

به نام خداوند بخشاینده مهربان

مرکز تحقیقات و آموزش  
پایه زنجان

مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان

۱۳۸۰ / ۶ / ۲۵

## اُفت و خیزهای درخندگی در خوشه های کروی

013221

پایان نامه کارشناسی ارشد

احمد حسینی زاده

استاد راهنما: استاد یوسف ثبوتی

مرداد ۱۳۸۰

۳۶۱۹۳

تقدیم به

استاد عزیز و گرانقدر؛ پروفیسور ثبوتی

و

به یاد پدر بزرگ عزیزم

## قدردانی

از استاد و دانشمند عزیز و گرانقدر جناب آقای پروفیسور ثبوتی به دلیل ارائه موضوع و راهنماییهای ارزشمندشان بسیار سپاسگزارم و طول عمر ایشان را از درگاه خداوند متان خواستارم. همچنین از آقای دکتر خسروشاهی به دلیل کمکهای دوستانه و بی دریغشان، بویژه در مرکز کامپیوتر، نهایت تشکر را دارم و برای ایشان موفقیت‌های روزافزون در تمامی مراحل زندگی را آرزو مندم.

همچنین از آقای پروفیسور Ata Sarajedini از دانشگاه Florida و نیز دکتر Yogesh Wadadekar از IUCAA به دلیل در اختیار گذاشتن تصاویر، اطلاعات و نرم افزارهای لازم سپاسگزارم.

و نیز لازم می دانم که از همه دوستانم در مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان بویژه آقایان؛ دکتر احمد درودی، دکتر محمد محمودی، دکتر افشین میرانیان، پیمان احمدی، ایرج غلامی و شاهین مبارک آبادی تشکر و برای آنها آرزوی سلامتی و موفقیت کنم.

و در پایان نیز از تمامی اساتید، مسئولین و کارمندان مرکز بویژه خانمها؛ موسوی، محتوی، مغانلو، غفرانی، اسماعیلی، خیاط منصور، افشار، خالقی و نیز آقایان؛ زنجانی، شهیدی و ثبوتی به خاطر زحماتی که در طول این مدت متحمل شده‌اند، متشکرم.

### چکیده

در این پایان نامه با استفاده از توزیع درخشندگی سطحی خوشه‌های کروی به مطالعه نوسانات احتمالی این سیستم‌ها پرداخته می‌شود. ایده‌ای که بکار برده‌ایم به این صورت است که؛ ابتدا با استفاده از مدل تجربی کینگ تصاویر CCD خوشه‌ها را شبیه‌سازی کرده و آنگاه با استفاده از کمینه سازی  $\chi^2$  مدل را به تصاویر CCD خوشه‌های واقعی منطبق می‌کنیم. این فرآیند سه پارامتر ساختاری خوشه‌ها یعنی شدت مرکزی، شعاع هسته و شعاع جذرومدی را نیز به ما می‌دهد که خود روش جدیدی برای بدست آوردن این پارامترها محسوب می‌شود. پس از انجام فرآیند انطباق، تصاویر شبیه سازی شده را از تصاویر واقعی تفریق می‌کنیم. در پایان با استفاده از بسط بسط-فوریه به آنالیز باقیمانده حاصل پرداخته و با نتایج حاصل از محاسبات نظری مقایسه می‌کنیم.

# فهرست مندرجات

۱	خوشه‌های کروی	۱
۱	..... مقدمه	۱.۱
۲	..... خواص خوشه‌های کروی	۲.۱
۲	..... نمودار قدر-رنگ	۱.۲.۱
۷	..... سن خوشه‌های کروی	۲.۲.۱
۸	..... دوتایی‌ها و باقیمانده‌های ستاره‌ای در خوشه‌های کروی	۳.۲.۱
۹	..... تشکیل خوشه‌های کروی	۴.۲.۱
۱۲	..... مقیاسهای زمانی در خوشه‌های کروی	۵.۲.۱
۱۳	..... خوشه‌های کروی در کهکشانهای دیگر	۶.۲.۱
۴۱	مدلهای کینگ	۲
۱۴	..... یک مدل تجربی برای پروفایل درخشندگی سطحی خوشه‌های کروی	۱.۲
۱۶	..... حدود یک خوشه کروی	۲.۲
۱۹	..... مدل دینامیکی کینگ برای خوشه‌های کروی	۳.۲
۲۰	..... مدل کینگ	۱.۳.۲
۲۲	..... مقایسه مدل با داده‌های تجربی	۲.۳.۲

