



Primeras curvas de luz de estrellas variables ZZ Ceti observadas en el CASLEO

M.A. Corti^{1,2}, A.D. Romero³, A. Kanaan⁴, S.O. Kepler³, J.E. Costa⁵, A.H. Córscico^{1,6}
& L.G. Althaus^{1,6}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

² Instituto Argentino de Radioastronomía, CCT-La Plata (CONICET)

³ Instituto de Física - UFRGS (Brasil)

⁴ Departamento de Física - UFSC (Brasil)

⁵ Astrophysics Division - INPE (Brasil)

⁶ Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET - UNLP)

Contacto / MAC: mariela@fcaglp.unlp.edu.ar

Resumen / Las estrellas enanas blancas DA variables, ZZ Ceti, constituyen la clase de enanas blancas pulsantes más numerosa. Ellas poseen atmósferas dominadas por hidrógeno, y temperaturas efectivas características entre 10500 y 12300 K. Debido a la variación periódica de su brillo, podemos aplicar la astrosismología para extraer información de la estructura interna y las propiedades globales de estos objetos compactos y antiguos. Esta técnica consiste en comparar períodos de pulsación observados con períodos calculados a partir de modelos teóricos representativos. En este trabajo presentamos curvas de luz y transformadas de Fourier de las estrellas ZZ Ceti WD162813+122452 y BPM37093, obtenidas con el telescopio de 2.15 m de CASLEO. Se incluyen también datos observacionales y parámetros físicos derivados para algunas de las candidatas a ZZ Ceti observadas.

Abstract / DA white dwarf stars, ZZ Ceti, are the most numerous class among the pulsating white dwarfs. These stars have atmospheres dominated by hydrogen, and effective temperatures between 10500 and 12300 K. Because of the periodic variations of their luminosity, we can use asteroseismology to study the inner structure and the global properties of these compact and old objects. These techniques basically consists on the comparison between the observed pulsation periods and theoretical periods computed from representative models. In this work we present the first light curves and Fourier transforms of the ZZ Ceti stars WD162813+122452 y BPM37093, obtained with the 2,15 m telescope at CASLEO. Observational data and physical parameters derived for some ZZ Ceti observed candidates are also included.

Keywords / stars: evolution – (stars:) white dwarfs

1. Introducción

Durante su enfriamiento, las enanas blancas atraviesan varias bandas de inestabilidad en las cuales estas estrellas se tornan variables pulsantes. Todas ellas son multiperiodicas, con variaciones en brillo de 0.005 a 0.15 mag y períodos desde minutos hasta horas. Las pulsaciones son debidas a modos g (gravedad) no radiales y se observan desde la banda óptica hasta la ultravioleta.

Las enanas blancas pulsantes se clasifican según su valor de T_{eff} , $\log(g)$ y composición química de la atmósfera. En particular, las estrellas ZZ Ceti o DAV son enanas blancas variables con atmósferas ricas en hidrógeno (tipo espectral DA) y baja T_{eff} (entre 10800 – 12500 K). Constituyen las variables degeneradas más numerosas. Por otra parte, las estrellas GW Vir o DOV son enanas blancas variables deficientes en H (tipo espectral PG1159), que muestran atmósferas ricas en He, C y O y pulsan a altas T_{eff} . Una descripción más detallada sobre la evolución y pulsación de las estrellas enanas blancas puede ser consultada en los trabajos de Althaus et al. (2010) y Córscico (2015).

2. Datos

Las observaciones fueron obtenidas con el telescopio “Jorge Sahade” de 2.15 m del CASLEO, San Juan. Se trabajó con el detector TEK CCD (1024 × 1024 px), bineado 2 × 2 para disminuir su tiempo de lectura. Se alcanzó una resolución de 0.3”/pixel, el tamaño del cual, resultó en 26 × 26 μm y el campo de trabajo se redujo a 2' × 2'. Se empleó el filtro azul BG40.

Para la adquisición de datos en modo secuencial, se trabajó con el programa Roper. Finalmente, las imágenes se corrigieron aplicando bias y flat. Todo el análisis fue efectuado con el software IRAF. La Tabla 1 lista la identificación de cada estrella, fecha de la observación, tiempo de integración empleado para obtener cada dato, tiempo total que fue observada por cada noche y cantidad de puntos reunidos. Los parámetros físicos de las mismas tales como temperatura efectiva, logaritmo de su gravedad y tipo espectral, se presentan en las últimas tres columnas de la tabla.

3. Análisis

El trabajo de investigación que se ha desarrollado, se centró en la obtención y análisis de datos fotométricos provenientes de las estrellas candidatas a ZZ Ceti.

En primer lugar, se seleccionaron las estrellas candidatas a variables según su T_{eff} , resultando posible obtener dicho dato del espectro de cada una de ellas, publicado en el Sloan Digital Sky Survey (SDSS) (Kleinman et al., 2013).

