجهز به پردازشگرهای گرافیکی، و دکتر آندریاس کوپر به خاطر در اختیار قرار دادن کد naus سپاسگزاری می‌کنم. از همه‌ی دوستانم که به هر نحوی به این حقیر، ابراز لطف کردند سپاسگزارم. دوستان خوبم

در اتاق ۱۱۴ خوابگاه، آقایان محمد حسن نداف مقدم، امین صحرایی و ابوالفضل قادریان، دوستان خوبم در اتاق ۱۱۵، آقایان محمود حسین زاده، مهدی احمدی برجی، عباس اسماعیلی و محمد جواد شمس‌الدینی، دوستان خوبم در اتاق ۲۱۳، آقایان سجاد احمدی، حسن اصغرزاده و بهزاد صدری، تمام همکلاسی‌های مهربانم، مخصوصاً بچه‌های نجومی، آقایان عباس اسماعیلی، محمد حسن نداف مقدم و امیر نقوی آزاد که دوران شیرینی را با هم گذراندیم (به یاد شب‌هایی که با هم تا صبح تمرین حل می‌کردیم)، دوستان بزرگووارم آقایان حامد قاسمی و کامران درخشانی، سرکار خانم زهرا حسنی که اولین بار کار کردن با کد NBODY6 را از ایشان فرا گرفتم، از دوستان مهربانم در اتاق ۲۱۴، آقایان مهدی خادم، بابک زارع، حسین مصحفی، آرمان جوادی و سید محمدرضا طاهری، از همه‌ی بچه‌های نمازخانه، آقایان میثم محمودآبادی، مجید عابدی، محسن احمدزاده، فاضل شجاعی، علی طالب‌نژاد، محمد عزیزنژاد، سید وحید موسوی و سایر عزیزانی که اسمشان برده نشد، کمال تشکر و سپاسگزاری و تقدیر را دارم. از نگهبانان و خدمتکاران همیشه پرتلاش مرکز نیز سپاسگزارم.

برای همه‌ی ایشان سعادت و بهروزی را از خداوند متعال آرزو می‌کنم.

چکیده

خوشه‌های کروی، متصل‌کننده‌ی تحول ستاره‌ها به تحول کهکشان‌ها و جمعیت‌هایی از ستاره‌هایی‌اند که در یک زمان به وجود آمده‌اند و بدین خاطر، آزمایشگاه‌هایی یکتا برای پرده برداشتن از زندگی ستارگان می‌باشند. دانستن توزیع جرم اولیه‌ی ستارگان در خوشه‌های ستاره‌ای، از اهمیت حیاتی برای دنبال کردن تحول این خوشه‌ها برخوردار است. ستاره‌شناسان به این توزیع، تابع جرم اولیه می‌گویند. با این حال، تحول دینامیکی خوشه‌ها به اضافه‌ی تحول ستاره‌ای، شکل تابع جرم را پیوسته تغییر می‌دهند و باعث ایجاد پدیده‌های جالبی چون جدایش جرمی می‌شوند. همچنین جدا از اثر تحول دینامیکی، انتظار می‌رود برخی از خوشه‌های کروی، به طور اولیه، جداسازی جرمی شده باشند.

در این پایان‌نامه، ما تحول تابع جرم خوشه‌های کروی با جدایش جرمی اولیه و بدون آن را بررسی می‌کنیم. نتایج یک مجموعه از شبیه‌سازی‌های مستقیم N -ذره‌ای خوشه‌های کروی جداسازی شده‌ی اولیه با خوشه‌های بدون جداسازی اولیه که تحت تأثیر نیروی کشندی کهکشان قرار دارند، مقایسه شده است. ما متوجه شدیم خوشه‌هایی که به شدت جداسازی اولیه شده‌اند، در فواصل نزدیک به مرکز کهکشان (شعاع‌های کهکشانی کمتر از $30 kpc$)، بسیار سریع حل می‌شوند (در کمتر از ۳ میلیارد سال). به علاوه ما جدایش جرمی را با استفاده از یک روش جدید با عملکرد بالا، روش درخت پوشای کمینه‌ی هندسی، کمی‌سازی کردیم و آن را با پارامتر S ، که معمولاً برای ایجاد خوشه‌هایی با جداسازی اولیه و به طور عددی استفاده می‌شود، مقایسه کردیم. در نهایت، تحول شیب تابع جرم را برای دو مدل خوشه‌های با جدایش و بدون جدایش نخستین، به دست آوردیم.