۵۲	انطباق مدل کینگ به توزیع درخشندگی سطحی خوشه‌ها	۳
۲۶	..... شبیه سازی تصاویر خوشه‌ها	۱.۳
۲۷	..... استخراج پارامترها از تصاویر واقعی	۲.۳
۲۷	..... حذف و کنترل نوفه در تصاویر	۱.۲.۳
۲۹	..... فرآیند انطباق	۲.۲.۳
۳۱	..... نتایج حاصل از انطباق	۳.۲.۳
۱۴	ناپایداری دینامیکی خوشه‌های کروی	۴
۴۱	..... نوسانات گران-گرمایی	۱.۴
۴۲	..... نوسان خوشه‌ها؛ تأثیر عوامل خارجی	۲.۴
۴۳	..... محاسبه توزیع درخشندگی سطحی خوشه کروی بصورت نظری	۳.۴
۵۱	..... بسط توزیع درخشندگی سطحی واقعی خوشه کروی	۴.۴
۵۲	..... محاسبه ضرایب بسط بسط-فوریه برای تصاویر خوشه‌های کروی	۱.۴.۴
۵۶	واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی	A

# لیست اشکال

- ۱-۱ نمودار قدر-رنگ خوشه کروی  $M^3$  ..... ۳
- ۱-۲ نمودارهای قدر-رنگ خوشه‌های کروی  $NGC\ 1904$  (سمت چپ) و  $NGC\ 6627$  (سمت راست) ..... ۶
- ۲-۱ مقایسه پروفایل شعاعی درخشندگی سطحی خوشه کروی  $NGC\ 5053$  با فرمول تجربی کینگ ..... ۱۶
- ۲-۲ محاسبه شعاع حدی خوشه کروی ..... ۱۷
- ۲-۳ سطوح هم‌تراز پتانسیل مؤثر  $\Phi_{eff}$  تعریف شده بوسیله معادله (۱۳.۲) برای دو جرم نقطه‌ای  $m$  و  $M = 9m$ ، که در مدارهای دایره‌ای حول یکدیگر در حال گردشند. مرکز جرم در مبدأ است و نقطه لاگرانژی مرکزی هم در نزدیکی نقطه  $(0, 6, 0)$  قرار دارد. ..... ۱۸
- ۲-۴ چگالی‌های سطحی در مدل دینامیکی کینگ. پیکانها  $\log r_t$  را نشان می‌دهند. ..... ۲۳
- ۲-۵ مقایسه پروفایل شعاعی خوشه کروی  $NGC\ 5053$  با منحنی نظری حاصل از مدل دینامیکی کینگ. ..... ۲۴
- ۳-۱ آزمون دقت فرآیند انطباق ..... ۳۳



۳۶	.....	نتایج انطباق برای خوشه کروی شبیه‌سازی شده $Sim_1$	۳-۲
۳۷	.....	نتایج انطباق برای خوشه کروی شبیه‌سازی شده $Sim_2$	۳-۳
۳۸	.....	نتایج انطباق برای خوشه کروی $M_3$	۳-۴
۳۹	.....	نتایج انطباق برای خوشه کروی $M_5$	۳-۵
۴۰	.....	نتایج انطباق برای خوشه کروی $M_{52}$	۳-۶
۴۴	.....		۴-۱

۴-۲ تصویر خوشه کروی  $M_{52}$  که تصویر شبیه‌سازی شده بوسیله مدل کینگ از آن  
تفریق شده است. .... ۵۴

