پژوهشگاه دانشهای بنیادی

شماره مقاله (سخنرانی) : ۹

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

شبیه سازی تشکیل ستاره منفرد با مقایسه با شرایط مرزی سرعت سقوط-آزاد

مطهره محمدپور

گروه فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان

چکیده

در این مقاله به بررسی فروریزش هسته‌های پیش‌ستاره‌ای به نحوی می‌پردازیم که سرعت در مرز درونی ابر در هنگام تشکیل ستاره را با سرعت سقوط آزاد مقایسه می‌نماییم. ابر مدل خود را به صورت کروی، همدما با مرز ثابت باز در نظرمی‌گیریم. با استفاده از روش شبیه‌سازی تحول دینامیکی سیستم را مورد بررسی قرار می‌دهیم. پس از شکل‌گیری ستاره مرکزی، سرعت در لبه درونی ابر را با سرعت سقوط آزاد مقایسه می‌نماییم. در تمام موارد گاز به طور فروصوتی از محیط خارجی در مرز بیرونی به روی ابر برافزایش می‌کند به طوری که آهنگ برافزایش گاز از محیط خارجی ثابت است. مشاهده می‌کنیم که در همه موارد افزایش اولیه ناگهانی برافزایش به روی ستاره مرکزی وجود دارد. بنابراین مشکل تابندگی همچنان وجود دارد اما با نزدیک شدن به سرعت سقوط آزاد پیک آهنگ برافزایش جرم بر روی ستاره مرکزی اندکی کاهش می‌یابد.

مقدمه

هسته های ابرهای مولکولی مکان اصلی شکل‌گیری ستارگان می‌باشند. مطالعه ابرهای مولکولی نه تنها به ما در شناخت تشکیل ستارگان کمک می-کند بلکه در مقیاس بزرگتر در شناخت دینامیک محیط‌های میان‌ستاره‌ای و در نتیجه تحول کهکشان‌ها، نیز موثر می‌باشد. سرعت‌های مشاهده شده در هسته‌های چگال فروصوتی بوده اما در نواحی درونی فراصوتی می‌باشد. وسعت فضایی این درون ریزی فراصوتی بسیار محدود در فاصله حدود $۰٫۲pc$ از پیش‌ستاره است [۱]. تحول این هسته‌های چگال از بدو تولد تا مرحله تشکیل ستاره به درستی مشخص نیست. اما روش های تئوری تابندگی‌ای از مرتبه ده برابر بزرگتر از از رصدها را نشان می‌دهد [۲]. از آنجایی‌که تابندگی با آهنگ برافزایش جرم بر روی ستاره مرکزی متناسب است به دنبال آن هستیم که مدل اصلاح شده‌ای را بیابیم که این آهنگ برافزایش جرم را کاهش دهد تا نتایج تئوری و رصدی همخوانی بهتری داشته باشند. در مدل شو آهنگ برافزایش جرم بر تغییر می‌کند، اما این تغییرات نیز بسیار بزرگ بوده و سبب تشدید اختلاف نتایج تئوری با رصدی می‌شود.

تصویرهای به دست آمده از ماهواره هرشل نشان می‌دهد [۳] که گاز ممکن است در راستای عمود بر رشته‌های باریکی که هسته‌ها را دربردارند، جریان یابد. تا به رشته بپیوندد. بنابراین اثرمحیط بیرونی هسته‌ها در تحول دینامیکی هسته‌ها بایستی لحاظ شود. درواقع هیچ حایلی بین هسته چگال و محیط خارجی وجود ندارد. محمدپور و استالر در سال ۲۰۱۳ [٤] با استفاده از شبیه‌سازی‌های عددی فروریزش وابسته به زمان یک ابر همدما دارای مرز باز را در چارچوب یک شارش کروی متقارن مورد بررسی قرار دادند، به طوری‌که گاز از سراسر این مرز ثابت به‌طور فروصوتی تا نقطه شکل‌گیری ستاره و یا حتی بعد از آن شارش می‌کند. در مدل آن‌ها آهنگ برافزایش جرم خارجی در هر بار اجرای برنامه ثابت فرض شده است. این مدل تابندگی‌هایی بسیار بزرگتر از مقدار رصد شده را نشان می‌دهد. محمدپور[۵] اثر تغییر میزان آهنگ برافزایش جرم از محیط خارجی (تغییر چگالی محیط بیرونی) که مستقیماً از اثر پیش‌ستاره بر روی محیط خارجی ناشی می‌شود را بر مقاله محمدپور و استالر [٤] مورد بررسی قرار داد و نشان داد که هرچند که بر طبق نتیجه مقاله کامینسکی و همکاران [٦] چگالی محیط بیرونی در فروریزش ابر قبل از تشکیل ستاره نقش ایفا می‌نماید، اما نقش برجسته‌ای پس از

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

شکل‌گیری ستاره ندارد. دالبا و استالر [۷] فروریزش شار پایا و همدما دارای مرز باز را مورد بررسی قرار دادند، در مدل آن‌ها سرعت در مرز درونی به هنگام تشکیل ستاره برابر با سرعت سقوط-آزاد در نظر گرفته شد. اما مدل ابر آن‌ها شعاعی بی‌نهایت را دارا است که دور از واقعیت می‌باشد.

