

# Astrofísica de estrellas de neutrones: simulando plasma ultradenso y caliente

## Objetivo del proyecto

El objetivo es el cálculo de las propiedades termodinámicas de plasmas astrofísicos ultradensos y su enfriamiento anómalo través de la simulación computacional. Esto es de interés para estudiar las propiedades de presión y densidad de energía, así como coeficientes de transporte. También es posible visualizar el ordenamiento de fases de la materia a medida que van disipando calor y enfriándose.

## Participantes del proyecto

GIR Astrofísica nuclear de la Universidad de Salamanca, [www.usal.es](http://www.usal.es)

SCAYLE, Supercomputación Castilla y León (España), [www.scayle.es](http://www.scayle.es)

**Ejecución:** 2023 a 2027.

## Financiación del proyecto

Proyecto de la Junta SA101P24 y SA091P24 publicados en resolución por la ORDEN EDU/841/2024, de 27 de agosto, por la que se resuelve la convocatoria de subvenciones del programa de apoyo a proyectos de investigación en ciencia aplicada a iniciar en el año 2024, cofinanciadas por

el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Proyecto PID2022-137887NB-100 financiado por Orden de 30 de diciembre de 2022 por la que se aprueba la convocatoria 2022 de ayudas a «Proyectos de Generación de Conocimiento» y a actuaciones para la formación de personal investigador predoctoral asociadas a dichos proyectos.

## Líder del proyecto

GRUPOS DE ASTROFÍSICA NUCLEAR de la Universidad de Salamanca lidera este estudio, pionero a nivel europeo a través de técnicas de computación eficiente en sistemas de muchas partículas. Asimismo parte de sus integrantes pertenecen a la UIC 232.

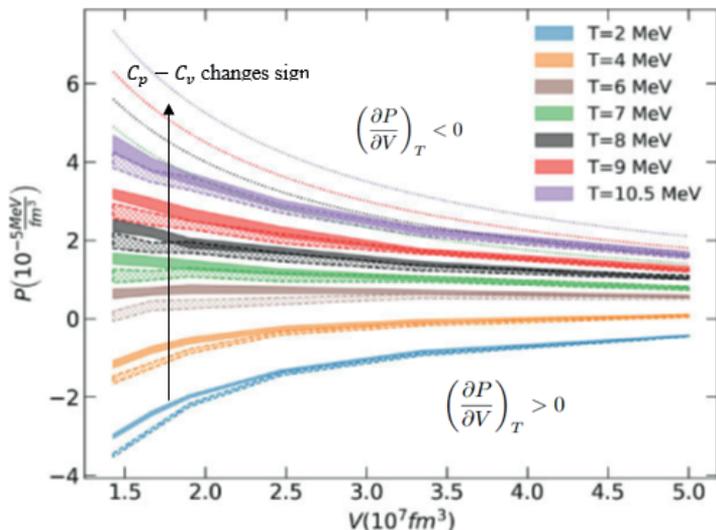


Fig1. tomada del artículo Barba-González, Albertus and Pérez-García, MNRAS 528, 3498-3508 (2024) donde se muestra presión frente a volumen a diferentes temperaturas para las muestras de plasma simuladas en la colectividad NVT. La relación de Mayer,  $C_p - C_v$  cambia de signo a medida que el sistema ultradenso sufre un cambio de fase de líquido a gas.

## Funciones de SCAYLE

Los recursos de SCAYLE han permitido acceso a máquinas con un número de hilos de computación medio-alto y así poder simular sistemas con números de partículas muy alto. Esto es necesario para poder estudiar las propiedades de sistemas realistas físicos.

De este modo, se consigue reducir el tiempo de ejecución respecto a otros sistemas computacionales tradicionales y no eficientes.

## Justificación del proyecto

Las propiedades de la materia ultradensa a temperatura finita (no nula) solo está al alcance de las simulaciones computacionales hoy en día. No es posible producirlo en laboratorio.

Nuestro proyecto realiza este estudio a través de simulaciones computacionales con códigos de dinámica molecular. Las partículas cuya dinámica simulan son iones que están inmersos en un mar

electrónico neutralizante. Esto es de interés en excitaciones mecánicas en astrofísica como las colisiones de estrellas de neutrones o vibraciones de su corteza. Se simulan con interacciones entre partículas con potenciales de tipo Yukawa más realistas que lo habituales de Coulomb y considerando tamaño iónico finito (no puntual). Se obtienen las cantidades termodinámicas de interés (presión, energía) y tensor de esfuerzos. A partir de estas cantidades es posible visualizar la distribución espacial del sistema en diferentes estados (líquido/sólido/gas) y cómo se enfría si es dejado evolucionar libremente. Aparecen entonces comportamientos descritos por ecuaciones de tipo Langevin. Además, es posible obtener los coeficientes de transporte: constante de difusión, conductividad térmica, eléctrica, iónica, coeficiente de transporte de masa, viscosidad de cizalladura en sistemas realistas de forma microscópica. Esto es crítico para poder determinar la viabilidad de la observación de ondas gravitacionales si son emitidas en estos eventos.

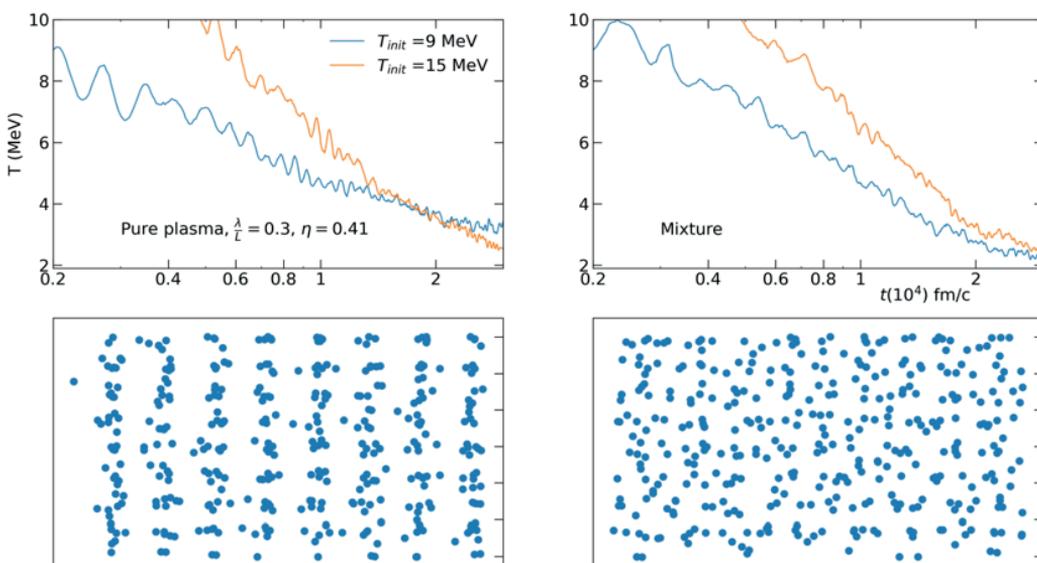


Fig 2. Plasmas en enfriamiento frente al tiempo de simulación para un sistema de una componente iónica (izquierda) y mezcla (derecha). Debajo se muestran las configuraciones espaciales para  $t=2e4$  de tipo ordenado (izquierda) y red (derecha). Imagen tomada de Barba, Albertus y Pérez García, aceptado en MNRAS (2025).