پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

شماره مقاله : ۵

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

عنوان: نقش شرایط مرزی بیرونی در فروریزش هسته‌های ابرهای مولکولی

محمدپور، مطهره [۱] اردکانی، مریم [۲]

گروه فیزیک، دانشگاه دامغان

چکیده

در این مقاله برافزایش کروی گاز در حالت پایا را با معادله حالت پلی‌تروپ و درنظر گرفتن نیروی خودگرانشی گاز مورد بررسی قرار می‌دهیم. شعاع ابر بسیار بزرگ درنظر گرفته شده است و سرعت در شعاع‌های بزرگ به یک مقدار فروصوتی می‌رسد. با این فرض جرم ابر در مقایسه با جرم ستاره مرکزی بسیار بزرگ‌تر می‌باشد. محاسبات ما با ایده‌آل‌سازی بالا نشان می‌دهد که سرعت‌ها در سراسر نواحی بیرونی ابر فروصوتی هستند که این نتایج در توافق با مشاهدات مراحل اولیه تحول ابر می‌باشد.

ستارگان از فروریزش گرانشی هسته‌های چگال شکل می‌گیرند[۱] . یافته‌ها نشان می‌دهد که اثر محیط بیرونی هسته‌ها در تحول دینامیکی هسته‌ها بایستی لحاظ شود. جرم می‌تواند از محیط خارجی بر روی هسته برافزایش کند. نظریه‌پردازان درنظر گرفتن مدل های بهبودیافته فروریزش ابر، که مرزی باز را نیز دربر داشته باشد، را آغاز کرده‌اند [۲] و [۳]. دالبا و استالر [٤] در سال ۲۰۱۲ مدل هسته کروی هم‌دما با مرز باز را مورد مطالعه قرار دادند به‌طوری‌که گاز در هنگام فروریزش، دارای سرعت‌های فروصوتی در نواحی بیرونی هسته است. آن‌ها نشان دادند ناحیه درون‌ریزی با سرعتی نزدیک به سرعت صوت، به سمت بیرون گسترش می‌یابد. اما از آن‌جایی‌که ابرهای مولکولی تحت اثر فرآیندهای گرمایشی و سرمایشی هستند و به‌علاوه با وجود ستاره مرکزی، فرض هم‌دما بودن ابر تا بی‌نهایت فرض کاملی نمی‌باشد، بنابراین ما در این مقاله از معادله حالت پلی‌تروپ استفاده و برای ساده‌سازی شعاع ابر را بسیار بزرگ فرض می‌کنیم و معادلات حاکم بر مسئله را می‌نویسیم.

معادلات حاکم:

معادله پیوستگی و اندازه‌حرکت را در یک کره متقارن برای جریان پایا، درغیاب میدان مغناطیسی درنظر می‌گیریم

$$\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}(r^2\rho u)=0 \qquad (۱)$$

$$u\frac{du}{dr}=-\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dr}-\frac{G}{r^2}(M_r+M_*) \qquad (۲)$$

ρ نشان‌دهنده چگالی شار، u سرعت، p فشار و G ثابت گرانش می‌باشد. M_r جرم ابر و M_* جرم ستاره مرکزی می‌باشد. فرض می‌کنیم ابر به صورت پلی‌تروپ ($p=k\rho^{\gamma}$) رفتار می‌کند که γ ضریب پلی‌تروپ و برابر با 1+1/n می‌باشد. جرم و چگالی نیز توسط رابطه زیر با یکدیگر مرتبط می‌شوند

$$\frac{dM}{dr}=4\pi r^2\rho \qquad (۳)$$

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

برای جریان پایا، آهنگ‌های انتقال جرم در تمامی پوسته‌های کروی یکسان و برابر با $\dot{M}_* = \dot{M} = 4\pi r^2 \rho u$ می‌باشد. شرط مرزی بیرونی به‌صورتی است که سرعت شاره در مرز بیرونی ابر فروصوتی و برابر با a_∞ ۰/۲ می‌باشد.