حل مسأله

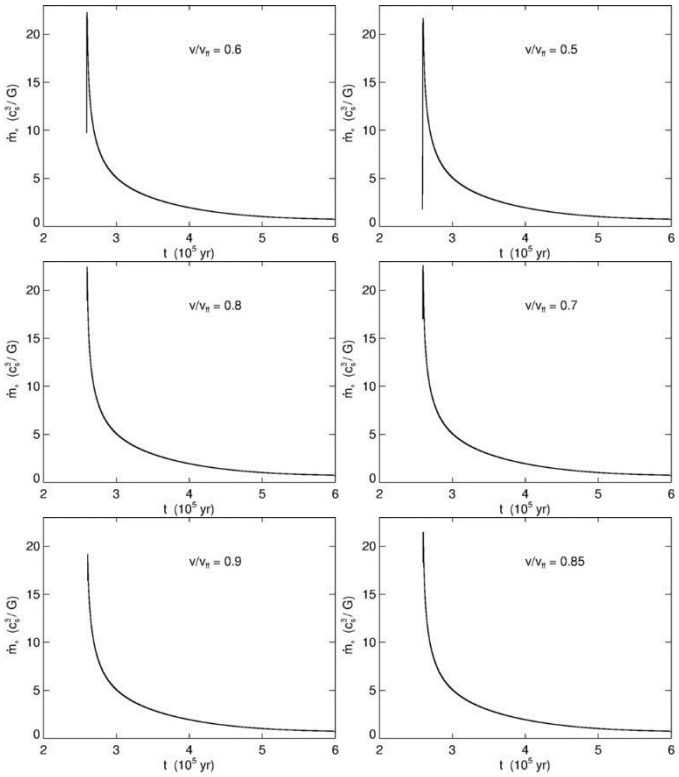
هسته دارای تقارن کروی و شارش جریان متقارن کروی را انتخاب می‌نماییم. معادله حالت گاز را به صورت همدما و با سرعت صوت $c_s = ۰٫۲\ km/s$ را درنظر می‌گیریم. شعاع هسته برابر با $۰/۵pc$ مطابق با داده‌های رصدی انتخاب می‌شود. می‌نماییم. سوق گاز در مرز بیرونی دارای سرعت ثابت برابر با $۰٫۲c_s$ انتخاب می‌شود که با مشاهدات طیف سنجی در توافق می‌باشد. برای شبیه‌سازی از کد قابل دسترسی عمومی ZEUS-MP استفاده نمودیم [۸]. شار را با ۳۵۰ منطقه به صورت لگاریتمی تحت پوشش قرار داده و درمرزخارجی، شرط مرزی جریان به سمت داخل و قبل از تشکیل ستاره در مرکز ابر از شرط مرزی بازتابی استفاده می‌کنیم. در روش محمدپور و استالر [٤] هنگامی که چگالی مرکزی به چگالی $۶\times۱۰^{-۱۴}\ gcm^{-۳}$ رسید، آنگاه مکانی که چگالی به یک چهارم این مقدار می‌رسید را به عنوان یک حفره فروبرنده مرکزی (ستاره مرکزی) انتخاب نموده و شعاع آن را به عنوان شعاع ستاره درنظر گرفتند. این شعاع حدود ۲.۶×۱۰^{-۳}برابر شعاع ابر درنظر گرفته شده می باشد که ۸ منطقه درونی را تحت پوشش قرار می دهد.دراین مقاله می‌خواهیم مطابق مقاله دالبا و استالر [۷] سرعت در مرز درونی ستاره را در مقایسه با سرعت سقوط-آزاد در نظر بگیریم. تفاوتی که مدل این مقاله با مدل مقاله [٤] قبلی دارد این است که در این مقاله پس از درنظر گرفتن ستاره مرکزی در ۸ منطقه درونی، جرم درون این ۸ منطقه را محاسبه نموده و سرعت سقوط-آزاد را در لبه بیرونی منطقه ۸ام محاسبه می‌نماییم و با سرعتی که در شبیه‌سازی قبل از تشکیل ستاره به دست آمده، v ، مقایسه می‌نماییم. تا آنجایی تشکیل ستاره را به تاخیر می‌اندازیم که این سرعت‌ها با سرعت سقوط-آزاد قابل قیاس شوند (شکل٦). بعد از اینکه ستاره مرکزی تشکیل شد در مرز درونی شرط مرزی جریان به سمت بیرون را لحاظ می‌کنیم و آهنگ برافزایش ستاره $\dot{m}_*$ را در آن محل محاسبه می‌نماییم. برای حالت اولیه مقدار بحرانی تقابل چگالی ۱۴ را در نظر می‌گیریم که از حل عددی معادله لین- امدن در حالت همدما به‌دست می‌آید. سرعت اولیه خطی بوده، در مرکز ابر صفر و در لبه بیرونی مساوی با سرعت سوق گاز از محیط بیرونی $۰٫۲\ c_s$می‌باشد. برای ایجاد پیوستگی چگالی در مرز بیرونی را با چگالی بیرونی‌ترین نقطه در حالت اولیه برابر قرار می‌دهیم. تشکیل ستاره را تا رسیدن به سرعت‌های مختلف نسبت به سرعت سقوط-آزاد به تعویق می‌اندازیم و اثر آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

