

تأثیر فلزیت بر وارونگی چگالی ستاره‌های هلیومی خالص

بهروز شکری^۱، حسین حقی^۱، فاطمه صفایی^۲

^۱مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان

^۲دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

چکیده:

در این پژوهش، ما مدل‌های همگن شیمیایی از ستاره‌های WR با جرم $5M_{\odot}$ در فلزیت‌های مختلف را بدون هدررفت جرم شبیه‌سازی کرده‌ایم. ستاره‌های WR ، هسته‌ی لخت ستاره‌های پرجرمی هستند که مقدار زیادی با تمام هیدروژن پوش خود را از دست داده‌اند. بادهای ستاره‌ای WR های خالی از هیدروژن، که تمرکز مطالعات ما بر روی آنهاست، از لحاظ نوری ضخیم هستند، به‌گونه‌ای که حتی با مشخص بودن درخشندگی بولومتریک و دمای مؤثر، نمی‌توان شعاع ستاره‌های WR را مستقیماً تعیین کرد. شبیه‌سازی‌های ما، گسترش شعاع ستاره‌های درخشان و پرفلز WR را تایید می‌کند، چنانکه قبلاً نیز گزارش شده است. ما همچنین تأثیر فلزیت را بر درخشندگی و دمای سطحی، عمر فاز هلیوم‌سوزی، کدریت و ساختار پوش ستاره‌های WR مورد مطالعه قرار داده‌ایم و نشان می‌دهیم برای فلزیت‌های $Z \geq 0.015$ ، در پوش این ستاره‌ها گرادیان چگالی معکوس می‌شود. عمق این ناحیه‌ی همرفتی با فلزیت ستاره رابطه‌ی مستقیم دارد که بطور خلاصه به توجیه آن می‌پردازیم.

در این مقاله به بررسی شعاع و رفتار پوش مدل‌های همگن شیمیایی ستاره‌ی هلیومی $5M_{\odot}$ می‌پردازیم. ما این ستاره را از سن صفر رشته‌ی اصلی هلیومی^۲ تا پایان هلیوم‌سوزی، در فلزیت‌های مختلف، با استفاده از شبیه‌سازی $MESA^3$ مدل سازی کرده‌ایم. $MESA$ با ادغام کردن تعداد زیادی از مدل‌های فیزیکی و محاسباتی، تحول ستاره‌ها را در محدوده‌ی جرمی وسیعی شبیه‌سازی می‌کند. همچنین بطور همزمان تمام ساختارهای کاملاً جفت شده، معادله حالت، کدریت، میزان واکنش‌های هسته‌ای، شرایط مرزی اتمسفر و معادلات پیچیده‌ی ستارگان را محاسبه می‌کند و در حال حاضر یکی از پیشرفته‌ترین شبیه‌سازی‌های ستاره‌ای است [۱].

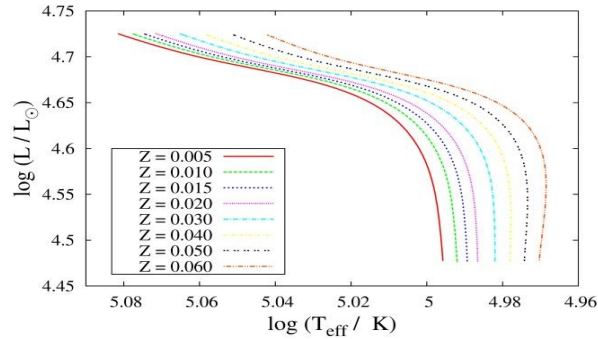
در مدل‌های ما از کدریت $OPAL$ استفاده شده است. درصد فراوانی هیدروژن و هلیوم را به ترتیب صفر و $Y=1-Z$ قرار داده‌ایم. در این شبیه‌سازی چرخش و هدررفت جرم لحاظ نشده است و شعاع ستاره‌های در عمق اپتیکی 0.667 تعریف کرده‌ایم. همچنین این مدل در فلزیت‌های مختلف، تقریباً درخشندگی یکسانی را نشان می‌دهند. این درحالی است که دمای مؤثر برای پرفلزها کمتر است.

¹ Wolf-Rayet

² ZAHemS

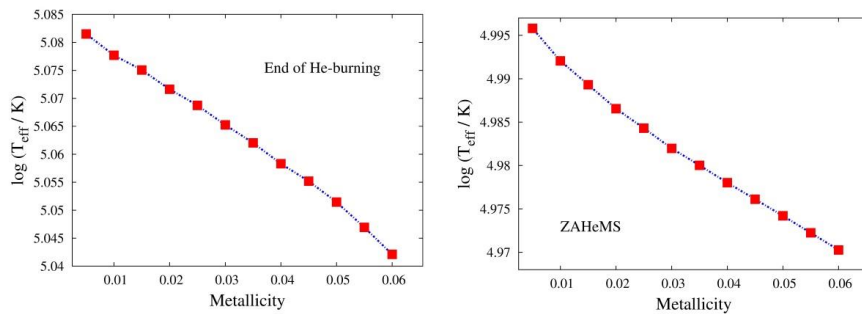
³ Modules for Experiments in Stellar Astrophysics

شکل ۱ مسیر تحولی ستاره از تا پایان هلیوم‌سوزی مرکزی را در فلزیت‌های مختلف که از مدل‌های نظری به‌دست آمده‌اند، نشان می‌دهد. این مدل، در فلزیت‌های مختلف، مسیر تحولی مشابهی دارند و به سمت دما و درخشندگی‌های بالاتر خمیده می‌شوند.



