



Universidad de San Carlos de Guatemala
Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Matemática

DE REGRESO A UN MUNDO FELIZ A TRAVÉS DE LA GEOMETRÍA DIFERENCIAL

Fulano de Tal

Asesorado por Mengano Pérez

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



ESCUELA DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

**DE REGRESO A UN MUNDO FELIZ A TRAVÉS DE
LA GEOMETRÍA DIFERENCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JEFATURA DEL
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA
POR

FULANO DE TAL
ASESORADO POR MENGANO PÉREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN MATEMÁTICA APLICADA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



CONSEJO DIRECTIVO

DIRECTOR	M.Sc. Edgar Anibal Cifuentes Anléu
SECRETARIO ACADÉMICO	Ing. José Rodolfo Samayoa Dardón

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	Perengano
EXAMINADOR	Zutano
EXAMINADOR	Fulano 2

Este archivo pdf es una muestra

Fecha

datos

cuerpo

despedida

firma

nombre

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

Contents

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
LISTA DE SÍMBOLOS	vii
OBJETIVOS	ix
INTRODUCCIÓN	xi
1 OBJETOS COMPACTOS	1
1.1 Enanas Blancas	1
1.2 Estrellas de Neutrones	1
1.3 Púlsar	2
1.3.1 Púlsar de Milisegundo	2
1.3.2 Púlsares Reciclados	3
1.4 RedBacks	3
1.5 Black Widows Pulsars	3
1.6 Un sistema binario eclipsante	4
2 INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN	5
3 ANÁLISIS DE DATOS	7
CONCLUSIONES	9
RECOMENDACIONES	11
BIBLIOGRFÍA	13

List of Figures

List of Tables

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
---------	-------------

OBJETIVOS

General

Escriba el objetivo general.

Específicos

Enumere los objetivos específicos.

- 1.
- 2.

INTRODUCCIÓN

1. OBJETOS COMPACTOS

En astrofísica, se le denomina objetos compactos a los remanentes de estrellas, estos objetos “nacen” cuando las estrellas “mueren”, estos pueden ser enanas blancas, estrellas de neutrones y agujeros negros. En el caso de los agujeros negros supermasivos, se considera que estos habitan el centro de cada galaxia. Estos objetos por ser los remanentes de la estrellas, pueden encontrarse por toda la galaxia ([Shapiro and Teukolsky, 1983](#); [Camezind, 2007](#)).

Los primeros dos objetos surgen cuando una estrella termina su combustible nuclear y entonces ya no puede soportar la fuerza gravitacional que la hace colapsar con sigo misma, en este colapso se genera una presión térmica que evita el colapso, que en el caso de las Enanas Blancas la presión es debida a electrones, y para el caso de las Estrellas de Neutrones es debida a neutrones. Por otro lado los agujeros negros surgen cuando la fuerza gravitacional es tan grande que no existe nada que evite el colapso sobre si misma generando así una singularidad en el espacio tiempo.

1.1 Enanas Blancas

1.2 Estrellas de Neutrones

Las Estrellas de Neutrones (NS por sus siglas en ingles) constituyen uno de los objetos mas intrigantes en el universo, su nombre se debe a que se encuentran compuestas en su mayoría por neutrones

Los primeros cálculos teóricos fueron hechor por ([Oppenheimer and Volkoff, 1939](#)), inspirados por el trabajo hecho con las WDs ellos modelaron la materia de la estrella como un gas degenerado de neutrones, cuya presión de degeneración es la responsable de que la estrella no colapse sobre si misma. Ellos calcularon estrellas con masa máxima de $\sim 0.7 M_{\odot}$ (es decir por debajo del limite de Chandrasekhar), densidades promedio arriba $6 \times 10^{15} \text{g cm}^{-3}$ y radios de $\sim 10 \text{ km}$ ([Heiselberg and](#)

[Pandharipande, 2000](#)). Sin embargo hoy en día se sabe que las estrellas de neutrones si pueden exceder el límite de Chandrasekhar por lo que sus masas pueden encontrarse entre $1.0\text{-}2.14M_{\odot}$ con densidades que incrementan con la profundidad, las cuales varían desde $\sim 10^6 \text{ g cm}^{-3}$ hasta $\sim 8 \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$. Las estrellas de neutrones poseen radios de $\sim 12 \text{ km}$ ([Camezind, 2007](#); [Rawls et al., 2011](#); [Lattimer, 2015](#); [Cromartie et al., 2019](#)). Uno de los mayores problemas es el estado de los nucleones que la componen, ya que éstos pueden estar unidos en núcleos o estar libres en estados continuos ([Camezind, 2007](#)).