و a_∞ سرعت صوت در مرز بیرونی ابر است.

$$\lim_{r\to\infty} u(r) = u_\infty \qquad (۴)$$

با استفاده از معادله حالت پلی‌تروپ معادله اندازه حرکت را بازنویسی می‌کنیم

$$(u - \frac{a^2}{u})\frac{du}{dr} = -\frac{2a^2}{r} + \frac{G}{r^2}(M_r + M_*) \qquad (۵)$$

با معرفی پارامترهای بدون بعد زیر معادلات را بی‌بعد می‌نماییم

$$u \equiv \tilde{u}a_\circ \qquad M_r \equiv \tilde{M}_r M_* \qquad \rho \equiv \tilde{\rho}\rho_\circ \qquad a \equiv \tilde{a}a_\circ \qquad r \equiv \tilde{r}r_\circ \qquad (۶)$$

با به‌دست‌آوردن $r_\circ = \frac{GM_*}{a_\circ^2}$، $\rho_\circ = \frac{a_\circ^6}{G^3 M_*^2}$، $\dot{M} = \frac{a_\circ^3}{G}$، $\dot{M} = \frac{\dot{M}_\circ}{\lambda}$ همه معادلات بدون بعد می‌شوند و بعد از بی‌بعدسازی به‌صورت زیر نوشته می‌شوند

$$\frac{dM_r}{dr} = \frac{\lambda}{u} \qquad (۷)$$

$$(u - \frac{a^2}{u})\frac{du}{dr} = \frac{2a^2}{r} - \frac{(1+M_r)}{r^2} \qquad (۸)$$

با جایگذاری ρ از $\rho = \frac{\lambda}{4\pi r^2 u}$ در $a^2 = \gamma\rho^{(\gamma-1)}$ و مشتق‌گیری از آن نسبت به شعاع رابطه زیر حاصل می‌شود

$$(\frac{da^2}{dr}) = \gamma(1-\gamma)(\frac{\lambda}{4\pi})^{(\gamma-1)}(r^2 u)^{-\gamma}(2ru - r^2\frac{du}{dr}) \qquad (۹)$$

مانند استالر و دالبا [٤] فرض می‌کنیم تغییرات سرعت در شعاع‌های بزرگ ناچیز باشد درنتیجه از معادله (۸) داریم (۱۰)

$$\lim_{r\to\infty} M_r = 2r_\infty a_\infty^2 - 1$$

با مشتق‌گیری از معادله (۱۰) معادله زیر حاصل می‌شود

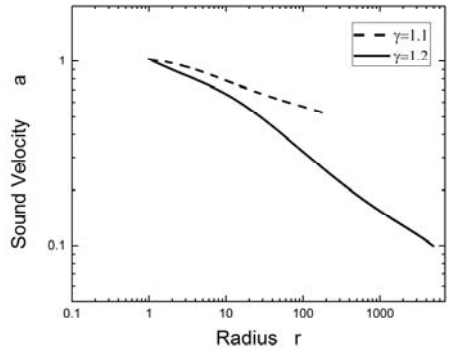
$$(\frac{dM}{dr})_{r\to\infty} = 2a_\infty^2 + 2r_\infty(\frac{da^2}{dr})_{r\to\infty} \qquad (۱۱)$$

$$(\frac{da^2}{dr})_{r\to\infty} = \gamma(1-\gamma)(\frac{\lambda}{4\pi})^{(\gamma-1)}(r_\infty^2 u_\infty)^{-\gamma}(2r_\infty u_\infty) \qquad (۱۲)$$