واژه‌های کلیدی: خوشه‌های ستاره‌ای، تابع جرم، جدایش جرمی، شبیه‌سازی‌های N -ذره‌ای

فهرست

شش	چکیده	.....
۱	پیش‌گفتار	.....
۳	۱ خوشه‌های ستاره‌ای، نگاه کلی	.....
۴	۱.۱ خوشه‌های باز	.....
۵	۲.۱ خوشه‌های پرجرم جوان	.....
۶	۳.۱ خوشه‌های کروی	.....
۱۰	۲ تابع جرم اولیه	.....
۱۱	۱.۲ تاریخچه	.....
۱۳	۲.۲ شکل تابع جرم اولیه در خوشه‌های ستاره‌ای	.....
۱۴	۳.۲ تابع جرم اولیه جهانی	.....
۱۵	۴.۲ بایاس‌های غیر قابل اجتناب در مطالعه‌ی تابع جرم اولیه	.....
۲۰	۳ سیستم‌های ستاره‌ای	.....
۲۰	۱.۳ پارامترهای فیزیکی	.....
۲۱	۱.۱.۳ زمان واهلش	.....
۲۲	۲.۱.۳ زمان واهلش نیمه-جرم	.....

۲۲	..... شعاع هسته	۳.۱.۳
۲۳	..... شعاع کشندی	۴.۱.۳
۲۴	..... سیستم‌های غیربرخوردی و قضیه‌ی ویریا	۵.۱.۳
۲۵	..... ظرفیت گرمایی در سیستم‌های خودگراننده و فاجعه‌ی گرانی-گرمایی	۶.۱.۳
۲۶	..... روند تحول در سیستم‌های کروی	۲.۳
۲۶	..... تبخیر و پرتاب	۱.۲.۳
۲۷	..... رمبش هسته	۲.۲.۳
۲۸	..... همپارش	۳.۲.۳
۲۸	..... جدایش جرمی	۴.۲.۳
۲۹	..... تشکیل دوتایی	۵.۲.۳
۳۱	۴ جدایش جرمی، روش‌های آشکارسازی و کمی‌سازی	
۳۱	..... جدایش جرمی، اولیه یا دینامیکی؟	۱.۴
۳۳	..... تحول آغازین خوشه‌های دارای جدایش جرمی اولیه	۲.۴
۳۴	..... ساخت یک خوشه با جدایش جرمی اولیه	۳.۴
۳۵	..... روش‌های آشکارسازی و کمی‌سازی	۴.۴
۳۶	..... درخت پوشای کمینه‌ی هندسی	۱.۴.۴
۳۹	..... اندازه‌گیری شیب تابع جرم در فواصل شعاعی مختلف	۲.۴.۴
۴۰	۵ NBODY6	
۴۱	..... ویژگی‌های مهم	۱.۵
۴۲	..... روش انتگرال‌گیری هرमित	۱.۱.۵
۴۴	..... گام‌های زمانی منفرد و بلوکی	۲.۱.۵
۴۵	..... تمهید احمد-کوهن	۳.۱.۵