1.3 Púlsar

Los púlsares son estrellas de neutrones que giran y emiten radiación de forma periódica, poseen intensos campos magnéticos y gravitacionales y periodos de rotación que van desde $\sim 10^{-3}$ hasta ~ 25 segundos¹.

Las estrellas progenitoras ([Shaifullah, 2017](#))

1.3.1 Pulsar de Milisegundo

En particular los púlsares de milisegundo (MSPs por sus siglas en Ingles) son una subclase de púlsares que emiten en radio, poseen periodos cortos menores a 30 ms. Los MSPs pueden encontrarse en cúmulos globulares, por ejemplo PSR B182124A en el cúmulo M28, los MSPs además emiten pulsos relativamente fuertes en gamma (γ -rays) la primera evidencia de emisión en rayos gamma fue observada del pulsar PSR J0218+4232 y reportada por [Kuiper et al. \(2000\)](#), este era un púlsar binario muy conocido con un periodo de 2.3 ms ([Manchester, 2017](#)). Estos MSPs que emiten gamma poseen características inusuales en comparación con otras fuentes que emiten en gamma, estas son según [Manchester \(2017\)](#):

- Son emisores estables durante largos intervalos y tienen espectros característicos que siguen una ley de potencia con un corte exponencial a unos pocos GeV
- Estas pulsaciones de rayos γ se han detectado posteriormente al unir los datos de rayos γ con el período preciso de efemérides de las observaciones de radio.

otro aspecto singular de los MSPs es que, muchos de estos se han encontrado con periodos binarios cortos ($P_b \lesssim 1$ día) y compañeras con masas pequeñas ($M_c \lesssim$

¹Valores obtenidos de <https://www.atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat/> el 30/03/2020

$0.3M_{\odot}$) y exhiben eclipses de radio debido al gas circundante de la compañera, formando sistemas del tipo Black Widows (BW) o Redbacks (RB).

1.3.2 Púlsares Reciclados

Los púlsar de milisegundo (MSP) son una clase de estrellas de neutrones viejas, que son caracterizadas por periodos (P) de rotación cortos y estables típicamente $P < 30$ ms ([Zharikov et al., 2019](#)).

Los púlsares reciclado (“Recycled Pulsars”) MSPs son el resultado del reciclaje de pulsares viejos, estos se encuentran en sistemas binarios, cuando la compañera transfiere masa también transfiere momentun angular desde la órbita hasta la estrella de neutrones, girándola y reactivando el proceso de emisión de púlsar ([Manchester, 2017](#), e.g.,).

La única forma conocida para que se forme un MSP es con la ayuda de otra estrella, sin embargo observamos MSP sin compañeras binarias. Estos “Recycled Pulsars” debieron haberse formado en sistemas binarios, pero ahora se encuentran solos ([Crowter, 2018](#)).

1.4 RedBacks

1.5 Black Widows Pulsars

Un Black Widow pulsar son sistemas binarios eclipsantes, este termino fue acuñado por [Eichler and Levinson \(1988\)](#)

En los sistemas denominados Black Widows (BW), un pulsar de milisegundo es acompañado por una estrella degenerada de masa pequeña y poco densa, que se encuentra muy cercana, la masa es alrededor de $0.01M_{\odot}$ y que se esta hinchando y además es fuertemente irradiado por el pulsar, esto conduce a que existan emisiones lo suficientemente fuertes como para eclipsar el pulsar en fracciones de su órbita ([van Kerkwijk et al., 2011](#); [Crowter, 2018](#)). Los BWs se caracterizan por la destrucción de la compañera del pulsar. Los pulsar emiten fuertes cantidades de partículas relativistas cargadas la cuales al incidir en la compañera terminan destruyéndola ([Crowter, 2018](#)).

