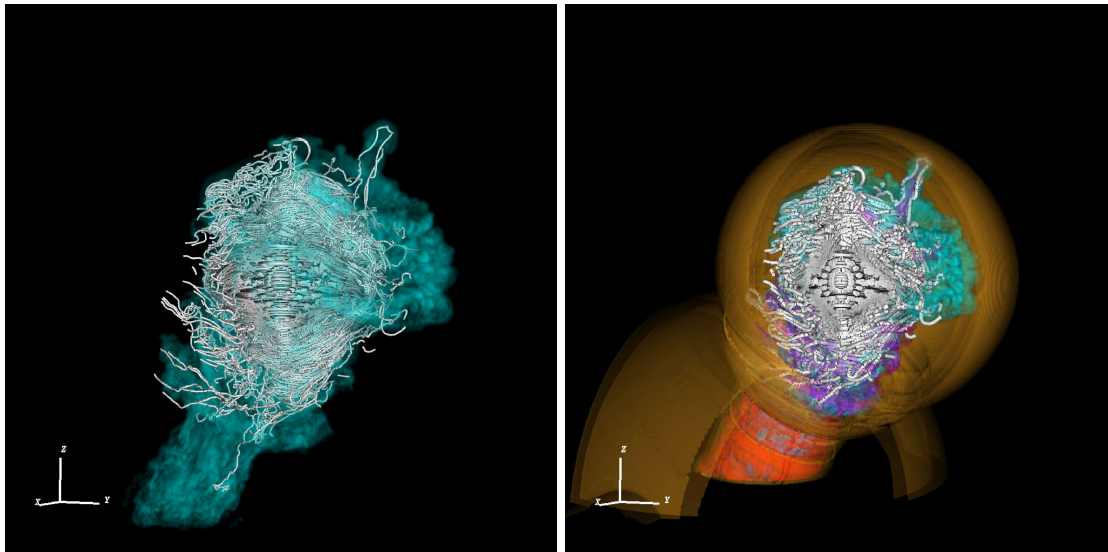


CAT

Noves simulacions suggereixen que les nebuloses de púlsars són influenciades per l'evolució de les seves estrelles progenitores

- Un estudi recent liderat per investigadors de l'ICE-CSIC mostra que la forma i les propietats d'emissió de les nebuloses de púlsars estan directament influïdes per la història evolutiva passada de les seves estrelles progenitores.
- L'equip va utilitzar simulacions 3D per modelar la nebulosa creada per un púlsar errant d'una estrella massiva, la qual va evolucionar i morir com a supergegant vermell.



Representació dels models magnetohidrodinàmics en 3D de nebuloses de vent de púlsar, considerats sense i amb els seus entorns complexos formats per la seva estrella progenitora abans de l'explosió. Els diversos colors destaquen la bombolla de vent estel·lar creada per l'estrella progenitora massiva del púlsar al llarg de la seva vida, així com els materials que conté. Els tubs blancs tracen les línies de camp magnètic en el vent del púlsar. Crèdits: Meyer, D. M.-A. et al. (2025). 3D magnetohydrodynamic simulations of runaway pulsars in core-collapse supernova remnants. A&A, 696, L9.

Els púlsars són un tipus d'estrelles de neutrons amb una rotació molt ràpida i camps magnètics forts que es formen a partir d'una explosió de supernova. Quan una explosió de supernova és asimètrica, pot donar en pulsar un 'impuls' fort, accelerant-lo a velocitats supersòniques. A mesura que el púlsar es mou, la nebulosa formada pels seus vents interactua amb l'entorn que

l'envolta, alterant significativament la seva forma. Un nou estudi, liderat per l'Institut de Ciències de l'Espai (ICE-CSIC), publicat en una carta a l'editor de la revista *Astronomy & Astrophysics*, demostra que la forma i propietats d'emissió d'aquestes nebuloses estan directament influïdes per l'evolució històrica passada de la seva estrella progenitora.

Inicialment, el púlsar travessa els romanents en expansió de la supernova, i després es troba amb diferents capes de gas i pols expulsades durant l'evolució de l'estrella progenitora. L'equip va modelar la nebulosa creada per un púlsar expulsat a partir d'un supergegant vermell utilitzant simulacions magnetohidrodinàmiques tridimensionals amb el codi PLUTO, un codi numèric per a fluids astrofísics computacionals. És un programari àmpliament utilitzat que permet simular plasma astrofísic en general i els d'entorns estel·lars en particular.