En el transcurso del período de observación, comprendido entre el 4 y el 10 de abril de 2014, se realizó fotometría rápida, midiendo luz recibida de la estrella en intervalos de tiempo de pocos segundos, cada uno no mayor a 35 s. La elección de dicho tiempo, se debió a que el menor período de pulsación conocido es de 70 s y se deben obtener al menos 2 puntos por ciclo, en el transcurso de algunas horas. Luego, todas las imágenes fueron corregidas por bias y por flat. Los archivos fit correspondientes a la misma estrella, obtenidos en la misma noche, se alinearon con el objetivo de coincidir en un punto cero de coordenadas.

Luego, se realizó fotometría de apertura en todas las estrellas. Para estudiar a WD10530+174932, fue necesario trabajar con fotometría PSF (*Point Spread Function*), debido a que en el transcurso de las 3.17 horas de observación, el seeing del CASLEO fue empeorando, alcanzando un valor de $5''$. Las curvas de luz obtenidas para algunas de las estrellas son las mostradas en la Fig. 1, la Fig. 2 y la Fig. 3. Las mismas son el resultado de dividir la curva de luz de la estrella en estudio por la curva de luz de alguna de las estrellas del campo, elegida como estrella de comparación. De este modo, se eliminan las fluctuaciones atmosféricas, la emisión de la Luna, presencia de nubes, etc.

El paso final consiste en dividir a la curva de luz resultante por un polinomio de grado 3, debido a que el mismo es la función que mejor se corresponde con el comportamiento de la curva, para luego normalizarla.

Ahora, la curva de luz ya está preparada para aplicarle la Transformada Discreta de Fourier (TDF) de serie temporal de paso no constante y obtener con ello, un espectro de frecuencia versus amplitud. Que la TDF sea de paso *no* constante es muy importante para poder llevar a una misma curva de luz los puntos obtenidos de la estrella en el transcurso de varias noches de observación, esto implica, distintos períodos de tiempo.

Finalmente, se calcula un valor medio de amplitud $\langle A \rangle$ y se considera real al pico de emisión con intensidad superior a tres veces dicha amplitud media ($3\langle A \rangle$), cuya frecuencia corresponde al período de pulsación.

4. Resultados

Los resultados obtenidos hasta el momento son:

- La estrella WD095703+080504, clase espectral DA y candidata a ZZ Ceti, al igual que las estrellas WD141639+061425 y WD105300+174932, ambas de clase espectral PG1159 y candidatas a DOVs, NO muestran pulsaciones en sus curvas de luz.
- La estrella WD162813+122452 fue la PRIMERA estrella ZZ Ceti que se ha observado en el CASLEO.

En ella se midieron 4 períodos de pulsación: 835 s, 570 s, 508 s y 371 s (Figura 1b).

- La estrella BPM37093 fue la primera DAV muy masiva ($\gtrsim 1M_{\odot}$) en ser descubierta (Kanaan et al., 1992). Con los más de 1000 puntos reunidos para su curva de luz, resultó posible observar varios períodos de pulsación (Figura 4). Con las imágenes fotométricas de BPM37093 obtenidas en el CASLEO, se forma parte de un proyecto internacional en el cual el telescopio GEMINI Sur participa con las observaciones espectroscópicas en el rango visual.

5. Trabajo futuro

Los resultados mostrados aquí corresponden a las etapas iniciales de una campaña de observaciones de estrellas enanas blancas pulsantes, que se lleva a cabo entre Argentina y Brasil.

El proyecto apunta a aprovechar las capacidades instrumentales del CASLEO para observar, por un lado, numerosas enanas blancas con temperaturas efectivas de estrellas candidatas a ZZ Ceti, las cuales nunca han sido monitoreadas para detectar su variabilidad. Por otro lado, observar enanas blancas pulsantes ya conocidas, con el fin de detectar nuevos períodos de pulsación. Este último punto es crucial para poder llevar a cabo análisis astrosismológicos detallados de estas estrellas, lo cual constituye otro de los principales objetivos del proyecto.

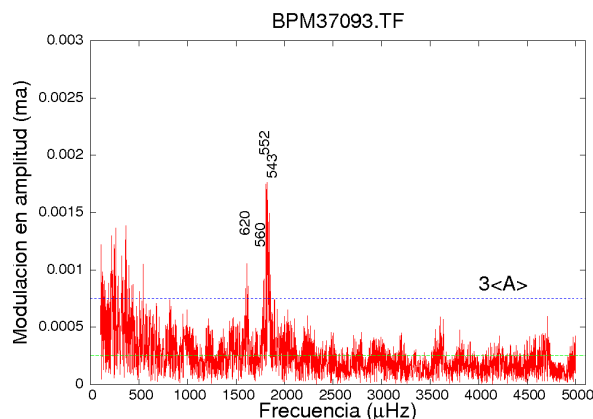


Fig. 4: TDF de las observaciones obtenidas las noches del 4-5-8 y 9 de abril, para la DAV masiva. Los períodos de pulsación son: 543; 552; 560 y 620 s.

Agradecimientos: MAC: *Visiting astronomer, Complejo Astronómico El Leoncito operated under agreement between the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina and the National Universities of La Plata, Córdoba and San Juan.* MAC, AHC y LGA agradecen al CONICET (PIPs 112-201201-00226 y 112-201101-00812).