# لیست جداول

۱.۳	نتایج حاصل از انطباق مدل کینگ به توزیع درخشندگی سطحی خوشه‌های	۳۵
کروی	.....	.....
۱.۴	نتایج بسط فوریه-بسل برای خوشه کروی M3	۵۶
۲.۴	نتایج بسط فوریه-بسل برای خوشه کروی M5	۵۷
۳.۴	نتایج بسط فوریه-بسل برای خوشه کروی M53	۵۸
۴.۴	نتایج بسط فوریه-بسل برای خوشه کروی NGC6144	۵۹

# فصل ۱

## خوشه‌های گروهی

### ۱.۱ مقدمه

خوشه‌های گروهی که به فسیل‌های کهکشان یا به عبارت دیگر، یادگارهای زمان شکل‌گیری کهکشان معروفند، خانواده بسیار جالبی از سیستم‌های ستاره‌ای‌اند و به دلیل شکوه و جذابیت خاصی که دارند در حدود یک قرن است که مورد توجه ستاره‌شناسان قرار گرفته‌اند. مطالعات جدی بر روی آنها از نیمه دوم قرن بیستم شروع شده است و این مطالعات تا کنون نقش قابل توجهی را در شناخت منجمین از ساختار عالم و نیز تحول و ساختار کهکشانها و همچنین دینامیک و تحول ستاره‌ای ایفا کرده است. بویژه اینکه به دلیل تنوع ستاره‌ای در این سیستم‌ها، می‌توان آنها را به عنوان آزمایشگاه‌های مجهزی برای مطالعات تحول ستاره‌ای به حساب آورد. کهکشان ما، راه شیری، حداقل دارای ۱۶۰ خوشه گروهی است که اکثر آنها در مناطق مرکزی راه شیری توزیع شده‌اند و به دلیل چگالی ستاره‌ای بالا در این مناطق، به احتمال زیاد در آینده با پیشرفت بیشتر تکنولوژی رصدی دهها عدد دیگر از آنها کشف خواهد شد.

این سیستم‌ها اگر چه گروهی نامیده می‌شوند اما در واقع اندکی از حالت گروهی انحراف دارند. برای مثال، خوشه  $M 19$  که از جمله بیضوی‌ترین خوشه‌ها در راه شیری است، نسبت طول محورهای آن در حدود  $0.73/0$  می‌باشد. مطالعه ۹۹ خوشه گروهی [۲۵] نشان داده که در آنها نسبت طول محورها بطور متوسط در حدود  $0.93/0$  است. به نظر می‌رسد پهن‌شدگی آنها به دلیل دوران ملایم‌شان باشد.

درخشانترین خوشه در راه شیری،  $\omega Cen$  (أمگای قنطورس) است که قدر مطلقاً برابر با  $M_v = -10.4$  دارد و ستاره شماری‌ها نشان می‌دهد که این درخشندگی تقریباً ناشی از وجود  $10^6$  ستاره در این خوشه است. این در حالی است که کوچکترین خوشه‌ها در حدود  $10^3$  ستاره را شامل

می‌شوند که با قدر مطلق در حدود  $3/0$  - مطابقت می‌کند. در بخشهای بعدی به تعدادی از خواص خوشه‌های کروی اشاره خواهیم کرد.

