



Estudio del estado evolutivo del sistema binario que contiene al pulsar de milisegundos PSR J1227–4853

J. González¹, M. Echeveste¹, M.A. De Vito^{1,2} & O.G. Benvenuto^{1,2,3}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET–UNLP, Argentina

³ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina

Contacto / juliang1555@gmail.com

Resumen / El pulsar PSR J1227–4853 pertenece a un sistema binario que recientemente ha realizado una transición, pasando del estado de Sistema Binario de Baja Masa en Rayos X, en el que se observaba al sistema como fuente de rayos X, al estado de pulsar, en el que se observa al pulsar de milisegundos.

Este objeto es uno de los tres sistemas binarios eclipsantes conocidos que han realizado esta clase de transición. Todos ellos son miembros de la familia *redback*.

Utilizando nuestro código de evolución binaria, hemos hallado las características de un sistema binario interactuante que podría ser un posible progenitor del sistema que contiene a PSR J1227–4853.

Abstract / The pulsar PSR J1227–4853 belongs to a binary system which recently had made a transition from the Low Mass X-Ray Binary state, in which we observe the system as an X ray source, to a pulsar state, where we can see the millisecond pulsar.

This object is one of the three known eclipsing binary systems that have made this kind of transitions. All of them are members to the *redback* family.

Using our binary evolutionary code, we have found the characteristics of a close binary system that could be a possible progenitor of the system harboring PSR J1227–4853.

Keywords / binaries (including multiple): close — Stars: evolution — pulsars: individual PSR J1227–4853

1. Introducción

El pulsar PSR J1227–4853 se encuentra en un sistema binario que hasta hace poco tiempo se mostraba como una fuente de rayos X. En el año 2015, Roy et al. (2015) observaron un decaimiento en la emisión en rayos X, y detectaron la presencia del pulsar. Podemos entender este cambio en el marco de la evolución de sistemas binarios que presentan transferencia de masa entre sus componentes, conocidos como Sistemas Binarios Interactuantes (SBI). En este caso, el sistema binario está compuesto por una estrella de neutrones (EN) y una compañera que le provee del material que acreta a través del desborde de su lóbulo de Roche. Este material además lleva consigo momento angular, que acelera a la EN, propiciando así el rejuvenecimiento del pulsar. Este proceso se conoce como “reciclado del pulsar” (Alpar et al., 1982).

Cuando el material provisto por esta compañera alcanza la superficie de la EN, el sistema se muestra como una intensa fuente de rayos X. Este estado es el de “emisión en rayos X”. Si por algún motivo (que no discutiremos en este trabajo) cesa la acreción por parte de la EN, decae la luminosidad en altas energías y se puede detectar al pulsar en emisión de radio. Este es el “estado de pulsar”.

Actualmente se conocen tres sistemas que han cambiado de estado, pasando de estado de emisión en rayos X al de pulsar, o inversamente: PSR J1023+0038, co-

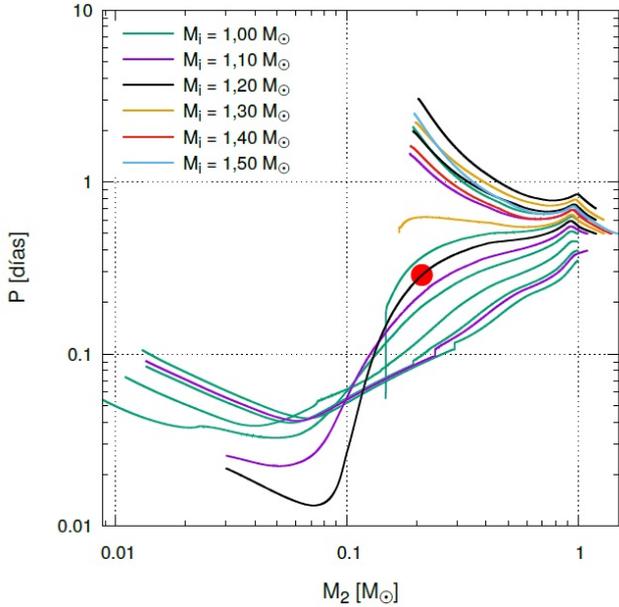
nocido como el “eslabón perdido” ya que fue el primero de estos objetos en el que se detectó esta transición, confirmando la teoría de reciclado de pulsares en SBI; PSR J1824–2452I, perteneciente al cúmulo globular NGC 6626 (M28); PSR J1227–4853, que es el objeto de estudio en este trabajo. Esto nos indicaría que el proceso de reciclado no es continuo, como se desprendía desde el modelo de evolución binaria estándar, sino que ocurre en ciclos.

Los tres sistemas que han realizado estas transiciones pertenecen a la familia *redback*. Estas binarias están compuestas por una EN receptora y una compañera donante que aún quema hidrógeno en su núcleo, con masas características $M_2 \sim 0.5 M_\odot$ (Roberts, 2013). Al igual que sus parientes, las *black widows*, presentan períodos orbitales (P) menores que 1 día. La diferencia más notable entre ambas familias radica en las masas características de las compañeras del pulsar. En las *black widows* son un orden de magnitud menor que en el caso de las *redback* ($M_2 \sim 0.05 M_\odot$), y son objetos que se encuentran en estado de degeneración. Además, han sufrido una importante etapa de ablación por parte del viento del pulsar, responsable de la bajísima masa de su compañera (ver Sección 2.). El primer objeto de la familia *black widow*, B 1957+20, fue hallado por Fruchter et al. (1988) en el año 1988.