Referencias

- Althaus L. G., et al., 2010, *A&A Rev.*, 18, 471
 Córscico A., 2015, *BAAA*, en prensa
 Kanaan A., et al., 1992, *ApJL*, 390, L89
 Kleinman S. J., et al., 2013, *ApJS*, 204, 5

Tabla 1: Datos observacionales y parámetros físicos de las estrellas observadas

ID	Fecha	Tpo.Int.	Tpo.Total	Número	T_{eff}	$\log(g)$	TE
	Abril 2014	(seg)	(horas)	puntos	(K)		
WD105300+174931	día 4	30	3.17	380	110000	7.00	PG1159
WD141639+061425	"4	30	2.94	352	120000	7.50	PG1159
WD162813+122452	"4	30	1.25	150	11242	8.38	DA
WD095703+080504	"6	30	1.88	112	11613	8.64	DA
BPM37093	"5	20	7.84	1411	11730	8.81	DA
BPM37093	"6	20	4.00	720	11730	8.81	DA
BPM37093	"8	20	5.00	900	11730	8.81	DA
BPM37093	"9	20	1.98	356	11730	8.81	DA

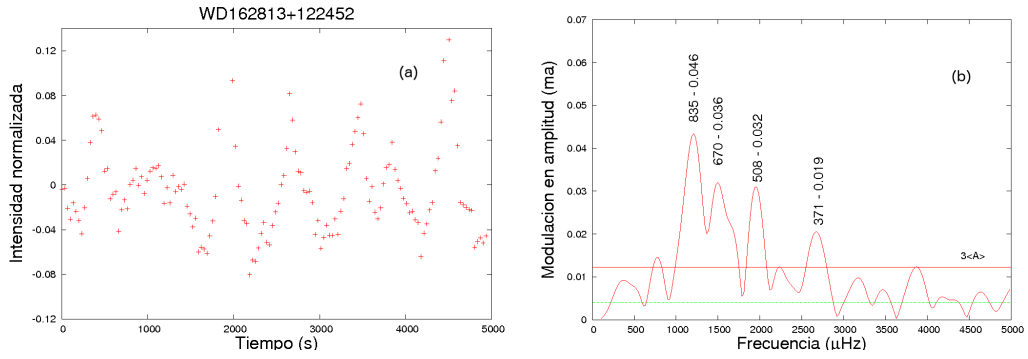


Fig. 1: (a): Curva de luz normalizada de una estrella DAV observada con fotometría rápida. (b) Su Transformada de Fourier con período y amplitud en cada máximo de emisión.

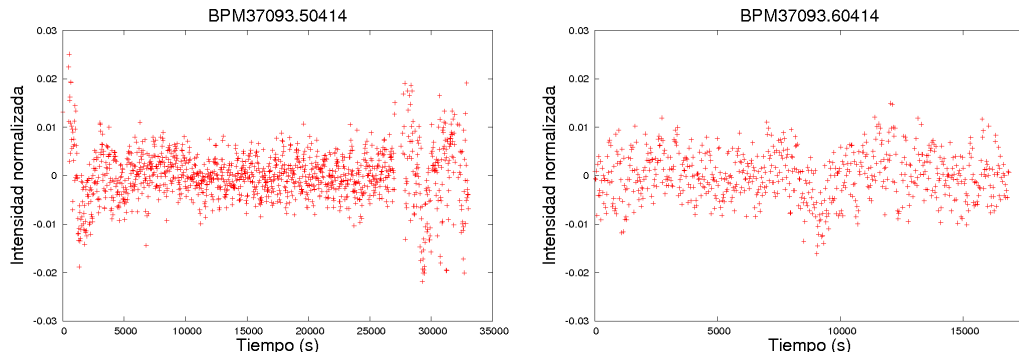


Fig. 2: Curva de luz normalizada de la estrella DAV masiva observada las noches 5 y 6 de abril.

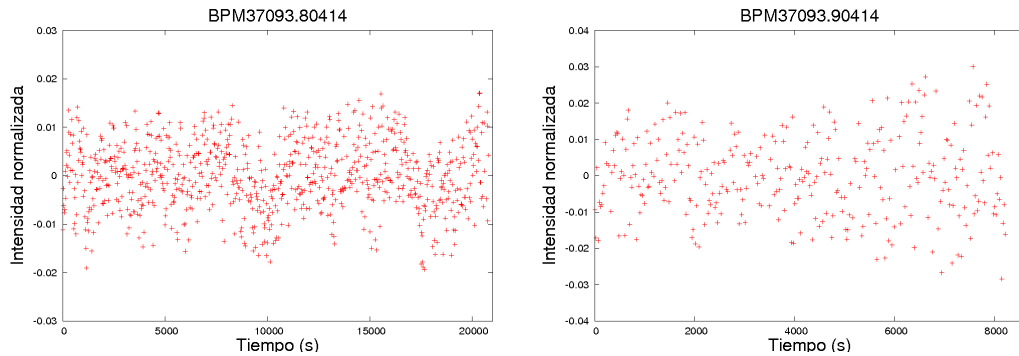


Fig. 3: Curva de luz normalizada de la estrella DAV masiva observada las noches 8 y 9 de abril.