## ۲.۱ خواص خوشه‌های کروی

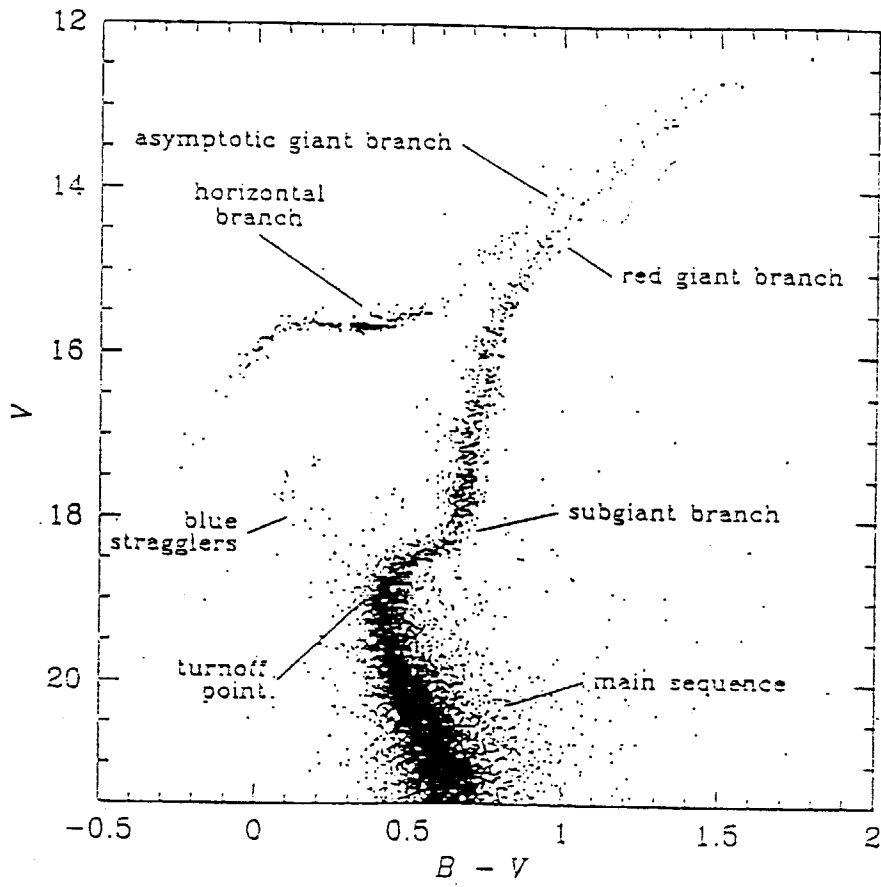
### ۱.۲.۱ نمودار قدر-رنگ

به محض اینکه قدرهای ظاهری ستارگان یک خوشه را در بیشتر از یک رنگ محاسبه کنیم، رسم نمودار قدر-رنگ آن میسر خواهد شد. در شکل (۱-۱) نمودار قدر-رنگ خوشه کروی  $M3$  نشان داده شده است. اجزای اصلی نمودار را که در شکل مشخص شده‌اند، بطور خلاصه بررسی خواهیم کرد.

#### رشته اصلی

یکی از بخشهای اصلی نمودار قدر-رنگ در خوشه‌های کروی، رشته اصلی است که از نقطه گردش تا قدرهای ضعیفتر امتداد یافته است. انرژی ستارگان خوشه در رشته اصلی، از تبدیل هیدروژن به هلیوم در هسته ستاره، حاصل می‌شود. انتهای رشته اصلی را که معمولاً دارای کمترین درخشندگی است، کمترین قدرهای مشاهده شده تعیین می‌کنند (همچنین یک حد پایین نظری برای رشته اصلی وجود دارد که با جرم ستاره‌ای حدود  $0/08$  برابر جرم خورشید مطابقت می‌کند، چرا که در جرمهای کمتر از این، واکنشهای هیدروژن سوزی در هسته ستاره رخ نمی‌دهد). درخشندگی‌های ضعیفتر از نقطه گردش رشته اصلی نشان می‌دهد که علی‌الاصول این سیستم‌ها پیر هستند؛ در هسته ستاره‌های پیرتر، جرمتر هیدروژن سوزی با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد بطوریکه برای جمعیت‌های ستاره‌ای پیرتر، نقطه گردش در جرمهای ستاره‌ای کمتر و بنابراین درخشندگی‌های پایین‌تر قرار می‌گیرد. مطالعات راجع به محل نقطه گردش در خوشه‌هایی که به خوبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد که در این نقطه جرمها در حدود  $0/8$  جرم خورشیدند که این با سن‌هایی در حدود ۱۵ میلیارد سال همخوانی دارد.

