بررسی اثرهدایت گرمایی در ساختار دینامیکی قرصهای برافزایشی با پهن رفت غالب

جمشید قنبری[۱]، شهرام عباسی[۲]، ثمانه نجار[۳]

[۱]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه علوم پایه دامغان

[۳]گروه فیزیک، دانشگاه آزاد مشهد

چکیده

مشاهدات از پلاسما بسیار داغ اطراف Sgr A* و تعدادی از هسته های کهکشانی نزدیک نشان می دهد که میانگین پویش آزاد الکترونها و پروتونها با شعاع تسخیر گاز قابل مقایسه می باشد. بنابراین بنظر می رسد، برافزایش در این منابع بسیار داغ تحت شرایطی صورت می گیرد که برخورد بسیار کمی بین ذرات رخ می دهد و در نتیجه نقش کمی در تحول قرص خواهد داشت. نتیجه مستقیم این مطلب آنست که هدایت گرمایی توسط یونها می تواند سهم بسزایی در انتقال گرمای آزاد شده در فرایند برافزایش داشته باشد. در این تحقیق بر آنیم که سهم هدایت گرمایی را در تحول دینامیکی قرص نازک مغناطیده با پهن رفت غالب توسط روش خود مشابهی مطالعه نمایم.

۱- مقدمه

مدل استاندارد قرص نازک سیالی را توصیف می کند که طی فرایند برافزایش گرمای آزاد شده ناشی از وشکسانی را بلافاصله پس از تولید بصورت تابش از دست می دهد (شاکورا و سانیف ۱۹۷۳). با اینحال مدل دیگری طی دو دهه اخیر ارایه شده است که در آن انرژی آزاد شده ناچیز می باشد و بنابراین باقی مانده انرژی توسط سیال به طرف ستاره مرکزی پهن رفت می شود. این قرصها با پهن رفت غالب، ADAF، در دو رده مختلف که به آهنگ برافزایش و عمق اپتیکی آنها بستگی دارد، مشاهده می شوند. در آهنگ برافزایش بالا، عمق اپتیکی بسیار بزرگ خواهد شد ودر نتیجه تابش در قرص بدام می افتد. این نوع قرص با نام slim disk شناخته می شود. اما اگر آهنگ برافزایش کوچک باشد، و در نتیجه عمق اپتیکی کوچک خواهد بود، نوع دوم قرص ADAF خواهیم داشت. مدل ADAF در توصیف بسیاری از قرصهای رصد شده اطراف سیاه چاله ها موفق بوده است. با این حال شبیه سازی های کامپیوتری شاره های برافزایشی با تابش غیرموثر، آشکار می سازد که در حد وشکسانی کوچک این شاره ها در برابر همرفت ناپایدار هستند و همرفت نقش عمده ای در تحول این شاره ها دارد. این تنوع در مدلهای توصیف کننده شاره های برافزایشی داغ موضوع جالب و چالش بر انگیزی است.

مقصود ما از این تحقیق بررسی اثر هدایت گرمایی بر روی ساختار کلی قرص است که پیش از این بطور کلی از آن صرفنظر شده بود. البته تعدادی از محققین منجمله (Honma 1996, Manamoto et al. 2000) سعی کردند تا اثر تلاطم را در انتقال انرژی در سیالهای شبیه ADAF مطالعه نمایند. البته هدایت گرمایی در جهت عکس آن عمل می کند و باعث از بین رفتن گرادیان دما که عامل ایجاد تلاطم است عمل می کند. بنظر می رسد در اثر اعمال هدایت گرمایی رفتارهای متفاوتی در ساختار شعاعی قرص نسبت به حالتی که هدایت گرمایی نقشی در انتقال انرژی ندارد داشته باشد. اخیرا Menou(2005, 2006) با استفاده از حلهای خودمشابهی Narayan& Yi 2004 که برای قرصهای ADAF ارایه شده بود توانست اثرات

هدایت گرمایی را در این شاره ها مطالعه نماید. نتایج او تایید می کند که هدایت گرمایی می تواند نقش فیزیکی عمده ای در فهم برافزایش داغ به قرصهای تاریک سیاه چاله ای داشته باشد.