La transición más reciente en este grupo fue observada en PSR J1227–4853, yendo del estado de emisor de rayos X al estado de pulsar (Roy et al., 2015).

Tabla 1: Parámetros observados para el sistema binario que contiene a PSR J1227–4853.

Parámetro	Valor
P	0.288 d
q	0.194
M_2 (mínima)	$0.211 M_{\odot}$


 Figura 1: Plano $M_2 - P$ para algunos de los cálculos evolutivos realizados en la búsqueda de un sistema binario que reproduzca el estado actual de PSR J1227–4853. El punto rojo representa dicho estado.

Combinando la amplitud de la velocidad radial proyectada para el pulsar, $K_1 = 50.622619464(1) \text{ km s}^{-1}$, con la amplitud de la velocidad radial proyectada de la compañera, $K_2 = 261(5) \text{ km s}^{-1}$ (de Martino et al., 2014), los autores restringen el valor del cociente de masas $q = M_2/M_P = 0.194(3)$. La función de masas para este sistema es $f = 0.00386973 M_{\odot}$. Tomando la inclinación propuesta por de Martino et al. (2014), $i \lesssim 73^\circ$, la masa de la compañera se encuentra en el rango $0.167 - 0.462 M_{\odot}$, mientras que para el pulsar el rango es $0.86 - 2.38 M_{\odot}$. El valor del período orbital del sistema es $P = 0.288 \text{ d}$, y el pulsar tiene un período de rotación $P_P = 1.686 \text{ ms}$.

Los datos observacionales característicos para este sistema, se presentan en la Tabla 1. El valor de la masa mínima se calcula considerando una inclinación de 90° y una masa para la EN de $1.35 M_{\odot}$.

2. Evaporación e Irradiación

La evaporación por el viento del pulsar produce una tasa de pérdida de masa extra del sistema, fundamental en el modelado de sistemas del tipo *black widow* (Stevens et al., 1992).

La irradiación sobre la estrella donante es producto de la luminosidad de acreción que libera la EN cuan-

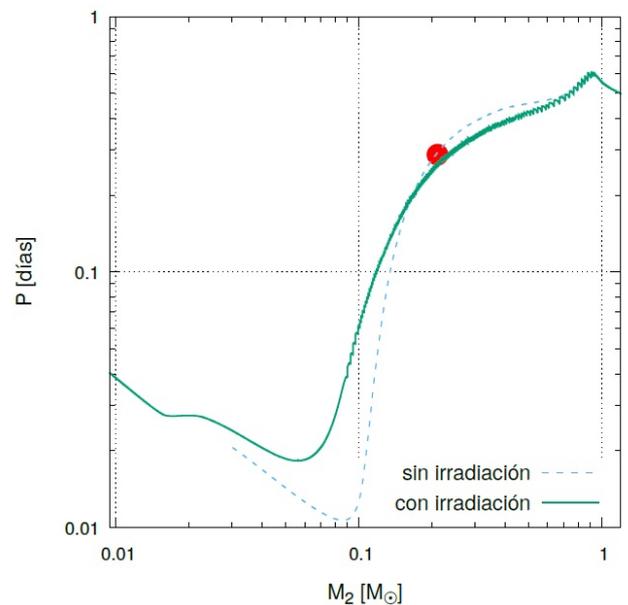
do cae sobre ella el material cedido por su compañera. Esto modifica la evolución de esta componente, y del sistema binario. Es importante considerar este efecto en el cálculo evolutivo de sistemas tipo *redback* (Hameury & Ritter, 1997). Los resultados más importantes que se obtienen cuando se considera la irradiación en los cálculos evolutivos son, por un lado, el estado de casi desborde del lóbulo de Roche de la estrella donante. Esto es observado en sistemas pertenecientes a la familia *redback*, en los que la estrella donante ocupa una importante fracción de su lóbulo de Roche. Por otro lado, y vinculado con este estado, los episodios de transferencia de masa cíclica, en lugar de un único y prolongado evento, como se encuentra en el modelo estándar de evolución binaria.

3. Búsqueda del progenitor

Utilizando nuestro código de evolución binaria (Benvenuto & De Vito, 2003) en el que consideramos los efectos de la irradiación de la EN sobre su compañera (Benvenuto et al., 2014) realizamos una serie de cálculos evolutivos hasta encontrar los parámetros iniciales correspondientes a un posible progenitor del sistema que mejor ajusten a los datos actuales.

En la Fig. 1 mostramos los recorridos evolutivos en el plano $M_2 - P$. Este plano es de fundamental importancia en los pulsares de milisegundo que se encuentran en sistemas binarios ya que allí se ubican, en regiones bien identificadas, las compañeras de estos objetos. Las enanas blancas de helio de baja masa, enanas blancas de carbono/oxígeno, las compañeras no degeneradas de la familia *redback* y objetos de masa muy baja en estado de degeneración en la familia *black widow* se ubican en zonas relativamente bien determinadas en este plano (ver, por ejemplo, Benvenuto et al. 2014).