۴۷	.....	منظم‌سازی کی-اس	۴.۱.۵
۴۸	.....	کاربرد پردازشگرهای گرافیکی	۵.۱.۵
۵۱		۶ نتایج	
۵۲	.....	شرایط اولیه	۱.۶
۵۴	.....	نتایج شبیه‌سازی‌ها و محاسبات	۲.۶
۵۴	.....	از دست دادن جرم	۱.۲.۶
۵۶	.....	تحول تابع جرم	۲.۲.۶
۶۷	.....	تحول شعاع نیمه-جرم	۳.۲.۶
۷۲	.....	مقایسه‌ی Γ_{MST} با پارامتر جدایش	۴.۲.۶
۸۱	.....	تحول Γ_{MST} در خوشه‌های شبیه‌سازی شده	۵.۲.۶
۸۴		آ نصب و اجرای کد NBODY6 نسخه‌ی قابل اجرا روی پردازشگرهای گرافیکی	
۸۴	.....	نصب کودا	۱.آ
۸۵	.....	نصب NBODY6	۲.آ
۸۷		ب کد MsTcluster	
۸۷	.....	روش استفاده از کد	۱.ب
۸۹		ج کد Stalpha	
۹۰		د کد NBODY-READER	

لیست تصاویر

- ۱.۱ تصویر موزاییکی از ۳۰ خوشه‌ی باز، گرفته شده به وسیله‌ی تلسکوپ ویستا [۱]. ۵
- ۲.۱ کسر خوشه‌های باز نزدیک و جوانتر از سن داده شده. خوشه‌های نمونه برگرفته از [۲] می‌باشند. منحنی از یک مدل نظری ساده که در آن ستاره‌ها با نرخ ثابت متولد می‌شوند به دست می‌آید و احتمال اینکه یک خوشه زنده بماند برای زمان t برابر است با $exp(-t/\tau)$ با $\tau \simeq 300 Myr$. شکل برگرفته از [۳]. ۶
- ۳.۱ تصویر خوشه‌ی R136 گرفته شده به وسیله‌ی تلسکوپ فضایی هابل ۷
- ۴.۱ چپ: توزیع فضایی خوشه‌های داخلی راه شیری، راست: توزیع فضایی خوشه‌های بیرونی راه شیری. راه شیری به صورت نمادین در هر دو شکل نشان داده شده است [۸]. ۸
- ۵.۱ اندازه و فاصله تا مرکز کهکشان خوشه‌های راه شیری، داده‌ها برگرفته از [۹] می‌باشد. دایره‌های آبی نمایانگر خوشه‌های کم فلز و مربع‌های قرمز نمایانگر خوشه‌های پر فلز می‌باشند. خوشه‌های کم فلز تمایل دارند تا در نواحی بیرونی‌تر کهکشان قرار بگیرند. برای توضیحات بیشتر رجوع کنید به منبع [۱۰]. ۹
- ۱.۲ تصویر مرئی (بالا) و مادون قرمز (پایین) ناحیه‌ی RCW 38 گرفته شده بوسیله‌ی ESO VLT. تصویر مادون قرمز، یک خوشه‌ی جاسازی شده‌ی غنی را نمایش می‌دهد، که در تصویر مرئی غیر قابل مشاهده است [۳۴]. ۱۹

- ۱.۳ پایین: مثالی از برخورد یک سیستم دوتایی با یک ستاره‌ی زمینه، بالا سمت چپ: ۳۰
- تقید گرانشی ستارگان در طول برهم‌کنش به طور نمادین [۴۲].
- ۱.۴ با اندازه‌گیری بسیار دقیق سرعت‌های خاصه‌ی ستاره‌ای در مرکز خوشه‌ی کروی ۴۷ ۳۲
- توکان با کمک تلسکوپ فضایی هابل در طی یک دهه، ستاره‌شناسان توانستند وجود جدایش جرمی ناشی از تحول دینامیکی و همپارش انرژی را در مرکز این خوشه برای دو گروه ستاره‌های غول (سبکتر) و ستاره‌های سرگردان‌های آبی (سنگین‌تر) ثابت کنند. [۴۵]
- ۲.۴ شبیه‌سازی شکل‌گیری یک خوشه در اثر برافزایش گاز. ستارگان سنگین (دایره‌های تیره)، در مرکز زیرخوشه‌هایی از ستارگان سبک (دایره‌های روشن) تشکیل می‌شوند [۴۷] ۳۲
- ۳.۴ درخت پوشای کمینه برای یک گراف (خطوط سبز ضخیم) که بر روی مثلث‌بندی دیلانی (خطوط قرمز نازک) ساخته شده است. اعداد، طول اضلاع مثلث‌ها را نشان می‌دهند. ۳۶
- ۴.۴ ساخته شدن درخت پوشای کمینه بر روی مثلث‌بندی دیلانی، خطوط قرمز، مثلث‌های دیلانی، خطوط سیاه درخت پوشای ساخته شده و دایره‌ی آبی، مرکز مختصات را نشان می‌دهند. ۳۹
- ۱.۵ مثالی نمادین از گام‌های زمانی بلوکی برای چهار ذره [۷۴]. ۴۴
- ۲.۵ مثالی نمادین از کره‌ی همسایه در تمهید احمد-کوهن. ستاره‌های داخل کره با رنگ سیاه مشخص شده اند [۷۳]. ۴۶
- ۳.۵ فلسفه‌ی طراحی سی‌پی‌یوها و پردازشگرهای گرافیکی، از پایه متفاوت است [۷۸]. ۴۹