اثر میدان مغناطیسی در ساختار قرصهای ADAF نیز طی سالهای اخیر توجه بسیاری از اخترفیزیکدانها را بخود جلب کرده است (Ghanbari et al. 2007). بنظر می رسد میدان مغناطیسی باعث کاهش پویش آزاد ذرات باردار در قرص شود و از این طریق باعث کاهش نقش هدایت گرمایی شود (Menou 2006). البته بنظر می رسد که میزان این تاثیر به هندسه میدان در قرص برافزایشی بستگی داشته و مستقل از شدت میدان باشد. البته این مساله نیاز به تحقیق دارد.

هدف از این تحقیق بررسی نقش هدایت گرمایی در ساختار دینامیکی قرص برافزایشی از نوع ADAF مغناطیده با استفاده از روش خودمشابهی می باشد. در این مطالعه میدان در قرص با هندسه چنبره ای انتخاب شده است. در بخش بعد معادلات حاکم بر سیستم و جوابهای خودمشابه ای ارایه خواهد شد.

۱- معادلات حاکم بر سیستم

برای آنکه بتوانیم اثر هدایت گرمایی را وارد سیستم کنیم، ابتدا باید بدانیم که چرا میانگین پویش آزاد کمتر (یا قابل مقایسه) با مقیاس گرادیان دما است. برای حالتی که میانگین پویش آزاد بزرگتر از مقیاس گرادیان دما است، هدایت گرمایی **اشباع** نامیده میشود و شار گرمایی به یک مقدار حدی می رسد (Cowie & McKee 1977). اما در حالتی که پویش آزاد کوچکتر از مقیاس گرادیان دما باشد، شار گرمایی به ضریب هدایت گرمایی و گرادیان دما بستگی دارد. در حالت کلی هدایت گرمایی در جهت مخالف گرادیان دما باعث انتقال گرما میشود. شبیه به (Menou 2005) ما نیز به مطالعه برافزایش داغ در حد برهمکنش کم ، **اشباع**، خواهیم پرداخت.

ما قرص برافزایشی را نازک وحول سیاهچاله ای به جرم M در حد پهن رفت غالب در نظرمی گیریم. در دستگاه مختصات استوانه ای (r,θ,φ)، در راستای عمودی از قرص انتگرالگیری می کنیم. علاوه براین فرض می کنیم قرص دارای تقارن محوری و ایستا باشد ($\frac{\partial}{\partial\varphi}=\frac{\partial}{\partial t}=0$)، همچنین تمامی کمیتهای فیزیکی سیستم فقط تابعی از شعاع باشند. ما از اثرات نسبیتی صرفنظر و از گرانش نیوتنی استفاده می کنیم. همچنین از دستورالعمل (Shakura & Sanyev ۱۹۷٤) برای وشکسانی قرص استفاده خواهیم کرد. هندسه چنبره ای برای میدان مغناطیسی انتخاب شده است. معادلات حاکم برسیستم عبارتست از:

$$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}(r\Sigma v_r)=2\dot{\rho}H$$

$$v_r\frac{dv_r}{dr}=\frac{v^2{}_\varphi}{r}-\frac{GM}{r^2}-\frac{1}{\Sigma}\frac{d}{dr}(\Sigma c^2{}_s)-\frac{c^2{}_A}{r}-\frac{1}{2\Sigma}\frac{d}{dr}(\Sigma c^2{}_A)$$

$$r\Sigma v_r\frac{d}{dr}(rv_\varphi)=\frac{d}{dr}\left(\frac{\alpha\Sigma c^2{}_s r^3}{\Omega_k}\frac{d\Omega}{dr}\right)$$

