

Juodųjų skylių akrecijos ir grįžtamojo ryšio skaitmeninio modeliavimo tobulinimas

Improving black hole accretion and feedback in numerical simulations

Matas Tartėnas¹, Kastytis Zubovas¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius
matas.tartenas@gmail.com

Galaktikų centruose egzistuojančių supermasyvių juodųjų skylių (SMBH) įtaka stebima įvairiose atstumų skalėse. Praeityje vykusių maitinimosi ir atktyvumo tarpsnių pasekmės stebimos ir po 100 tūkst. ar 1 mln. m. - mūsų Galaktikoje, tai ~100 pc rentgeno burbulai ir ~10 kpc Fermi burbulai. Šis ryšys tarp SMBH maitinimo/aktyvumo ir poveikio tarpžvaigždinei terpei (ISM) reiškia, kad svarbu teisingai atsižvelgti į grįžtamojo ryšio laiko skalę, tačiau itin dideli erdvinių mastelių skirtumai daro tiesioginį šių procesų modeliavimą labai sudėtingu.

Šiame darbe pristatomas sub-raiškinis akrecijos ir jos kuriamo grįžtamojo ryšio aprašymas. Kartu su SMBH sekamas standartinis plonas akrecinis diskas. Akretuojama medžiaga glotniai padalijama per diską sudarančius žiedus priklausomai nuo judesio kiekio momento bei dalelės sklaidimo funkcijos. Toks akrecinio disko modelis leidžia atsikratyti laisvai parenkamo klamos laiko skalės parametro, naudojamo dirbtinai lėtinant akrecijos spartą ir leidžia detalčiau sekti akrecinio disko parametrų kitimą laike ir kartu – jo kuriamą grįžtamąjį ryšį.

Pagrindinė α -disko paviršinio tankio Σ evoliucijos lygtis [1]:

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial t} = \frac{3}{R_i} \frac{\partial}{\partial R} \left\{ \frac{(R_i - R_g)^2}{\sqrt{R_i}(R_i - 3R_g)} \cdot \frac{\partial}{\partial R} \left(\nu \Sigma R_i^{3/2} \frac{R_i - \frac{1}{3}R_g}{(R_i - R_g)^2} \right) \right\} \quad (1)$$

Gaunama pritaikius potencialą [2]:

$$\phi = \frac{-GM_{\text{BH}}}{R_i - R_g} \quad (2)$$

Čia R_i , tai atstumas i -tojo žiedo iki sistemos centro, o R_g - Švarcšildo spindulys, o M_{BH} yra SMBH masė. Klampa apibrėžiama, kaip $\nu = \alpha c_s H$, kur c_s yra garso greitis, H yra disko aukštis, o $\alpha = 0.1$ [3]. Disko evoliucijai taikomas atskiras adaptyvus laiko žingsnių parinkimo kriterijus, sinchronizuojamas su pagrindiniu modeliu vykstant SMBH laiko žingsniams.

Akrecinio disko šviesis L gaunamas apskaičiavus ir susumavus kiekvieno iš diską sudarančių žiedų šviesį:

$$L(R_i) = 2 \int_{R_{\text{out}}}^{R_{\text{in}}} D(R_i) 2\pi R_i dR, \quad (3)$$

kur $D(R_i)$, tai klampioji disipacija pavišiaus vienetui apskaičiuojama pagal:

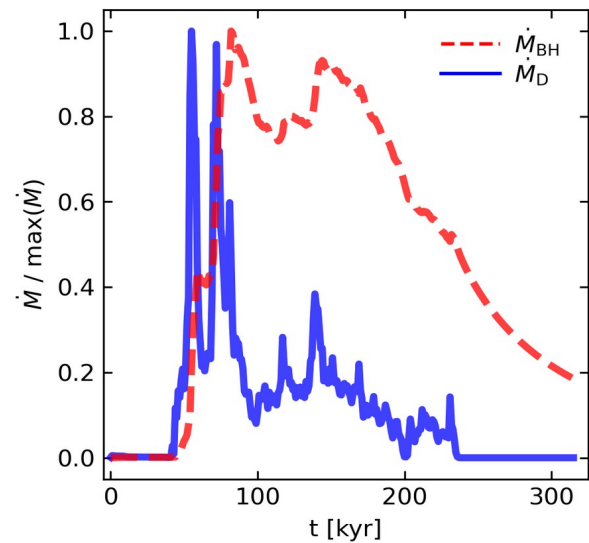
$$D(R_i) = \frac{3}{8} \frac{GM_{\text{BH}} \dot{M}}{\pi R_i^{5/2}} \frac{R_i - R_g}{(R_i - R_g)^2} \cdot \left[\frac{R_i^{3/2}}{R_i - R_g} - \frac{3^{3/2} \sqrt{R_g}}{2} \right] \quad (4)$$

čia \dot{M} - juodosios skylės akrecijos sparta. Akrecinis

diskas išspinduliuoja apie 6.25% SMBH prisijungtos medžiagos ramybės masės energijos.

Metodą testavome modeliuodami susidūrimą tarp dujų žiedo ir įkrentančių dujų debesies į Paukščių Tako centrą panašioje aplinkoje pasitelkę Gadget-3 [4] hidrodinaminį kodą. Pradinė sistema sudaryta iš kelių dalių: 1) Centrinės SMBH ($M_{\text{BH}} = 4 \times 10^6 M_{\odot}$); 2) Toro formos dujų žiedo ($M_z = 10^5 M_{\odot}$); 3) Dujų debesies ($M_D = 10^5 M_{\odot}$); 4) Foninių dujų ($M_F = 2 \times 10^3 M_{\odot}$). Išorinis akrecinio disko kraštas nustatytas ties $r_{\text{out}} = 0.01$ pc.

Po susidūrimo pradinis toro formos žiedas išardomas; per ~200 tūkst. m. ~30% pradinės dujų masės prijungiama prie akrecinio disko. Subraiškinis akrecinis diskas maitinamas netolygiai, tačiau SMBH pasiekia daug tolygesnis dujų srautas, todėl maitinimas vyksta ilgesnį laiką. Per aktyvumo epizodą į aplinkinę ISM paskleidžiama $\sim 10^{56}$ erg energijos – tai lemia karštų burbulų iškilimą statmenai naujai susiformavusio disko/žiedo plokštumai.



1 pav. Normuotų SMBH (raudona) ir akrecinio disko (mėlyna) maitinimo spartų kitimas laike.

Reikšminiai žodžiai: akrecija, juodoji skylė, akrecinis diskas.

Literatūra

- [1] J. E. Pringle, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **19**, 137–162, (1981).
- [2] B. Paczynsky and P. J. Wiita, Astron. Astrophys., **500**, 203–211, (1980).
- [3] N. I. Shakura and R. A. Sunyaev, Astron. Astrophys., **24**, 337–355, (1973).
- [4] V. Springel, Mon. Not. R. Astron. Soc, **364**, 1105–1134, (2005).