

Resultados destacados. En esta tesis doctoral se ha estudiado la influencia de los campos magnéticos sobre las propiedades observacionales y la evolución a largo término de las estrellas de neutrones (ENs) aisladas, las cuales constituyen los imanes más potentes del universo y albergan en su interior condiciones físicas extremas.

Para ello, hemos desarrollado y analizado los modelos más actuales sobre la *evolución magnética y térmica* en 2D de las ENs durante el primer millón de años de vida mediante simulaciones numéricas. Este estudio nos sitúa a la vanguardia de la investigación en este campo. Nuestro código numérico es el primero capaz de calcular consistentemente el acoplamiento entre el campo magnético y la temperatura, incluyendo los importantes efectos del término Hall en la corteza de la EN. En el modelo de EN considerado se ha implementado también la microfísica necesaria (calor específico, conductividad, emisividad de neutrinos) de manera consistente. Las simulaciones realizadas para este estudio representan, desde el punto de vista computacional, un desafío, ya que requieren un tratamiento numérico específico que hemos tenido que desarrollar al ir solventando los problemas numéricos que iban surgiendo. Para completar los modelos, hemos estudiado también las magnetosferas de ENs, proponiendo nuevas configuraciones posibles y estudiando su impacto en el reprocesamiento de la radiación térmica.

Paralelamente a este trabajo teórico, se han analizado los datos observacionales de rayos X de 40 ENs aisladas, aquellas en las que la radiación de origen térmico es patente y nos permite obtener información sobre la temperatura de la fotosfera de la estrella. Esta muestra es la más amplia jamás considerada para comparar los modelos teóricos de enfriamiento. Los resultados del análisis del espectro de rayos X de las 40 fuentes se han publicado on-line en la URL www.neutronstarcooling.info.

Los resultados obtenidos explican cuantitativamente las diferencias observacionales entre las ENs, como el periodo de rotación, el campo magnético, la luminosidad y la frecuencia de estallidos de rayos X. La comparación entre los modelos y los datos nos indican propiedades relativas a la parte interior de la corteza, de manera que una capa altamente resistiva es necesaria para explicar la fenomenología observada. Ésta puede ser una evidencia de la presencia de “pasta nuclear”, una fase de la materia a densidades algo inferior a la densidad de saturación de la materia nuclear.

Impacto de los resultados. Nuestro trabajo está demostrando ser un referente mundial para la comunidad internacional que estudia la fenomenología de las ENs. Los trabajos publicados en *Nature Physics* y revistas de prestigio internacional (*MNRAS*, *ApJ...*) han sido citados más de 100 veces en los escasos 1 o 2 años desde su publicación. Se nos ha invitado a dar conferencias invitadas sobre el tema en congresos internacionales de prestigio (ISSI Workshop, COSPAR).

Nuestros resultados no sólo ayudan a entender las propiedades de fuentes individuales, sino que permitirán entender mejor las propiedades físicas de las miles de ENs que se observan en radio, X y γ . A medida que nuevas ENs son descubiertas ($\sim 1-2/\text{año}$), o estudiadas con más detalle, nuestro modelo se está revelando cada vez más consistente.

Futura línea de actuación. Una aplicación directa de estos resultados será el estudio de síntesis de población de ENs, donde se tienen en cuenta la evolución magnética, térmica y rotacional de los púlsares junto con los sesgos observacionales, para tener una visión unificada de las $\gtrsim 2000$ ENs conocidas e inferir sus propiedades en el momento de su nacimiento.

Con respeto al código, en los próximos años, implementaremos mejoras principalmente en dos aspectos. Primero, realizaremos un estudio analítico y numérico de la evolución magnética del núcleo de las ENs, lo cual representa un problema abierto y de gran relevancia tanto para las observaciones como para la teoría fundamental de las ENs. En segundo lugar, pero no menos importante, desarrollaremos una versión 3D del código, lo cual puede permitir modelar de forma más realista las ENs y hacer una comparación más detallada con las observaciones.

Publicaciones.

1. Viganò D., Pons J. A. & Miralles J. A. (2011), *Force-free twisted magnetospheres of neutron stars*, A&A, **533**, A125
2. Viganò D., Pons J. A. & Miralles J. A. (2012), *A new code for the Hall-driven magnetic evolution of neutron stars*, Comput. Phys. Comm., **183**, 2042
3. Viganò D. & Pons J. A. (2012), *Central compact objects and the hidden magnetic field scenario*, MNRAS, **425**, 2487
4. Pons J. A., Viganò D. & Geppert U. (2012), *Pulsar timing irregularities and the imprint of magnetic field evolution*, A&A, **547**, A9
5. Rea N. et al. (2013), *The outburst decay of the low magnetic field magnetar SGR 0418+5729*, ApJ, **770**, 65
6. Pons J. A., Viganò D. & Rea N. (2013), *A highly resistive layer within the crust of X-ray pulsars limits their spin periods*, Nat. Phys., **9**, 431
7. Viganò D., Rea N., Pons J. A., Perna R., Aguilera D. N. & Miralles J. A. (2013), *Unifying the observational diversity of isolated neutron stars via magneto-thermal evolution models*, MNRAS, **434**
8. Perna R., Viganò D., Pons J. A. & Rea N. (2013), *The imprint of the crustal magnetic field on the thermal spectra and pulse profiles of isolated neutron stars*, MNRAS, **434**
9. Rea N. et al. (2013), *A strongly magnetized pulsar within grasp of the Milky Way's super-massive black hole*, ApJL, **775**
10. Rea N., Viganò D., Israel G. L., Pons J. A., Torres D. F. (2013), *3XMM J185246.6+003317: another low magnetic field magnetar*, ApJL, **781**
11. Camero A. et al. (2014), *Quiescent state and outburst evolution of SGR 0501+4516*, MNRAS, **in press**, doi:10.1093/mnras/stt2432
12. Viganò D., Perna R., Rea N., Pons J. A. (2014), *Anisotropic temperature as origin for spectral features in isolated neutron stars*, **submitted**

Proceedings de conferencias internacionales.

1. Viganò D., Parkins N., Zane S., Turolla R., Pons J. A. & Miralles, J. A. (2012), *The influence of magnetic field geometry on magnetars X-ray spectra*, “II Iberian nuclear astrophysics meeting”, held in Salamanca (Spain), 22-23 September 2011
2. Geppert U., Gil J., Melikidze G., Pons J. A. & Viganò D. (2012), *Hall drift in the crust of neutron stars - Necessary for radio pulsar activity?*, “Electromagnetic radiation from pulsars and magnetars”, held in Zielona Góra (Poland), 24-27 April 2012
3. Viganò D., Pons J. A. & Perna R. (2013), *Central compact objects in magnetic lethargy*, “Thirteenth Marcel Grossman meeting on general relativity”, held in Stockholm (Sweden), 1-7 July 2012