L'equip, format per investigadors de l'ICE-CSIC i de l'Observatori de París (França), va utilitzar el Superordinador MareNostrum al Barcelona Supercomputer Centre (BSC) i el superordinador Lise, un sistema informàtic d'alt rendiment operat per la North German Supercomputing Alliance (HLRN, per les seves sigles en alemany). El processament dels models finals va portar 500.000 hores CPU per a cadascun.

"Aquestes simulacions, les més intenses de la meua carrera en l'àmbit computacional, mostren que els camps de l'evolució d'estrelles massives i la física de púlsars estan intrínsecament lligats, cosa que obre un camí ampli per a l'exploració", diu Dominique Meyer, investigador postdoctoral de l'ICE-CSIC.

Aquest estudi demostra que les propietats i les aparences físiques del vent de les nebuloses que es formen al voltant de púlsars joves que es mouen ràpidament depenen en gran manera de la història de l'evolució estel·lar passada de la seva estrella progenitora. Els nous resultats en 3D mostren que la història dels progenitors s'ha de tenir en compte definitivament per delimitar millor els ambients dels púlsars. Fins ara, aquest element ha estat ignorat en els estudis científics.

"Mai s'havia considerat la història estel·lar sobre l'entorn de la nebulosa, ja que s'assumien, com a màxim, densitats fixes i constants en el medi interestel·lar. No obstant això, el que la nebulosa troba quan col·lideix amb el medi és significativament dependent de la totalitat de la història de l'estrella progenitora, cosa que afecta en última instància a la seva morfologia. Necessitem maneres de bregar amb aquests efectes d'una manera computacionalment efectiva", explica Diego F. Torres, professor investigador de la Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA) a l'ICE-CSIC i a l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC).

Nebuloses de vent de púlsar

Els púlsars es troben entre les possibles etapes evolutives finals de les estrelles massives. Un púlsar també té vent i partícules carregades que formen una nebulosa al seu voltant: les nebuloses de vent púlsar. L'estructura de l'àrea que l'envolta limita i dona forma a la nebulosa, doblegant els seus raigs laterals cap a l'interior i donant-li una forma d'arc. Això s'ha observat en púlsars, com ara: PSR J1509–5850, situat a uns 12.000 anys llum de la Terra, que va generar una llarga cua d'emissió de raigs X darrere seu; i Geminga, a uns 500 anys llum de la Terra, que té una estructura de partícules llarga i estreta directament darrer i esteles arquejades de partícules que abasten una distància de mig any llum.

"El fascinant d'aquest treball és la possibilitat de descobrir fins a quin punt l'evolució de l'estrella massiva influeix en els entorns dels púlsars a través del vent de la nebulosa formada posteriorment. I això malgrat que les estrelles massives expulsessin els vents més forts milions d'anys abans d'extingir-se com a supernoves", explica Meyer. Aquesta investigació demostra que no només el moviment ràpid del púlsar dona forma a la nebulosa, com es creia fins ara, sinó també la manera com va viure el seu ancestre massiu.

Per tant, els resultats obtinguts impliquen la necessitat de reconsiderar les simulacions numèriques de nebulosa de vent púlsar realitzades fins ara, com les modelades de la nebulosa del Cranc (l'exemple més famós d'una nebulosa de vent púlsar), així com una revisió de les interpretacions actuals d'observacions de nebuloses de vent púlsar i restes de supernova plerionics (una nebulosa alimentada pel vent relativista del seu objecte compacte central en rotació).

Els resultats mostrats en l'estudi uneixen el camp de l'evolució estel·lar d'estrelles massives juntament amb el camp de les nebuloses del vent púlsar, deixant la porta oberta a noves possibilitats d'investigació. Per exemple, estudiant la història estel·lar de les nebuloses del vent púlsar històriques com la nebulosa de Gemina o la nebulosa del Cranc.

"El benefici d'aquest model pilot és enorme, ja que planteja la necessitat d'una revisió completa del coneixement sobre les nebuloses de vent de púlsar", afegeix Meyer.

Més informació

Meyer, D. M.-A. et al., incl. Torres, D. F. Torres (2025). *3D magnetohydrodynamic simulations of runaway pulsars in core-collapse supernova remnants*. A&A, 696, L9.
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202452991>

Contacte

Investigador de contacte

Dominique M.-A. Meyer (ICE-CSIC)

meyer@ice.csic.es

Oficina de Comunicació i Divulgació de l'ICE-CSIC

Alba Calejero

communication@ice.csic.es