- ۱.۶ کسر جرم مقید باقیمانده در خوشه‌های شبیه‌سازی شده بر حسب زمان، راست: برای مدل‌های با جدایش جرمی اولیه (SR10, SR20, SR30, SR50, SR70). چپ:
- ۵۵ برای مدل‌های بدون جدایش جرمی اولیه (R10, R20, R30, R50, R70). . . .
- ۲.۶ تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته‌ی اصلی درون شعاع نیمه-جرم، بالا: برای مدل‌های با جدایش جرمی اولیه. پایین: برای مدل‌های بدون جدایش جرمی اولیه. خط‌چین‌های افقی سبز، مقدار اولیه‌ی شیب را برای دو قسمت کم‌جرم و پرجرم تابع جرم نشان می‌دهند. توجه کنید که مقیاس‌های زمانی مدل‌های $R10$, $SR10$ و $SR20$ با سایر مدل‌ها متفاوت است. ۵۷
- ۳.۶ تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته‌ی اصلی درون شعاع کشندی، بالا: برای مدل‌های با جدایش جرمی اولیه. پایین: برای مدل‌های بدون جدایش جرمی اولیه. خط‌چین‌های افقی سبز، مقدار اولیه‌ی شیب را برای دو قسمت کم‌جرم و پرجرم تابع جرم نشان می‌دهند. توجه کنید که مقیاس‌های زمانی مدل‌های $R10$, $SR10$ و $SR20$ با سایر مدل‌ها متفاوت است. ۵۷
- ۴.۶ تحول تابع جرم بر حسب کسر جرم باقیمانده برای ستارگان رشته‌ی اصلی درون شعاع نیمه-جرم، بالا: برای مدل‌های با جدایش جرمی اولیه. پایین: برای مدل‌های بدون جدایش جرمی اولیه. خط‌چین‌های افقی سبز، مقدار اولیه‌ی شیب را برای دو قسمت کم‌جرم و پرجرم تابع جرم نشان می‌دهند. ۵۸
- ۵.۶ تحول تابع جرم بر حسب کسر جرم باقیمانده برای ستارگان رشته‌ی اصلی درون شعاع کشندی، بالا: برای مدل‌های با جدایش جرمی اولیه. پایین: برای مدل‌های بدون جدایش جرمی اولیه. خط‌چین‌های افقی سبز، مقدار اولیه‌ی شیب را برای دو قسمت کم‌جرم و پرجرم تابع جرم نشان می‌دهند. ۵۸