El primer descubrimiento de un sistema de este tipo fue hecho por [Fruchter](#)

et al. (1988) con el pulsar PSR B1957+20 observado en radio a 430 MHz en el Observatorio de Arecibo²: es un pulsar de milisegundo con un periodo de 1.6 ms y un periodo binario de 9.17 h. Se observó que la señal del púlsar se eclipsó durante aproximadamente 50 minutos en cada órbita, y durante los pocos minutos que precedieron a un eclipse y durante al menos 20 después, la señal se retrasó. La masa mínima de la compañera fue de $0.022 M_{\odot}$. Este pulsar emite haces de radiación que inciden sobre una estrella compañera (enana café ligera).

1.6 Un sistema binario eclipsante

Los sistemas binarios son sistemas formados por dos estrellas que giran alrededor del centro de masa. Los sistema eclipsantes

²<https://www.naic.edu/ao/>

2. INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN

3. ANÁLISIS DE DATOS

CONCLUSIONES

1. Conclusión 1.
2. Conclusión 2.
3. Conclusión 3.

RECOMENDACIONES

1. Recomendación 1.
2. Recomendación 2.
3. Recomendación 3.

BIBLIOGRAFÍA

- Camezind, M. (2007). *Compact Objects in Astrophysics*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Cromartie, H. T., Fonseca, E., Ransom, S. M., Demorest, P. B., Arzoumanian, Z., Blumer, H., Brook, P. R., DeCesar, M. E., Dolch, T., Ellis, J. A., Ferdman, R. D., Ferrara, E. C., Garver-Daniels, N., Gentile, P. A., Jones, M. L., Lam, M. T., Lorimer, D. R., Lynch, R. S., McLaughlin, M. A., Ng, C., Nice, D. J., Pennucci, T. T., Spiewak, R., Stairs, I. H., Stovall, K., Swiggum, J. K., and Zhu, W. W. (2019). Relativistic Shapiro delay measurements of an extremely massive millisecond pulsar. *Nature Astronomy*, page 439.
- Crowter, K. (2018). *Timing and analysis of eclipsing black widow pulsar PSR J2256-1024*. PhD thesis, University of British Columbia.
- Eichler, D. and Levinson, A. (1988). On Black Widow Evolutionary Scenarios for Binary Neutron Stars. , 335:L67.
- Fruchter, A. S., Stinebring, D. R., and Taylor, J. H. (1988). A millisecond pulsar in an eclipsing binary. , 333(6170):237–239.
- Heiselberg, H. and Pandharipande, V. (2000). Recent Progress in Neutron Star Theory. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 50:481–524.
- Kuiper, L., Hermsen, W., Verbunt, F., Thompson, D. J., Stairs, I. H., Lyne, A. G., Strickman, M. S., and Cusumano, G. (2000). The likely detection of pulsed high-energy gamma -ray emission from millisecond pulsar PSR J0218+4232. , 359:615–626.
- Lattimer, J. M. (2015). Introduction to neutron stars. Accedido el 22-01-2020 a <http://www.astro.umd.edu/~miller/nstar.html>.
- Manchester, R. N. (2017). Millisecond Pulsars, their Evolution and Applications. *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 38(3):42.

- Oppenheimer, J. R. and Volkoff, G. M. (1939). On Massive Neutron Cores. *Physical Review*, 55(4):374–381.
- Rawls, M. L., Orosz, J. A., McClintock, J. E., Torres, M. A. P., Bailyn, C. D., and Buxton, M. M. (2011). Refined Neutron Star Mass Determinations for Six Eclipsing X-Ray Pulsar Binaries. , 730(1):25.
- Shaifullah, G. (2017). *Timing and properties of recycled pulsars*. PhD thesis, Universität Bielefeld.
- Shapiro, S. L. and Teukolsky, S. A. (1983). *Black holes, white dwarfs, and neutron stars : the physics of compact objects*. John Wiley Sons, Ltd.
- van Kerkwijk, M. H., Breton, R. P., and Kulkarni, S. R. (2011). Evidence for a Massive Neutron Star from a Radial-velocity Study of the Companion to the Black-widow Pulsar PSR B1957+20. , 728(2):95.
- Zharikov, S., Kirichenko, A., Zyuzin, D., Shibarov, Y., and Deneva, J. S. (2019). Optical detection of the black widow binary PSR J2052+1219. , 489(4):5547–5555.