نتیجه‌گیری

در این مقاله زمان تشکیل ستاره را تا رسیدن به سرعت‌های مختلف، در قیاس با سرعت سقوط-آزاد به تعویق می‌اندازیم و اثر آن را درآهنگ فروریزش جرم بر روی ستاره مرکزی مطالعه می‌کنیم. در شکل (۱) هنگام تشکیل ستاره سرعت در مرز درونی $v = ۰.۵ v_{ff}$ و جرم اولیه ستاره مرکزی $۰٫۰۰۱ M_\odot$ می‌باشد. در حالی‌که جرم اولیه ابر برای همه موارد یکسان است. با گذشت زمان در شکل (۲) سرعت به $۰.۶ v_{ff}$ و جرم ستاره مرکزی به $۰٫۰۰٤ M_\odot$ می‌رسد. در شکل (۳و٤ و۵ و٦) سرعت‌ها به $۰.۷ v_{ff}$ و $۰.۸ v_{ff}$ $۰.۹ v_{ff}$ $۰.۸۵ v_{ff}$ مـی‌رسـد و جرم اولیه ستاره مرکزی رو به افزایش می‌گذارد و به‌ترتیب به $۰٫۰۱ M_\odot$ ، $۰٫۰۲ M_\odot$ ، $۰٫۰۳ M_\odot$ ، $۰٫۰۵ M_\odot$ می‌رسد. مشاهده می شود که در تمامی موارد آهنگ برافزایش جرم بر روی ستاره مرکزی بسیار بزرگ می‌باشد. لحاظ نمودن تغییر شرایط مرزی نیز نتوانست مشکل تابندگی در عدم تطبیق نتایج تئوری با رصدی را حل نماید. هرچند مشاهده می‌شود که در شکل ٦ زمانی که سرعت به حدود ۰,۹ سرعت سقوط-آزاد می‌رسد، ماکزیمم آهنگ برافزایش نسبت به حالت های دیگر

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

کاهش دارد. این کاهش در شکل ۵ نیز وجود دارد اما به خوبی مشهود نیست. اما این مقادیر نیز همچنان بسیار بزرگ می‌باشند. بنابراین هنوز نیازمند مدل اصلاح شده فروریزش ابر می‌باشیم. همچنین انتظار نداریم که در نظرگرفتن اثرات چرخشی و یا فرایندهای گرمایشی و سرمایشی بتواند نتایج را تغییر دهد [۹]. شاید در نظر گرفتن اثر میدان مغناطیسی بتواند پاسخگوی مناسبی برای این حل این مشکل باشد.



شکل2 : آهنگ برافزایش جرم خارجی با در نظر گرفتن شرایط مرزی با سرعت‌های متفاوت در هنگام تشکیل ستاره

مرجع‌ها

1. Choi, M., Evans, N. J., Gregersen, E. W., and Wang, Y. (1995) *ApJ*, 448, 742.
2. Kenyon, S. J., Hartmann, L.W., Strom, K. M., and Strom, S. E. (1990) *AJ*, 99, 869.
3. Palmeirim, P., et al. (2013) *A&A*, 550, A38.
4. Mohammadpour, M., and Stahler, S. W. (2013) *MNRAS*, *443*,*3389*
۵. محمدپور،مطهره -هشتمین همایش ملی نجوم و اخترفیزیک ایران-دانشگاه صنعتی امیرکبیر-بهمن ۱۳۹۳
6. Kaminski, E., Frank, A., Carroll, J., Myers, P.(2014) *ApJ*, 790, 70.
7. Dalba, P.A., and Stahler, S. W. (2012) *MNRAS*, *425*,*1591*
8. Hayes, J. C., Norman, M. L., Fiedler, R. A., Bordner, J. O., Li, P. S., Clark, S. E., ud-Doula A., and MacLow M. M. (2006) *ApJS*, 165, 188.
9. Banerjee, R., Pudritz, R. E., and Holmes, L. (2004) MNRAS, 355, 248