- ۶.۶ نمایش تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته‌اصلی برای مدل R20 در ۹۰۰ میلیون سال ابتدایی تحول خوشه، مثبت‌های آبی مربوط به ستارگان در خارج شعاع نیمه-جرم و ضربدرهای قرمز مربوط به ستارگان در داخل شعاع نیمه-جرم است. خط‌چین عمودی سبز، محل شکست تابع جرم در جرم $0.5 \odot$ را نشان می‌دهد. . ۵۹
- ۷.۶ نمایش تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته‌اصلی برای مدل R20 در بازه‌ی زمانی ۲ تا ۱۱ میلیارد سال، مثبت‌های آبی مربوط به ستارگان در خارج شعاع نیمه-جرم و ضربدرهای قرمز مربوط به ستارگان در داخل شعاع نیمه-جرم است. خط‌چین عمودی سبز، محل شکست تابع جرم در جرم $0.5 \odot$ را نشان می‌دهد. ۶۰
- ۸.۶ نمایش تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته‌اصلی برای مدل SR20 در ۹۰۰ میلیون سال ابتدایی تحول خوشه، مثبت‌های آبی مربوط به ستارگان در خارج شعاع نیمه-جرم و ضربدرهای قرمز مربوط به ستارگان در داخل شعاع نیمه-جرم است. خط‌چین عمودی سبز، محل شکست تابع جرم در جرم $0.5 \odot$ را نشان می‌دهد. . ۶۱
- ۹.۶ نمایش تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته‌اصلی برای مدل SR20 در بازه‌ی زمانی ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ میلیون سال، مثبت‌های آبی مربوط به ستارگان در خارج شعاع نیمه-جرم و ضربدرهای قرمز مربوط به ستارگان در داخل شعاع نیمه-جرم است. خط‌چین عمودی سبز، محل شکست تابع جرم در جرم $0.5 \odot$ را نشان می‌دهد. . ۶۲
- ۱۰.۶ نمایش تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته‌اصلی برای مدل R70 در ۹۰۰ میلیون سال ابتدایی تحول خوشه، مثبت‌های آبی مربوط به ستارگان در خارج شعاع نیمه-جرم و ضربدرهای قرمز مربوط به ستارگان در داخل شعاع نیمه-جرم است. خط‌چین عمودی سبز، محل شکست تابع جرم در جرم $0.5 \odot$ را نشان می‌دهد. . ۶۳

- ۱۱.۶ نمایش تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته اصلی برای مدل R70 در بازه‌ی زمانی ۲ تا ۱۱ میلیارد سال، مثبت‌های آبی مربوط به ستارگان در خارج شعاع نیمه-جرم و ضربدرهای قرمز مربوط به ستارگان در داخل شعاع نیمه-جرم است. خط چین عمودی سبز، محل شکست تابع جرم در جرم $0.5 \odot$ را نشان می‌دهد. ۶۴
- ۱۲.۶ نمایش تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته اصلی برای مدل SR70 در ۹۰۰ میلیون سال ابتدایی تحول خوشه، مثبت‌های آبی مربوط به ستارگان در خارج شعاع نیمه-جرم و ضربدرهای قرمز مربوط به ستارگان در داخل شعاع نیمه-جرم است. خط چین عمودی سبز، محل شکست تابع جرم در جرم $0.5 \odot$ را نشان می‌دهد. ۶۵
- ۱۳.۶ نمایش تحول زمانی تابع جرم برای ستارگان رشته اصلی برای مدل SR70 در بازه‌ی زمانی ۲ تا ۱۱ میلیارد سال، مثبت‌های آبی مربوط به ستارگان در خارج شعاع نیمه-جرم و ضربدرهای قرمز مربوط به ستارگان در داخل شعاع نیمه-جرم است. خط چین عمودی سبز، محل شکست تابع جرم در جرم $0.5 \odot$ را نشان می‌دهد. ۶۶
- ۱۴.۶ تحول زمانی شعاع نیمه-جرم برای مدل‌های بدون جدایش جرمی اولیه ۶۸
- ۱۵.۶ تحول زمانی شعاع نیمه-جرم برای مدل‌های با جدایش جرمی اولیه ۶۸
- ۱۶.۶ تحول شعاع نیمه-جرم برای مدل‌های بدون جدایش جرمی اولیه بر حسب کسر جرمی باقیمانده در خوشه‌ها ۶۹
- ۱۷.۶ تحول شعاع نیمه-جرم برای مدل‌های با جدایش جرمی اولیه بر حسب کسر جرمی باقیمانده در خوشه‌ها ۶۹