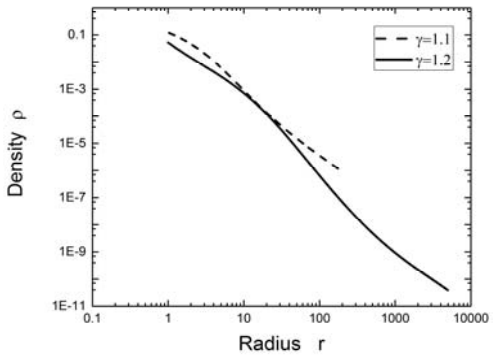
معادله (۱۲) را در (۱۱) جایگذاری نموده و از آن‌جایی‌که تغییرات جرم نسبت به شعاع نمی‌تواند منفی باشد، حد $\gamma < \frac{3}{2}$ برای گاما به‌دست می‌آید. با داشتن مقدار جرم و چگالی در مرز بیرونی ابر، درنتیجه با استفاده از شرایط مرزی بیرونی و روش رانگ-کوتا مرتبه ٤ معادلات را حل نموده و نتایج آن را بیان می‌کنیم. در شکل‌های (۱) و (۲) و (۳) نمودارهای چگالی، سرعت‌صوت و سرعت برای دو ابر با جرم بی‌بعد یکسان $M = 97/2$ و ضرایب پلی‌تروپ γ= ۱/۱ و γ= ۱/۲ ترسیم شده است. مقادیر شعاع‌های بیرونی $r_{1.1} = 175$ و $r_{1.2} = 4946$ می‌باشد. شکل (۱) بیان می‌کند که چگالی در

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

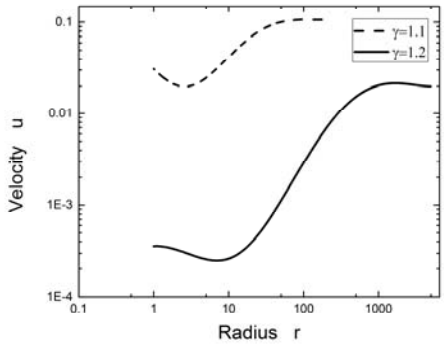
تمامی شعاع‌ها برای ($\gamma=$ ۱/۱) بیشتر از ($\gamma=$ ۱/۲) و در نواحی درونی بیشتر از نواحی بیرونی می‌باشد که از جسمی که تحت فروریزش گرانشی قرار دارد چنین انتظاری می‌رود. بنابر شکل (۲) سرعت صوت در نواحی بیرونی ابر برای ($\gamma=$ ۱/۱)، بیشتر از ($\gamma=$ ۱/۲) می‌باشد زیرا از آن‌جایی‌که سرعت صوت با چگالی متناسب است بنابراین سرعت صوت نیز برای ($\gamma=$ ۱/۱)، می‌بایست بیشتر از ($\gamma=$ ۱/۲) باشد و از بیرون به



شکل(۲) : نمودار سرعت صوت برحسب شعاع در مقیاس لگاریتمی



شکل(۱) : نمودار چگالی برحسب شعاع در مقیاس لگاریتمی



شکل(۳) : نمودار سرعت برحسب شعاع در مقیاس لگاریتمی

به درون افزایش یابد. شکل (۳) نیز سرعت در نقاط بیرون را تقریبا ثابت نشان می‌دهد که با فرض مسئله مطابقت دارد و با حرکت از مرز بیرون به درون سرعت رو به کاهش و فروصوتی می‌باشد. این مسئله با توجه به قانون گاوس قابل توجیه است، زیرا جرم محصور شده در هر شعاع دلخواه درحال کاهش می‌باشد و علاوه براین فشار نیز از بیرون به سمت درون در حال افزایش است.

نتیجه‌گیری:

در این مقاله مسئله برافزایش کروی گاز در حالت پایا را با معادله حالت پلی‌تروپ برای دو ابر با جرم یکسان و ضرایب پلی‌تروپ متفاوت مورد بررسی قرار دادیم. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که در این مسئله انتقال صوتی اتفاق نمی‌افتد و سرعت صوت از مرز بیرون به سمت درون در حال افزایش می‌باشد. در این مقاله، برای ساده‌سازی ابر دارای شعاع بی‌نهایت است، در صورتی‌که هسته‌های چگال دارای شعاع محدود می‌باشند. برای بررسی بهتر این مسئله نیاز است که تحول دینامیکی سیستم برای ابری با شعاع محدود مورد بررسی قرار گیرد.

مرجع‌ها:

1. Stahler, S.W., and Palla, F. (2004). *The Formation of Stars and Wiley-VCH. Weinheim.*
2. Gong, H., and Ostriker, E. C. (2011) *ApJ*, 729, 120.
3. Gong, H. and Ostriker, E. C. (2009). ApJ, 699, 230.
4. Dalba, P.A., and Stahler, S. W. (2012) *MNRAS, 425,1591*.