علاوه بر سن، رنگ و دمای ستاره‌ها در طول رشته اصلی بوسیله تعدادی پارامتر که مهمترین آنها ترکیب شیمیایی است، مشخص می‌شود. در یک سن خاص، هر چه فلزیت خوشه‌ای نسبت به دیگری بالاتر باشد، نقطه گردش رشته اصلی آن قرمزتر و کم‌سوتر خواهد بود. این وابستگی به فلزیت، به دلیل



شکل ۱-۱: نمودار قدر-رنگ خوشه کروی  $M3$

الکترونهاى فلزى است که سبب افزايش کدرى در آتمسفر ستاره مى شوند. اين امر به ستارگان اجازه مى دهد تا آنها در دماى پايين ترى تعادل خود را حفظ کنند.

شکل (۱-۱) مشخصه ديگرى از رشته اصلى را نشان مى دهد که آن پهناى نسبتاً کم اين رشته است. اين موضوع نشان مى دهد که تقريباً تمام ستاره هاى خوشه داراى یک ترکيب شيميايى مشابه هستند و همچنين اين پهناى کم وجود کسرى از ستاره هاى دوتايى را در داخل خوشه تضمين مى کند. انتظار مى رود که دوتايى ها فقط جمعيتى دربالاى رشته اصلى توليد کنند چرا که درخشنده گى ترکيب دو ستاره از تک ستاره اى با همان رنگ بيشتر است. به هر حال، هم اکنون با استفاده از تلسکوپ فضايى هابل در بسيارى از خوشه هاى کروي دوتايى ها رؤيت شده اند. مثلاً معلوم شده است که در خوشه اى نظير *NGC ۲۸۸*، در حدود ۱۰% درصد از ستارگان را دوتايى ها تشکيل مى دهند.

### شاخه غول سرخ

شروع شاخه غول سرخ در خوشه هاى کروي از ريز غولهاى است که اين شاخه را به بخشى از رشته اصلى با قدرهاى درخشانتر و رنگهاى قرمزتر مرتبط مى سازند. همانند رشته اصلى، شاخه غول سرخ در اکثر خوشه هاى کروي باريک است. ستاره هاى اين شاخه داراى هسته هاى هليومى و پوسته هاى هيدروژن سوز هستند که با صعود ستاره ها در اين شاخه، پوسته هاى هيدروژن سوز هم به سمت بيرون ستاره حرکت مى کنند. صعود ستاره ها در اين شاخه با افروزش هسته هليومى آنها خاتمه مى يابد. مقايسه خوشه هاى مختلف نشان مى دهد که در خوشه هاى با فلزيت بالاتر رنگ شاخه غول سرخ نسبت به خوشه هاى با فلزيت پايين تر، قرمزتر و نيز خميدگى آن کمتر است. اين موضوع در شکل (۱-۲) مشخص مى باشد. مانند ستارگان رشته اصلى، فلزيت بالاتر ستارگان غول، کدرى آنها را افزايش داده است که اين ناشى از وجود الکترونهاى فلزى است. محل دقيق اين شاخه به ميزان کاهش جرم و جزئيات فرآيندهاى همرفتى درون اين نوع ستاره ها بستگى دارد. به هر حال مبحث اخترفيزيکى ستارگان اين شاخه بسيار پيچيده و از حدود بحث ما خارج است.

### شاخه افقى

شاخه افقى متشکل از ستارگانى با هسته هليوم سوز است که خارج از شاخه غول سرخ تحول مى يابند. در واقع بعد از آنکه ستاره به انتهاي شاخه غول سرخ مى رسد، پديده اى به نام جرقه هليومى به وقوع مى پيوندد که طى آن به يکباره تمامى هسته هليومى تهگن شعله ور شده و فرآيند سه آلفا آغاز مى شود. (يعنى از هر سه اتم هليوم یک اتم کربن توليد مى شود.) اين شاخه روى نمودارهاى قدر-رنگ

بصورت نواری از ستارگانی که آبی تر از ستارگان شاخهٔ غول سرخ و درخشانتر از ستارگان رشتهٔ اصلی هستند، مشخص می‌شود که دارای بازه‌ای از رنگها ولی با درخشندگی مشابه می‌باشند (و بنابراین بصورت نواری افقی در نمودار قدر-رنگ دیده می‌شوند). همچنین شاخه افقی جایی است که ستارگان متغیر RR شلیاقی در نمودار قدر-رنگ پیدا می‌شوند که این خود مرحله‌ای دیگر از تحول ستاره‌ای است. نوار مربوط به متغیرهای RR شلیاقی در وسط شاخهٔ افقی است و به شکاف RR شلیاقی یا نوار ناپایداری معروف است.