- ۱۸.۶ شعاع نیمه-جرم برحسب فاصله از مرکز کهکشان برای خوشه‌های شبیه‌سازی شده. مربع‌های قرمز و مثلث‌های آبی به ترتیب شعاع نیمه-جرم مدل‌های بدون جدایش جرمی اولیه و با جدایش جرمی اولیه را بعد از ۱۱ میلیارد سال نشان می‌دهند. خوشه‌هایی که قبل از این مدت حل شده‌اند نمایش داده نشده‌اند. خط‌چین افقی سیاه، شعاع نیمه-جرم اولیه خوشه‌ها ($20pc$) را نشان می‌دهد. ۷۰
- ۱۹.۶ شعاع نیمه-جرم برحسب فاصله از مرکز کهکشان برای خوشه‌های شبیه‌سازی شده با شعاع نیمه-جرم اولیه $6/2pc$ و تعداد ستاره‌ی 100000 . نقاط سیاه شعاع نیمه-جرم مدل‌ها را بعد از ۱۳ میلیارد سال نشان می‌دهد. خط ممتد سیاه یک تابع تانژانت هیپربولیک است که رابطه‌ی بین شعاع نیمه-جرم و فاصله از مرکز کهکشان را نشان می‌دهد. ستاره‌های آبی نشان‌دهنده‌ی مقادیر پیش‌بینی شده برای شبیه‌سازی‌هایی با دو برابر تعداد ذرات و جرم اولیه می‌باشند [۸۵]. ۷۲
- ۲۰.۶ مقایسه‌ی عملکرد چند تولیدکننده‌ی اعداد شبه‌تصادفی [۶۴]. ۷۴
- ۲۱.۶ تغییرات Γ_{MST} بر حسب پارامتر S ، برای خوشه‌هایی با تعداد عضو متغیر $N = 10k$ تا $100k$ و اندازه‌های نمونه‌ی ثابت $50, 20, 15, 10, 5$ و 100 . S از 0 تا 1 تغییر می‌کند. ۷۵
- ۲۲.۶ تغییرات Γ_{MST} بر حسب پارامتر S ، برای خوشه‌هایی با تعداد عضو ثابت $N = 10k$ تا $100k$ و اندازه‌های نمونه‌ی متغیر $50, 20, 15, 10, 5$ و 100 . S از 0 تا 1 تغییر می‌کند. ۷۶
- ۲۳.۶ تغییرات Γ_{MST} بر حسب پارامتر S ، برای خوشه‌هایی با تعداد عضو متغیر $N = 10k$ تا $100k$ و اندازه‌های نمونه‌ی ثابت $50, 20, 15, 10, 5$ و 100 . S از $0/91$ تا $0/99$ تغییر می‌کند. ۷۷

- ۲۴.۶ تغییرات Γ_{MST} بر حسب پارامتر S ، برای خوشه‌هایی با تعداد عضو ثابت $N = 10k$ تا $10k$ و اندازه‌های نمونه‌ی متغیر $50, 100, 150, 200, 500$ و S از 0.91 تا 0.99 تغییر می‌کند. ۷۸
- ۲۵.۶ تغییر Γ_{MST} به دست آمده از برازش بر حسب N و S بین 0 تا 0.9 متغیر است. اندازه‌ی نمونه مقدار ثابت 50 می‌باشد. ۷۹
- ۲۶.۶ تغییر Γ_{MST} به دست آمده از برازش بر حسب N و S بین 0.91 تا 1 متغیر است. اندازه‌ی نمونه مقدار ثابت 50 می‌باشد. ۷۹
- ۲۷.۶ تغییر Γ_{MST} به دست آمده از برازش بر حسب N و S بین 0 تا 1 متغیر است. اندازه‌ی نمونه مقدار ثابت 50 می‌باشد. ۸۰
- ۲۸.۶ تحول زمانی Γ_{MST} برای خوشه‌های شبیه‌سازی شده، مدل‌های بدون جدایش اولیه. نواحی خاکستری محدوده‌ی 1σ را مشخص می‌کنند. ۸۲
- ۲۹.۶ تحول زمانی Γ_{MST} برای خوشه‌های شبیه‌سازی شده، مدل‌های با جدایش اولیه. نواحی خاکستری محدوده‌ی 1σ را مشخص می‌کنند. ۸۳

