

## Anglis ir azotas: raktai į žvaigždžių evoliuciją

### Carbon and nitrogen: keys to stellar evolution

Renata Minkevičiūtė<sup>1</sup>, Arnas Drazdauskas<sup>1</sup>, Gražina Tautvaišienė<sup>1</sup>, Nadege Lagarde<sup>2</sup>, Barkha Bale<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Vilniaus universitetas, Saulėtekio al. 3, LT- 10257 Vilnius

<sup>2</sup>Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux, Université Bordeaux, CNRS, B18N, Allée Geoffroy Saint-Hilaire, 33615

Pessac, France

[renata.minkeviciute@tfai.vu.lt](mailto:renata.minkeviciute@tfai.vu.lt)

Tiek mūsų Galaktikos, tiek žvaigždžių evoliucijos tyrinėjimai yra sudėtingas procesas. Cheminė žvaigždžių sudėtis gali atskleisti jų susidarymo galaktikoje vietas ypatybes ir, kas yra taip pat svarbiau – žvaigždžių viduje vykstančius procesus. Tyrinėdami žvaigždės cheminę sudėtį mes galime pažvelgti tik į jos atmosferą, tačiau ji nėra izoliuota nuo likusių žvaigždės sluoksnių, ir bėgant laikui stebimi tam tikrų cheminių elementų gausų pokyčiai.

Yra žinoma, kad Saulės tipo žvaigždei tampant raudonąja milžine jos viduje išsiplečia konvekcinius sluoksnius, apjungiantis vidinius ir išorinius sluoksnius. Tokiu būdu žvaigždės gyvavimo metu šerdyje susintetinti elementai gali būti perkelti į jos išorinius sluoksnius. Dar visai neseniai buvo manoma, kad raudonųjų milžinių stadijoje toks procesas įvyksta vieną kartą. Tačiau stebėjimų duomenys rodo, kad yra papildomi procesai, iškeliantys cheminius elementus iš giluminių žvaigždės sluoksnių į paviršių.

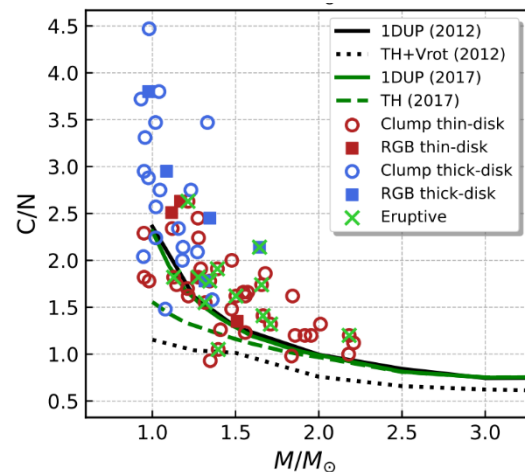
Anglis ir azotas yra pagrindiniai elementai, kurie gali atskleisti žvaigždžių maišymosi procesų paslaptis. Šie elementai šerdyje dalyvauja CNO reakcijose, kurių metu vienas elementas tampa kitu (pavyzdžiui  $^{12}\text{C}$  elemento mažėja, o  $^{14}\text{N}$  – daugėja). Šie pokyčiai raudonųjų milžinių sekoje pasireiškia pakintančia fotosferos sudėtimi, ir tai priklauso nuo žvaigždės masės ir metalingumo – maišymosi efektai stipresni mažos masės nemetalingose žvaigždėse.

Šiame darbe naudojami duomenys, gauti Šiaurės optiniu teleskopu (Nordic Optical Telescope), esančiu La Palmos saloje. Užregistruoti aukštos skiriamosios gebos ( $R=46000$ ) viso matomojo diapazono žvaigždžių spektrai leidžia tiksliai įvertinti žvaigždžių parametrus bei anglies ir azoto gausas žvaigždžių atmosferose. Tirtos žvaigždės pasirinktos iš Keplerio kosminės misijos stebėjimų lauko, kad būtų galima nustatyti tikslias žvaigždžių mases.

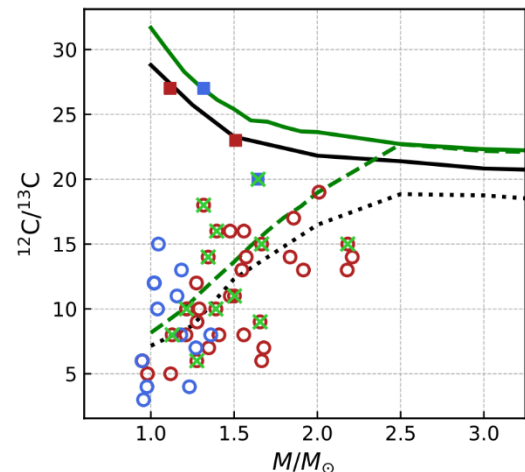
1 paveiksle pavaizduota anglies ir azoto santykio žvaigždės paviršiuje priklausomybė nuo žvaigždės masės. Paveiksle taip pat atvaizduoti dvejoji teoriniai modeliai iš [1] ir [2]: 1DUP – jei aktyvus tik minėtas vienintelis maišymosi epizodas, TH – jei vyksta papildomas termohalinis maišymasis, prasidedantis ties raudonosios milžinių sekos (RGB) šviesio mazgu, ir TH+Vrot – jei aktyvūs papildomi termohalinis ir sukimosi sukeltas maišymaisi. 2 paveiksle, vaizduojančiame anglies izotopų santykio priklausomybę nuo masės šie modeliai išsiskiria labiau.

Anglies izotopų santykių rezultatai patvirtina, kad klasikinis modelis yra nepakankamas aprašyti žvaigždžių,

esančių virš RGB šviesio mazgo (apskritimai) rezultatų. Reikalingi termohalinio maišymosi ar net ir sukimosi sukelti procesai. C/N rezultatams pagrįsti sukimosi sukeltas maišymasis įtakos neturi. Masės išsiveržimai (arba akrecija) žvaigždėse reikšmingai  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  ir C/N santykių nekeičia.



1 pav. Anglies ir azoto santykio priklausomybė nuo žvaigždės masės



2 pav. Anglies izotopų santykio priklausomybė nuo žvaigždės masės

*Reikšminiai žodžiai: žvaigždžių evoliucija, astrofotografija, raudonųjų milžinių seka.*

#### Literatūra

[1] N. Lagarde et al., A&A, 543, A108 (2012)

[2] C. Charbonnel et al., A&A, 605, A102 (2017)