دو نوع جمعیت مختلف از متغیرهای RR شلیاقی در خوشه‌های کروی وجود دارد. خوشه‌های با شاخه‌های افقی قرمز اساساً دارای متغیرهای RR شلیاقی از نوع ab و با پریودهایی در حدود  $p_{ab} = 0.55 d$  می‌باشند در حالیکه خوشه‌های با شاخه‌های افقی آبی، بیشتر دارای متغیرهای RR شلیاقی از نوع c و اندکی هم دارای متغیرهای RR از نوع ab ولی با پریودهای طولانی تر از  $p_{ab} = 0.65 d$  هستند.<sup>۱</sup> این دو نوع خوشه به ترتیب، کلاسه‌های I و II ی اوسترهوف<sup>۲</sup> نام دارند. محل نوار ناپایداری یک ابزار مناسب برای تعیین رنگ شاخهٔ افقی است که این خود به فلزیت خوشه ربط پیدا می‌کند. پارامتر رنگ شاخه افقی را به صورت زیر تعریف می‌کنند:

$$HB_{col} = \frac{(B - R)}{(B + V + R)} \quad (1.1)$$

که در آن B تعداد ستارگان روی شاخه افقی و در طرف آبی شکاف RR شلیاقی، R تعداد ستارگان در طرف قرمز آن و V تعداد متغیرهای RR روی شاخه افقی است. پارامتر فوق نقش مهمی در تعیین مورفولوژی شاخهٔ افقی ایفا می‌کند. متوسط رنگ شاخهٔ افقی از بسیار آبی ( $HB_{col} \simeq 1$ ) برای اکثر خوشه‌های با فلزیت پایین، به بسیار قرمز ( $HB_{col} \simeq -1$ ) برای بیشتر خوشه‌های با فلزیت بالا، تغییر می‌کند. البته نشانه‌هایی هم وجود دارد مبنی بر اینکه رابطهٔ بین رنگ شاخهٔ افقی و فلزیت همواره به صورت فوق نیست بلکه تعداد زیادی خوشهٔ با فلزیت پایین ( $[\frac{Fe}{H}] < -2$ )<sup>۳</sup> وجود دارد که تا حدودی قرمزتر از خوشه‌هایی که اندکی فلزیتشان بالاتر است، دیده می‌شوند [۲۶].

شکل (۱-۲) نمودارهای قدر-رنگ  $NGC 1904$ ، ( $[\frac{Fe}{H}] \simeq -1.7$ ) و  $NGC 6637$ ، ( $[\frac{Fe}{H}] \simeq -0.6$ ) را نشان می‌دهد که در آن اثر فلزیت روی شاخهٔ افقی کاملاً واضح است.  $NGC 1904$  دارای تعداد زیادی ستاره در بخش آبی شکاف RR است حال آنکه خوشهٔ

<sup>۱</sup> آن دسته از متغیرهای RR شلیاقی که دارای پریود  $p \geq 0.4 d$  و پریود متوسط  $p \simeq 0.55 d$  هستند، متغیرهای RR از نوع ab نام دارند و آن دسته‌ای که دارای پریود  $p \leq 0.4 d$  و پریود متوسط  $p \simeq 0.3 d$  می‌باشند، متغیرهای RR نوع c نامیده می‌شوند.

<sup>۲</sup> Oosterhoff

<sup>۳</sup> بنا به تعریف، فلزیت یک ستاره عبارت است از:  $[\frac{Fe}{H}] \equiv \log_{10} \left[ \frac{n(Fe)}{n(H)} \right]_{star} - \log_{10} \left[ \frac{n(Fe)}{n(H)} \right]_{sun}$  که بر حسب نسبت تعداد اتمهای آهن به اتمهای هیدروژن می‌باشد.