پیش‌گفتار

خوشه‌های ستاره‌ای، به عنوان مثال خوشه‌های باز و کروی، مجموعه‌ای از صدها تا هزاران ستاره می‌باشند که گرد یکدیگر با کمک نیروی گرانشی خود جمع شده‌اند. ستاره‌شناسی جدید، با استفاده از مدل‌های ریاضی، سعی کرده است تا خواص کلی این مجموعه‌ها را با در نظر گرفتن ستاره‌ها به صورت نقاطی با جرم معین و حل معادله‌ی گرانشی نیوتن دنبال کند. خوشه‌های ستاره‌ای، اکنون به عنوان آزمایشگاه‌هایی برای محک نظریه‌های اخت‌فیزیکی، مفید به نظر می‌رسند. حوزه‌ی تحقیقات بر روی خوشه‌ها، قلمرو وسیعی را شامل می‌شود. مثلاً تحولات ستاره‌ای، شیمی مواد بین ستاره‌ای، تحولات دینامیکی خوشه، دینامیک و تشکیل کهکشان‌ها و نیز پیدایش و مبدأ عالم. یکی از توابع توزیع بسیار مهم در اخت‌فیزیک، تابع جرم اولیه است. خوشه‌های کروی به علت اینکه تقریباً تشکیل شده از ستارگانی با یک عمر می‌باشند، گزینه‌های مناسبی برای مطالعه‌ی این تابع می‌باشند. تحول خوشه‌های کروی، چه ستاره‌ای و چه دینامیکی، اثر مستقیم بر روی تابع جرم این اجرام دارد. با بررسی عوامل مؤثر بر این تحولات به وسیله‌ی شبیه‌سازی‌ها، می‌توان به گذشته برگشت و شکل این تابع را به دست آورد.

حدود شصت سال از زمانی که اولین بار، ادوین سالپتر، اولین تخمین از تابع جرم اولیه را برای ستارگان در همسایگی خورشید منتشر کرد می‌گذرد. با پیشرفت ابزارهای رصدی و نیز ابداع روش‌هایی کارا برای حل معادلات حرکت و نیز پیشرفت‌های مهم در صنعت رایانه، مخصوصاً ورود پردازشگرهای گرافیکی به عرصه محاسبات سنگین N -ذره‌ای، گام‌های بلندی در مسیر شناخت بهتر خوشه‌های کروی برداشته شده است. از پدیده‌های دیگری که ارتباط نزدیکی با تحول تابع جرم دارد، مسئله‌ی جدایش جرمی در خوشه‌هاست. علاقه‌ی گروه ما به مطالعه‌ی خوشه‌های ستاره‌ای پخشیده و نیز اینکه چرا بعضی از این خوشه‌ها، نشانه‌هایی از وجود جدایش جرمی اولیه دارند، باعث جرقه خوردن این پایان‌نامه شد. خوشبختانه به دلیل این پخشیدگی، شبیه‌سازی این خوشه‌ها زمان کمتری در مقایسه با دیگر خوشه‌های

کروی به طور معمول چگال، لازم دارد. در خلال انجام این پایان نامه، همچنین جرقه‌ی ایجاد یک خوشه‌ی محاسباتی مبتنی بر پردازشگرهای گرافیکی، در مرکز تحصیلات تکمیلی در ذهنمان زده شد که با کمک مالی دانشکده‌ی فیزیک و بعد از تلاش فراوان، یک خوشه‌ی کوچک با دو گره محاسباتی (البته قدرتمند) ایجاد شد.

