

Sistemas binarios de alta masa

Antonio Blanco Solsona



Revista Digital de ACTA

2021

Publicación patrocinada por



ACTA representa en CEDRO los intereses de los autores científico-técnicos y académicos. Ser socio de ACTA es gratuito.

Solicite su adhesión en acta@acta.es

Sistemas binarios de alta masa

© 2021, **Antonio Blanco Solsona**

© 2021, 

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas binarios de alta masa son sistemas compuestos por un objeto compacto, agujero negro o estrella de neutrones, y una estrella gigante. Orbitan una, alrededor de la otra en un periodo muy pequeño. Normalmente generan intensas emisiones de rayos X. Emiten desde radio a rayos gamma, pasando por los rayos X y produciendo chorros relativistas.

Como ejemplo se puede citar Cygnus X-1. Es un sistema binario formado por una supergigante de gran masa, y un agujero negro. El agujero negro crece mediante la acreción de materia proveniente de su compañera formando un anillo de acreción y emitiendo radiación y chorros relativistas como se puede ver en la imagen.

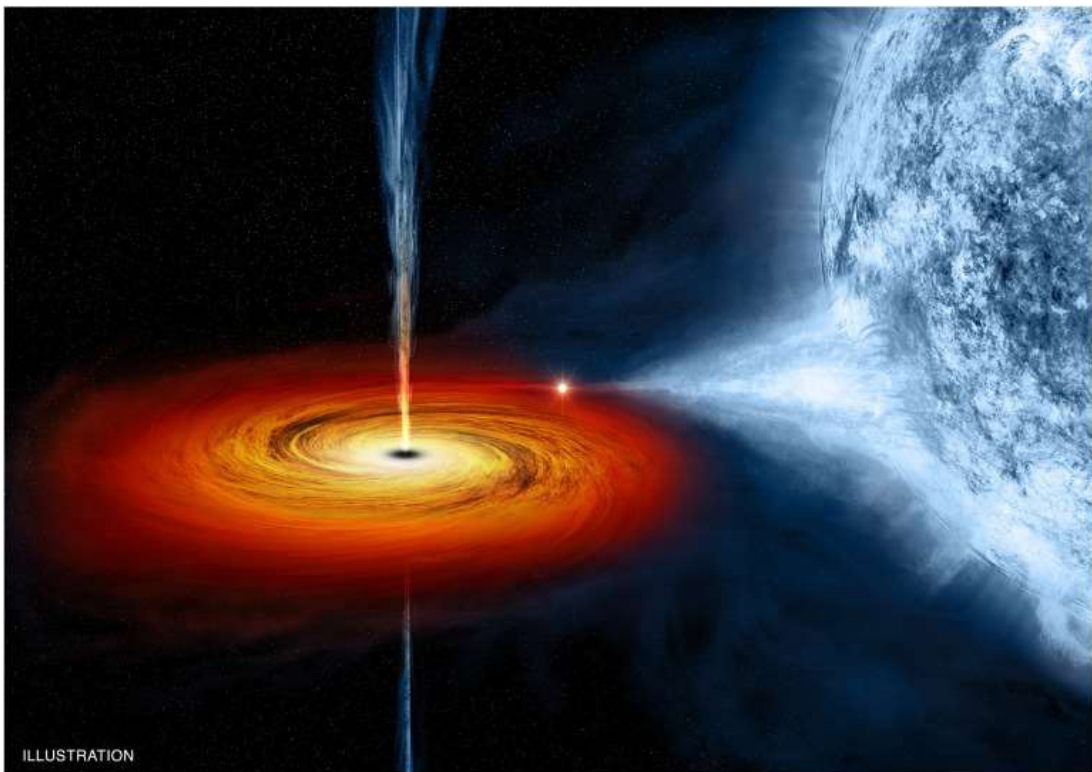


Ilustración artística del agujero negro Cygnus X-1 y el disco de acreción creado. Su acompañante es la estrella HDE 226868. Fuente: NASA/CXC/M.Weiss.

Las binarias de rayos X son unas de las fuentes de rayos X más brillantes de nuestra galaxia y de las galaxias cercanas. Hay una interacción del viento estelar con los altos campos magnéticos y gravitatorios del objeto compacto. Las condiciones de la materia en las proximidades del objeto compacto de hacen extremas.

La misión INTEGRAL ha descubierto muchos sistemas binarios de alta masa con emisión en rayos X. INTEGRAL es una misión de la ESA en cooperación con Estados Unidos y Rusia. La nave espacial fue lanzada el 17 de octubre de 2002 (<https://sci.esa.int/web/integral/-/31149-summary>). Su objetivo es estudiar las radiaciones más energéticas que provienen del espacio. Recoge fuentes de rayos gamma y fuentes de rayos x en la banda comprendida entre los 4 y 35 keV.