$$\frac{GM}{r^3}H^2 = c^2{}_s\left[1+\frac{1}{2}(\frac{c_A}{c_s})^2\right] = (1+\beta)c^2{}_s$$

$$\frac{\sum v_r}{\gamma-1}\frac{dc^2{}_s}{dr} + \frac{\sum c^2{}_s}{r}\frac{d}{dr}(rv_r) = Q_{vis} - Q_{rad} + Q_{cond}$$

$$v_r\frac{dc_A{}^2}{dr} + c_A{}^2\frac{dv_r}{dr} - \frac{c_A{}^2 v_r}{r} = 2c_A{}^2\frac{\dot{B}_\varphi}{B_\varphi} - c^2{}_A\frac{2\dot{\rho}H}{\sum}$$

که در معادلات بالا پارامترهای $\beta = \frac{p_{mag}}{p_{gas}} = \frac{1}{2}\left(\frac{c_A}{c_s}\right)^2, c_s{}^2 = \frac{p_{gas}}{\rho}, c_A{}^2 = \frac{B_\varphi{}^2}{4\pi\rho}$ راداریم. Q_{vis} انرژی ازادشده ناشی از وشکسانی، Q_{rad} انرژی آزاد شده بصورت تابش و Q_{cond} انرژی منتقل شده بصورت هدایت گرمایی است. در سمت راست معادله انرژی می توانیم از رابطه $Q_{vis} - Q_{rad} = fQ_{vis}$ استفاده کنیم (Narayan & Yi 1994)، که در آن $f \le 1$ پارامتر پهن رفت نامیده می شود. Q_{vis}, Q_{cond} اینگونه تعریف می شوند:

$$Q_{vis} = \nu \sum r^2\left[\frac{d}{dr}(\frac{v_\varphi}{r})\right]^2$$

$$Q_{cond} = -\frac{2H}{r}\frac{d}{dr}(r^2 F_s)$$

که در آن $F_s = 5\phi_s\rho c^3{}_s$ و $\phi_s \prec 1$ شار گرمایی اشباع نامیده می شود. برای حل این معادلات از رهیافت خودمشابهی استفاده می کنیم. جوابهای پیشنهادی ما برای این دسته معادله عبارتند از:

$$v_r = -A_1\alpha\sqrt{\frac{GM}{r}}, \qquad v_\varphi = A_2\sqrt{\frac{GM}{r}}, \qquad c_s{}^2 = A_3\frac{GM}{r}, \qquad c_A{}^2 = 2\beta A_3\frac{GM}{r}$$

$$\sum = \sum_0 r^{-\frac{1}{2}}, \qquad \dot{\rho} = \dot{\rho}_o r^{-3}, \qquad \dot{B} = \dot{B}_\varphi r^{-\frac{11}{4}}$$

اگر این جوابها را در معادلات سیستم قرار دهیم، به معادلات ساده زیر می رسیم:

$$-\frac{1}{2}\alpha^2 A_1{}^2 = A_2{}^2 - 1 - \frac{A_3}{2}(3-\beta)$$

$$A_1 = \frac{3A_3}{2}$$

$$\frac{H}{r} = \sqrt{(1+\beta)A_3}$$

$$A_2{}^2 = \frac{3-\gamma}{\gamma-1}\frac{2}{9f}A_1 = \varepsilon'' A_1$$

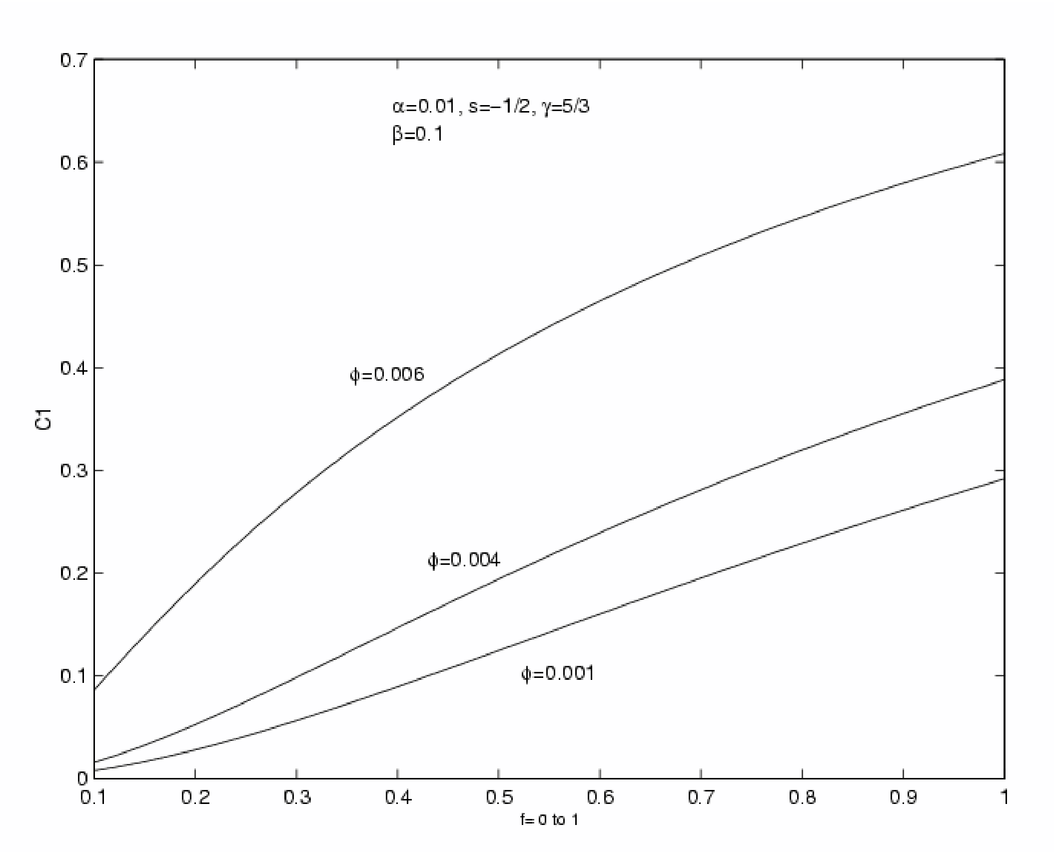
از ترکیب این معادلات به معادله درجه چهارم زیر می رسیم:

$$D^2 A_1{}^4 + (2BD)A_1{}^3 + (B^2-2D)A_1{}^2 - (M^2+2B)A_1 + 1 = 0$$

که در آن:

$$D = \frac{\alpha^2}{2}, \qquad B = [\frac{4}{9f}(\frac{1}{\gamma-1} - \frac{1}{2}) - \frac{\beta}{3} + 1], \qquad M = \frac{20}{9\alpha f}\sqrt{\frac{2}{3}}\varphi$$

با حل این معادله درجه چهارم نشان خواهیم داد که در ناحیه فیزیکی پارامترهای $\alpha,\beta,\gamma,f,\varphi$، معادله تنها دو ریشه حقیقی خواهد داشت. در نمودار زیر رفتار این دو ریشه را برای مقادیر مختلف پارامترهای، f,β,α,ϕ رسم نموده ایم.



مراجع

[1]Menou K., 2005, APJL, astro-ph\0507189
[2] Tanaka T., Menou K., 2006, APJ, astro-ph\0604509
[3] Ghanbari J., Salehi F., Abbassi S., MNRAS, 2007, 381, 159
[4]Narayan R., Yi I., 1994, APJ, 428, L13
[5] Honma F., 1996, PASJ, 48, 77
[6] Cowie, L.L., McKee C.F., 1977, Phys, Rev. Lett., 80, 3077
[7] ManamotoT., 2000, APJ, 529, 127
[8] Shakura N., Sunyev R., 1973, A&A, 24, 377