مطالب این پایان نامه از این قرار است:

در فصل ۱ نگاهی کلی به خوشه‌های ستاره‌ای خواهیم انداخت. در فصل ۲ به معرفی تابع جرم اولیه خواهیم پرداخت. در فصل ۳ پارامترهای فیزیکی سیستم‌های ستاره‌ای و روند تحول این سیستم‌ها را مرور می‌کنیم. در فصل ۴ جدایش جرمی در خوشه‌های ستاره‌ای و روش‌های کمی‌سازی آن را مطالعه خواهیم کرد. در فصل ۵ به معرفی مختصر کد NBODY6 می‌پردازیم و در فصل ۶ نتایج شبیه‌سازی‌ها را بررسی خواهیم کرد. همچنین در پیوست‌های انتهایی، نحوه‌ی استفاده از کدهای مورد استفاده و یا نوشته شده در این پایان نامه را شرح خواهیم داد.

فصل اول

خوشه‌های ستاره‌ای، نگاه کلی

خوشه‌های ستاره‌ای به طور کلاسیک، معمولاً به دو دسته‌ی باز و کروی تقسیم‌بندی شده‌اند. یک گروه دیگر که به نام خوشه‌های پرجرم جوان معروف شده‌اند، برخی خواص دو دسته‌ی قبل را با هم دارند. آنچه که واضح است این است که خوشه‌های ستاره‌ای، مجموعه‌هایی از ستارگان می‌باشند که نیروی گرانشی بین آنها توانسته است، آنها را کنار یکدیگر نگاه دارد.

در ادامه، به بررسی کوتاه این سه گروه می‌پردازیم. البته، خوشه‌های کروی را که موضوع اصلی این پایان‌نامه است، در فصول بعدی مفصل‌تر بحث خواهیم کرد.

۱.۱ خوشه‌های باز

خوشه‌های باز^۱، سیستم‌های ستاره‌ای نامنظمی با حدود 10^2 تا 10^4 ستاره می‌باشند. خوشه‌های باز جدید به طور پیوسته در قرص^۲ کهکشان در حال شکل‌گیری اند و بیشتر آنهایی که ما می‌بینیم کمتر از یک میلیارد سال سن دارند (شکل ۲.۱). خوشه‌های مسن‌تر نادرند، زیرا بیشتر آنها احتمالاً در اثر عبور از ابرهای گازی میان‌ستاره‌ای از هم گسیخته شده‌اند. بیش از ۱۰۰۰ خوشه‌ی باز از میان ۱۰۵ خوشه‌ی بازی که تخمین زده می‌شود در کهکشان موجود است فهرست شده‌اند. احتمالاً بیشتر ستارگان در قرص کهکشان در خوشه‌های بازی شکل گرفته‌اند که حل شده‌اند. خوشه‌های باز سیستم قرصی شکل تختی با ضخامت حدود ۲۰۰۰ و قطر ۳۰۰۰۰ سال نوری تشکیل می‌دهند. خوشه‌های بسیار دور به سبب پس زمینه‌ی غنی راه شیری^۳، به سختی قابل شناسایی‌اند. اما توزیع این خوشه‌ها در کهکشانهای نزدیک به خوبی قابل مشاهده است. بهای این مزیت تفکیک پذیری بدتر است (اکثر ستارگان جدا، غیرقابل تشخیص‌اند). قطر خطی خوشه‌های باز از ۵ تا ۷۵ سال نوری متفاوت است. در این خوشه‌ها ستارگان از تمام رده‌های طیفی O تا M یافت می‌شوند. نمودار هرتسپرانگ-راسل^۴ خوشه‌های باز نشان می‌دهد که بسیاری از ستاره‌ها (به جز ستاره‌های بسیار سنگین)، یا روی رشته‌ی اصلی یا نزدیک به آن هستند. خوشه‌های باز مانند سایر اجرام جمعیت I فراوانی‌های متنوعی از عناصر سنگین دارند. این خوشه‌ها شامل تعداد قابل توجهی ستاره‌های دوتایی هستند. به عنوان مثال در حدود یک چهارم ستاره‌های خوشه‌ی پروین^۵ دوتایی‌اند. تاکنون تلاش‌های زیادی برای جمع‌آوری اطلاعات این خوشه‌ها

^۱ Open Clusters

^۲ Disk

^۳ Milky Way

^۴ Hertzsprung–Russell

^۵ Pleides