Nuestra grilla consistió en un grupo de estrellas donantes con masas iniciales entre 1.00 y $1.50 M_{\odot}$ y meta-


 Figura 2: Plano $M_2 - P$ para los cálculos con y sin irradiación.

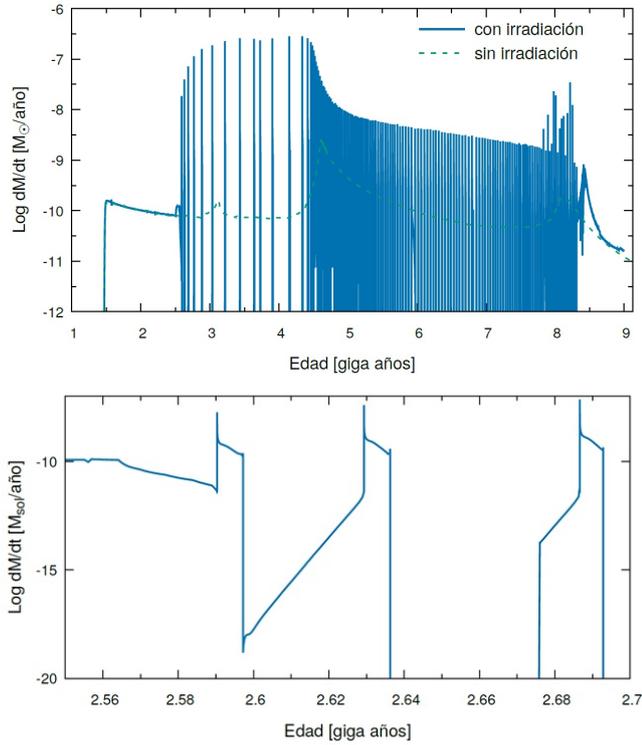


Figura 3: Panel superior: tasa de transferencia de masa en función de la edad para los cálculos con y sin irradiación. Panel inferior: ampliación de una región del panel superior.

licidad solar; los períodos orbitales iniciales se eligieron entre 0.25 y 0.75 días; la EN se consideró con una masa canónica como valor inicial. Como puede observarse en la Fig. 1, el mejor ajuste se obtuvo para un sistema masa inicial de la estrella donante de $1.20 M_{\odot}$ y período orbital inicial de 0.5 d.

En las Figs. 2 y 3 puede observarse el recorrido evolutivo en el plano $M_2 - P$ y la transferencia de masa cíclica, respectivamente, cuando se considera la irradiación en el cálculo que nos provee al mejor candidato para describir el estado actual de este sistema.

4. Conclusiones y trabajo a futuro

Hemos encontrado los parámetros iniciales que caracterizan a un posible progenitor para el sistema binario

que contiene a PSR J1227–4853, considerado en este trabajo. Los cálculos realizados indican que el sistema evolucionará hacia la región del plano $M_2 - P$ ocupada por la familia de las *black widows*.

La incorporación de la irradiación no modifica sustancialmente el camino evolutivo, sin embargo la modificación que esta introduce en la tasa de transferencia de masa resulta necesaria (aunque no suficiente) para explicar la transición que presentó este sistema desde un estado de emisor de rayos X a un estado de pulsar.

Si bien considerar la irradiación hace de nuestros modelos aproximaciones más realistas, y la transferencia de masa cíclica que resulta de ellos constituye una descripción más apropiada para los objetos de la familia *redback*, no alcanzan para describir las transiciones que van de estado de emisión en rayos X al de pulsar, o inversamente. Las observaciones muestran que estas transiciones ocurren en escalas de tiempo del orden de meses, mientras que los ciclos de transferencia de masa son de miles de años.

Consideramos que estos episodios de transiciones están vinculados a fenómenos de corta escala en el disco de acreción que rodea a la EN. Esperamos, en un futuro cercano, dedicarnos a estudiar el disco de acreción que rodea a la EN en *redbacks*.

Referencias

- Alpar M.A., et al., 1982, *Nature*, 300, 728
 Benvenuto O.G., De Vito M.A., 2003, *MNRAS*, 342, 50
 Benvenuto O.G., De Vito M.A., Horvath J.E., 2014, *ApJL*, 786, L7
 de Martino D., et al., 2014, *MNRAS*, 444, 3004
 Fruchter A.S., Stinebring D.R., Taylor J.H., 1988, *Nature*, 333, 237
 Hameury J.M., Ritter H., 1997, *A&AS*, 123, 273
 Roberts M.S.E., 2013, J. van Leeuwen (Ed.), *Neutron Stars and Pulsars: Challenges and Opportunities after 80 years, IAU Symposium*, vol. 291, 127–132
 Roy J., et al., 2015, *ApJL*, 800, L12
 Stevens I.R., Rees M.J., Podsiadlowski P., 1992, *MNRAS*, 254, 19P