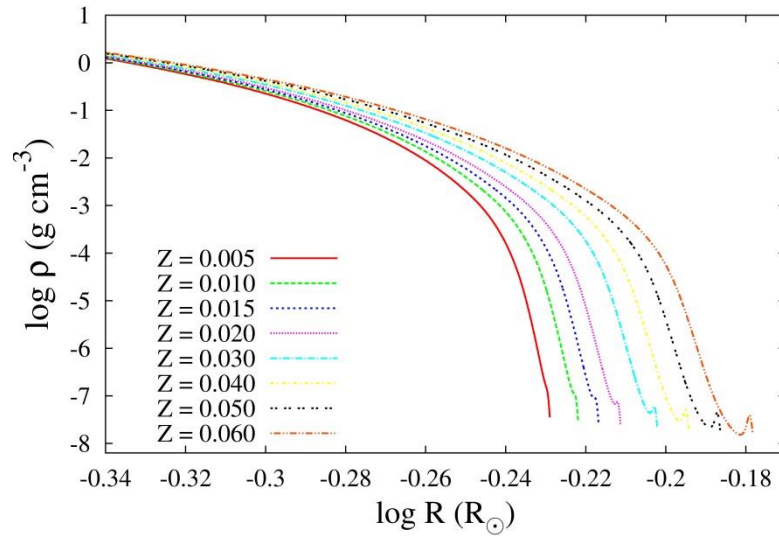
شکل ۱- مسیر تحول ستاره‌های WR با جرم $5M_{\odot}$ در فلزیت‌های مختلف تا پایان فاز هلیوم‌سوزی مرکزی. همه مدل‌ها مسیر تحولی یکسانی را نشان می‌دهند. درخشندگی ستاره تقریباً مستقل از فلزیت است، درحالی که دمای مؤثر پرفلزها کمتر است.

شکل ۲ وابستگی دمای مؤثر به فلزیت را در آغاز و پایان هلیوم‌سوزی نشان می‌دهد. با افزایش فلزیت، دمای مؤثر ستاره WR کاهش می‌یابد. میزان تغییرات دما در ZAHems با فلزیت، کاهش یافته و در پایان هلیوم‌سوزی افزایش می‌یابد. بنابراین هرچه ستاره پرفلزتر باشد، دمای مؤثر آن در پایان هلیوم‌سوزی کاهش بیشتری خواهد داشت. همچنین نتایج ما نشان می‌دهد، فلزیت بر طول عمر هلیوم‌سوزی تأثیرگذار است. به‌گونه‌ای که هرچه ستاره‌ی WR پرفلزتر باشد، طول عمر آن کوتاه‌تر است.



شکل ۲- دمای مؤثر ستاره‌ی WR با جرم $5M_{\odot}$ در ابتدا و انتهای فاز هلیوم‌سوزی به‌عنوان تابعی از فلزیت. میزان تغییرات دمای مؤثر در ZAHems و انتهای هلیوم‌سوزی با افزایش فلزیت، به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد.

در مدل‌های پرفلز ستاره‌ی WR، ساختار پوش رفتار عجیبی را نشان می‌دهد. شکل ۳ رفتار چگالی در ZAHems را برای مدهای کم‌فلز و پرفلز مقایسه می‌کند. یک ساختار پوش گسترده و وارونگی چگالی در لایه‌های بیرونی WR برای $Z \geq 0.015$ وجود دارد. در این فلزیت یک لایه‌ی باریک کم‌چگال (تقریباً $10^{-7} \text{ g cm}^{-3}$) زیر سطح ستاره وجود دارد، جایی که مقدار چگالی به (تقریباً $10^{-7/6} \text{ g cm}^{-3}$) می‌رسد. مدل‌هایی با فلزیت کمتر از این مقدار، ساختار پوش گسترده ندارند و چگالی از مرکز تا سطح ستاره به‌طور یکنواخت کاهش می‌یابد.



شکل ۳- ساختار چگالی بر حسب شعاع ستاره‌ی WR در فلزیت‌های مختلف. در پوش مدل‌های پرفلز، یک ساختار گسترده و وارونگی چگالی مشاهده می‌شود. ساختار پوش گسترده و عمق وارونگی چگالی با افزایش فلزیت، وسیع‌تر می‌شود و چگالی بیرونی‌ترین لایه‌های WR کاهش می‌یابد.

نتایج Petrovich (2006) نشان می‌دهد حداقل مقادیر جرم و فلزیت را برای مشاهده‌ی وارونگی چگالی، $15M_{\odot}$ و $Z = 0.02$ است، این در حالی است که برای مدل‌های ما در $M=5M_{\odot}$ و $Z = 0.015$ وارونگی چگالی مشاهده شده است.

مرجع‌ها

۱. Paxton, B., et. al., ApJS, 192,3, 2011
۲. Petrovic, J., O. Pols, and N. Langer. "Are luminous and metal-rich Wolf-Rayet stars inflated?." (2006).
۳. Maeder, André. *Physics, formation and evolution of rotating stars*. Berlin: Springer, 2009