

Galaktikų aktyvumo istorijos atkūrimas pasitelkiant neuroninius tinklus

Recovering the activity history of galaxies using neural networks

Kastytis Zubovas^{1,2}, Jonas Bialopetravičius², Monika Kazlauskaitė²

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius

²Astronomijos observatorija, Vilniaus universitetas, Saulėtekio al. 3, 10257 Vilnius

kastytis.zubovas@ftmc.lt

Supermasyvios juodosios skylės (SMBH) yra reikšmingi galaktikų evoliucijos komponentai. Jų aktyvumo epizodai, kurių metu SMBH aplinkoje išskiriamas šviesis nustelbia visos galaktikos žvaigždžių spinduliuotę, gali kardinaliai pakeisti dujų pasiskirstymą galaktikoje, paskatinti ar sustabdyti žvaigždėdarą. Pagrindinis poveikio galaktikai būdas yra dujų tėkmės, kurių greitis gali viršyti 1000 km/s, o masės pernašos sparta – 1000 $M_{\text{Sol}}/m.$, kur M_{Sol} yra Saulės masė.

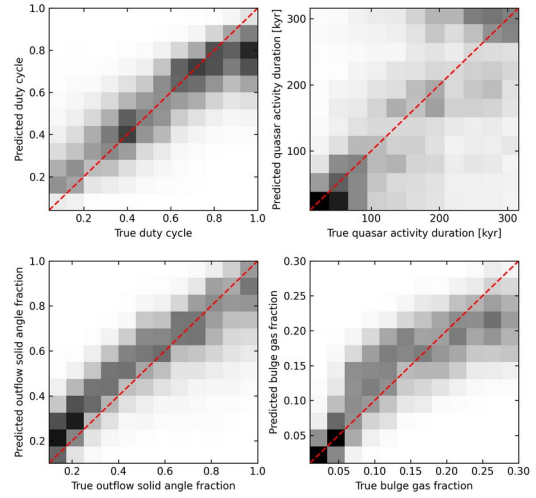
Geriausias modelis, paaiškinantis stebimų tėkmių savybes, yra energijos varomų tėkmių modelis [1]. Pagal jį, nuo SMBH supančio akrecinio disko pučiamas reliatyvistiniais greičiais judančių dujų srautas. Pasiekęs tarpžvaigždines dujas, srautas staigiai sulėtėja, įkaista ir ima stumti masyvų dujų burbulą. Net ir idealizuotos analitinės prognozės, gaunamos pritaikius šį modelį, gerai atitinka stebėjimų duomenis [2].

Gausėjant tėkmių stebėjimų duomenims, pastebima reikšminga jų sklaida aplink analitiškai prognozuojamas vertes [2,3]. Tą galima paaiškinti, į modelį įtraukus AGN šviesio kitimą aktyvumo epizodo metu bei tėkmės plitimą dėl inercijos, pasibaigus aktyvumo epizodui. Tėkmės savybės kinta per ~1 mln. m. dinaminę laiko skalę, tuo tarpu AGN epizodai trunka <0,1 mln. m. Taigi stebimą tėkmę beveik neabejotinai išpūtė keletas AGN epizodų. Jei šie epizodai buvo glaudžiai išsidėstę laike, matoma energinga tėkmė, tuo tarpu galaktikos, kuriose AGN švietė su ilgais pertrūkiais, turi silpnas tėkmes, net jei šiuo metu AGN šviesis yra didelis [4].

Mūsų tikslas yra išsiaiškinti, ar įmanoma stebimas tėkmių savybes panaudoti kaip įrankį atkurti galaktikos aktyvumo istoriją per pastaruosius ~1 mln. metų. Pasitelkėme idealizuotą skaitmeninį modelį, leidžiantį efektyviai apskaičiuoti sferiškai simetriškų tėkmių evoliuciją, žinant AGN šviesio priklausomybę nuo laiko. Sugeneravome 10^4 parametrų rinkinių, apimančių įvairias galaktikų bei SMBH mases, aktyvumo epizodų trukmes, atsikartojimo dažnumus, dujų kiekio galaktikoje bei tėkmės nesferiškumo vertes. Gautus išmatuojamus tėkmių parametrus – spindulį, greitį, masės pernašos spartą, taip pat AGN šviesį ir SMBH masę – panaudojome apmokyti neuroninį tinklą. Naudotas trijų sluoksnių neuroninis tinklas su 18,000 laisvų parametrų. Šie parametrai optimizuoti per 12 mokymo epochų naudojant Adam algoritimą.

Tinklą patikrinome naudodami dalį sugeneruotų duomenų, kurie nebuvo naudojami apmokymui.

Galaktikos aktyvumo parametrų atkūrimo rezultatai pateikti 1 pav. Kaip matome, tinklas gerai atkuria aktyvumo epizodų atsikartojimo dažnumą (angl. *duty cycle*), dujų kiekio galaktikoje ir tėkmės nesferiškumo parametrus; vieno aktyvumo epizodo trukmė atkuriamą kiek prasčiau.



1 pav. Neuroniniu tinklu atkuriamų galaktikos aktyvumo parametrų verčių (vertikali ašis) palyginimas su realiomis (horizontali ašis). Pirmoji diagrama – aktyvumo atsikartojimo dažnumas, antroji – vieno epizodo trukmė, trečioji – tėkmės nesferiškumas, ketvirtoji – dujų kiekis galaktikoje.

Šiuo metu tobuliname neuroninį tinklą, siekdami dar pagerinti parametrų atkūrimą. Tinklą ketiname pritaikyti kelių dešimčių realių tėkmių duomenims, taip atkursime šių galaktikų aktyvumo istorijos per pastaruosius ~1 mln. metų parametrus.

Tyrimai finansuojami LMT lėšomis, projekto nr. MIP-20-43.

Reikšminiai žodžiai: galaktikų evoliucija, juodosios skylės, aktyvios galaktikos.

Literatūra

- [1] K. Zubovas ir A. King, *Astrophys. J.* **745**, 34 (2012).
- [2] F. Fiore, C. Feruglio, F. Shankar ir kt., *Astron. Astrophys.* **601**, 143 (2017).
- [3] A. Marasco, G. Cresci, E. Nardini, *Astron. Astrophys.* **644**, 15 (2020).
- [4] K. Zubovas, E. Nardini, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **498**, 3633 (2020).