

# Stacionarios eulerinės gardelės panaudojimas greitai grįžtamojo ryšio injekcijai IDH aktyviųjų galaktikų modeliuose

## A fast grid-based feedback injection method in SPH AGN simulations

Matas Tartėnas<sup>1</sup>, Kastytis Zubovas<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Fundamentinių tyrimų skyrius, Savanorių pr. 231, LT-02300, Vilnius

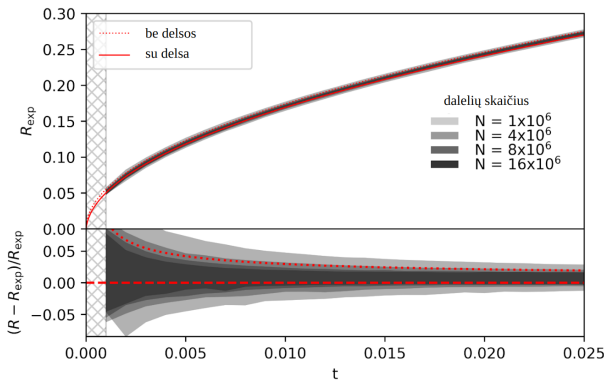
<sup>2</sup>Vilniaus universitetas, Astronomijos observatorija, Saulėtekio al. 3, LT-10257, Vilnius

[matas.tartenas@ftmc.lt](mailto:matas.tartenas@ftmc.lt)

Galaktikų ir galaktikų centrų mastelius sieja supermasyvių juodųjų skylių (SJS) kuriamas grįžtamasis ryšys (GR) [1]. Šis epizodiškas galaktikos aktyvumas per ilgą laiką visoje galaktikoje sumažina žvaigždėdarą, tačiau yra užuominų, kad aktyvaus galaktikos branduolio aplinkoje žvaigždėdara gali ir išaugti. Tam, kad teisingai interpretuotume vis gausesnius galaktikos centrų stebėjimus reikalingi ir vis realistiškesni modeliai, nuosekliai įtraukiantys įvairius reikšmingus fizikinius procesus.

Šiuo metu grįžtamąjį ryšį išplėstų dalelių hidrodinamikos (IDH) modeliuose galime įtraukti keliais būdais. Paprasčiausias - sferinė energijos injekcija [2]. Šis intuityvus metodas išdalina per laiko žingsnį sukaupią energiją artimiausioms šaltinio kaimynėms. Deja, metodas nėra tinkamas, kai tyrimui svarbu detali dujų, supančių šaltinį, struktūra ar kai jų išsidėstymas smarkiai netolygus [3]. Plačiai naudojamas ir sudėtingesnis, diskrečiais energijos paketais (DEP) grįžtas metodas [4]. Jis yra gerokai lankstesnis - leidžia atsižvelgti į galimą GR sklidimo greitį ar netolygumą. Tačiau jis taip pat reikalauja gerokai daugiau skaičiavimo resursų.

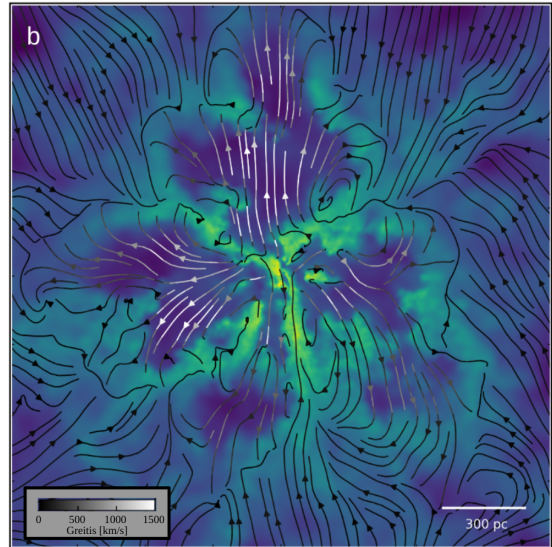
Mes sukūrėme alternatyvų greitą GR injekcijos metodą *gridWind*, kuriame neprarandamas DEP suteikiamas lankstumas, tačiau gerokai sumažinamas skaitmeninių resursų poreikis. *gridWind* metodo esmė - SJS (ar kito šaltinio) kuriamo vėjo propagavimas radialiai sferine gardele išorės kryptimi pastoviu greičiu  $v \sim 0.1c$ . Vėjo-dalelės sąveikos srityje dalelei pridėdama energija ar judesio kiekis proporcingas tos dalelės indėliui į bendrą tankio lauką.



1 pav. sferinės erdmės plitimas dėl judesio kiekio forma įvedamo grįžtamojo ryšio homogeniškoje aplinkoje. Brūkšninė raudona linija rodo analitinį sprendinį įskaičius baigtinį vėjo greitį [4].

Naudojant šį metodą mes galime keisti vėjo parametrus priklausomai nuo laiko ar krypties, pavyzdžiui, sekti kūgiškus vėjo gūsius sklindančius iš plokštumos kryptį keičiančio akrecinio disko.

Šiuo metu *gridWind* metodas implementuotas hibridiniame n-kūnų/IDH kode *Gadget-3* [5]. Pav. 1 pavaizduotas judesio kiekio GR palaikomos sferos plėtimasis homogeniškoje dujose. Naudodami *gridWind* metodą gauname rezultatus, palyginamus su DEP [4]. Be to, metodas leidžia naudoti didesnę dalelių skaičių, negu būtų praktiška naudojant DEP dėl milžiniško sąveikų skaičiaus. Nors naudojama stacionari gardelė, metodas geba atkurti sudėtingas dujų struktūras, bei atkuria realistiškas tėkmes aktyvaus galaktikos branduolio (AGB) modelyje atvaizduotame tankio žemėlapyje pav. 2.



2 pav. AGB sukuriama tėkmė po 1 mln. trukusio aktyvumo epizodo. Netolygumai dėl turbulencijos.

*Reikšminiai žodžiai: galaktika, aktyvūs galaktikų branduoliai, hidrodinaminiai modeliai, skaitiniai metodai*

### Literatūra

- [1] M. Gaspari, F. Tombesi and M. Cappi, *Nat. Astron.* **4**, 10 (2020)
- [2] V. Springel, T. Di Matteo and L. Hernquist, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **361**, 776 (2005)
- [3] K. Zubovas, M. A. Bourne and S. Nayakshin, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **457**, 496 (2016)
- [4] S. Nayakshin, S. Cha and A. Hobbs, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **397**, 1314 (2009)
- [5] V. Springel, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **364**, 1105 (2005)