Integral es una misión internacional compuesta por la ESA, Estados unidos, Rusia, República Checa y Polonia. La nave informa a la Tierra sobre las explosiones violentas del Universo, agujeros negros y otros objetos masivos. Estudia también los agujeros negros masivos del centro de las galaxias, así como las estrellas de neutrones y los sistemas binarios de alta masa.

El centro científico de datos se tiene en <https://www.isdc.unige.ch/integral/archive>



Los datos científicos obtenidos se pueden descargar de:

<https://www.isdc.unige.ch/integral/archive>



Y también en el enlace <https://www.isdc.unige.ch/integral/#Browse>

Es por tanto INTEGRAL un laboratorio internacional de astrofísica de rayos X y rayos gamma proporcionando datos a la comunidad científica internacional.

Un ejemplo lo podemos encontrar en el estudio realizado sobre los espectros de rayos X del sistema binario MAXI J1820 + 070 de agujero negro de acreción cuyo pdf se puede descargar en <https://arxiv.org/pdf/2101.04482.pdf>. Se estudian los espectros de rayos X del aumento explosivo del binario MAXI J1820 + 070 de agujero negro en acreción.

DATOS CIENTÍFICOS

Hemos visto que podemos descargar los datos científicos obtenidos de Integral. La banda correspondiente a los rayos X está definida por un intervalo energético en KeV entre los 4 y 35 keV.

El catálogo general de Integral contiene las fuentes detectadas superiores a 1 keV. El catálogo más reciente en línea se tiene en <https://www.isdc.unige.ch/integral/catalog/latest/catalog.html> Al entrar se ve la siguiente una clasificación:

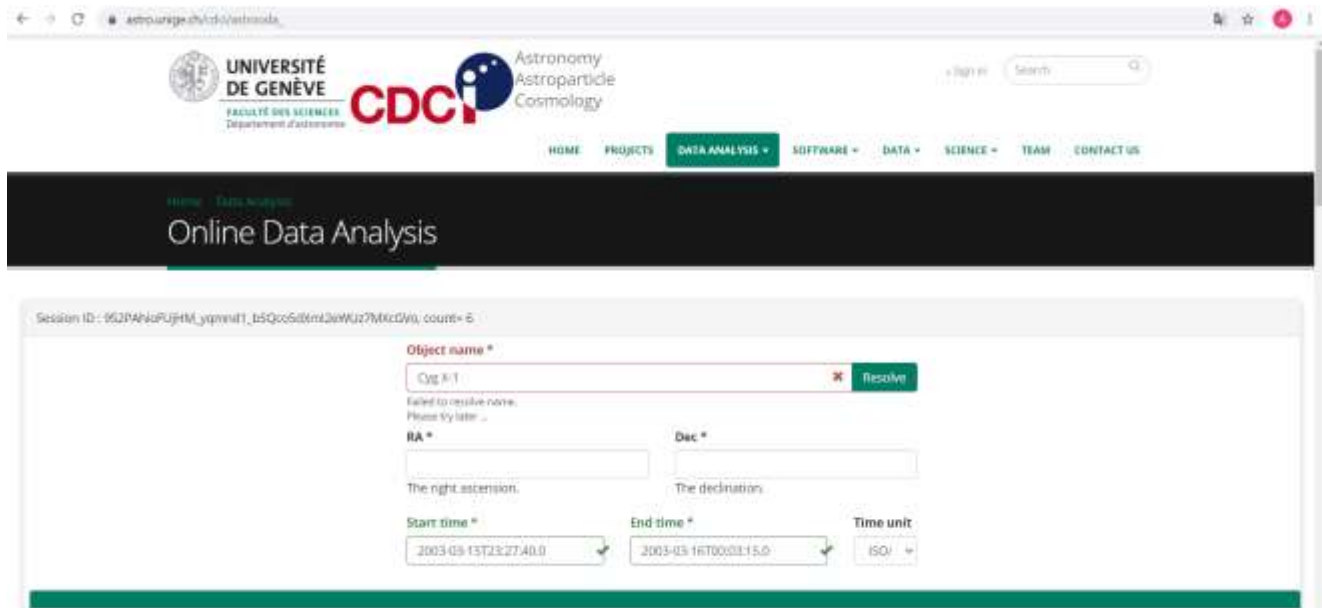
SOURCE_ID	NAME	CLASS	RA	Dec	ERR_RAD	RA_2000	Dec_2000	INGRE_FLAG	INGRE_FLAG1	REMX_FLAG	SPT_FLAG	PHSIT_FLAG	COMMENTS	Position references
0002008+212400	4U 2124+11	1300	0.7	21.4	0.01	002120.0	+212400.0	0	0	0	0	0	...	Frasca, V. et al. 2005a,b, 2005c, 2005d
0006014+702010	1RXS J06014-70201	7100	1.500	70.32191	0.00027777777777777777	000601.0	+702010.0	2	0	0	0	0	ZMASX 20040709-5079107	Masetti et al. 2003a,b, 2003c, 2003d
0006018+201211	Max 515	7100	1.50133	20.202517	0.00028	000601.8	+201211.0	0	0	0	0	0	QSO 09001-15R, 1AXO 300822+201211, 3H 005+20, IRXS 300833+201211, 4U 005+20, IRAS F00078105	Clayton, E. D., 1991MNRAS...207...20C
0006036+724700	4U 0603+72	1300	1.50	72.78333	0.01	000603.6	+724700.0	0	0	0	0	0	SXU 130.5+03.2, IR 0007+74, 2E 0004+72, JA 0009+72	Frasca, V. et al. 2005a,b, 2005c, 2005d
0010118+644217	3RXS 01-01-011	7100	2.501697	-4.703278	0.00028	001011.8	+644217.0	0	0	0	0	0	Max 507, 1AXO 001011-6441 BX, 30118-13442, IRXS 30118101, 344425, IRAS F00076449	Frasca, V. et al. 2005a,b, 2005c, 2005d
0010112+731000	1RXS 0008+7307	1700	2.50	73.26804	0.1	001012.0	+731000.0	0	0	0	0	0	CTA 37, G00 3000+73, 3E0 3018+73	Hagenlocher et al. 2005a,b, 2005c, 2005d
0010311+105030	CenX B 007+107	7100	2.02189	10.87500	0.00028	001031.0	+105030.0	0	0	0	0	0	3H 005+11, IRXS 301101+105032, 2E 007+1041, 2E 011 BX, 30118+105, 31000+105, Max 1991	Ma, C. et al. 1993, 1994, 1995
0011440-232718	4U 0606-23	7000	2.93331	-23.42500	0.01	001144.0	-232718.0	0	0	0	0	0	...	Frasca, V. et al. 2005a,b, 2005c, 2005d
0011253+095242	4U 0609-09	1500	3.38187	9.87634	0.01	001125.0	+095242.0	0	0	0	0	0	3X 0001+01, 3X00 0010+00	Frasca, V. et al. 2005a,b, 2005c, 2005d
0011584+603131	1RXS J0158+603	7100	3.977917	56.84800	0.00027777777777777777	001158.4	+603131.0	0	0	0	0	0	...	Masetti et al. 2003a,b, 2003c, 2003d
0017085+013546	S 0101+033	7200	4.28282	01.58585	0.00028	001708.5	+013546.0	0	0	0	0	0	[VV05] 000708.1+013507, 1AXO 301720+0135, IRXS 300719.2+013507, Q60 3007+0135	Ma, C. et al. 1993a,b, 1993c, 1993d
0017738+030818	4U 0615+02	1500	4.47033	3.13333	0.01	001773.8	+030818.0	0	0	0	0	0	3288 015+02	Frasca, V. et al. 2005a,b, 2005c, 2005d
0023248+014132	1RXS J0248+014	1600	5.740167	01.685417	0.00028	002324.8	+014132.0	2	0	0	0	0	IRXS 200250.0+014111 CM007, 302257+014107	Dobson, J. A. et al. 2005a,b, 2005c, 2005d
0023278+025009	1RXS J0245+025	1710	0.108907	02.84058	0.00033	002327.8	+025009.0	1	0	0	0	0	...	Masetti et al. 2003a,b, 2003c, 2003d
0023118+040042	4U 0222+02	1200	0.520033	04.33900	0.01	002311.8	+040042.0	2	0	1	0	0	VV B Co, 3H 002+018, 2E 0021+019, SA 002+018, 3C 303, Cnp	Masetti et al. 2003a,b, 2003c, 2003d

Observamos que podemos descargar las coordenadas, así como las distintas publicaciones en pdf o html de las distintas observaciones.

En la dirección de Integral <https://www.isdc.unige.ch/integral/science/catalogue#Models> podemos observar la clasificación energética de la observación en rayos X de las binarias de alta masa:

tipo de fuente	Modelo SED	N_H $\cdot 10^{22}$ [cm ⁻²]	Γ_1	Γ_2	E corte [keV]	E pliegue [keV]	E romper [keV]
Binarios de rayos X							
LMXB	wabs * corte	1.0	1,7	-	5	-	-
LMXB con rígida	wabs * (corte + ley de potencia)	1.0	1,7	2.5	10	-	-
HMXB	wabs * highecut * powerlaw	1.0	1.0	-	10	15	-

El análisis de los datos en línea lo obtenemos de <https://www.astro.unige.ch/cdci/astrooda>



El análisis científico fuera de línea se puede realizar descargando el software e instalándolo en Linux. La dirección de descarga es:

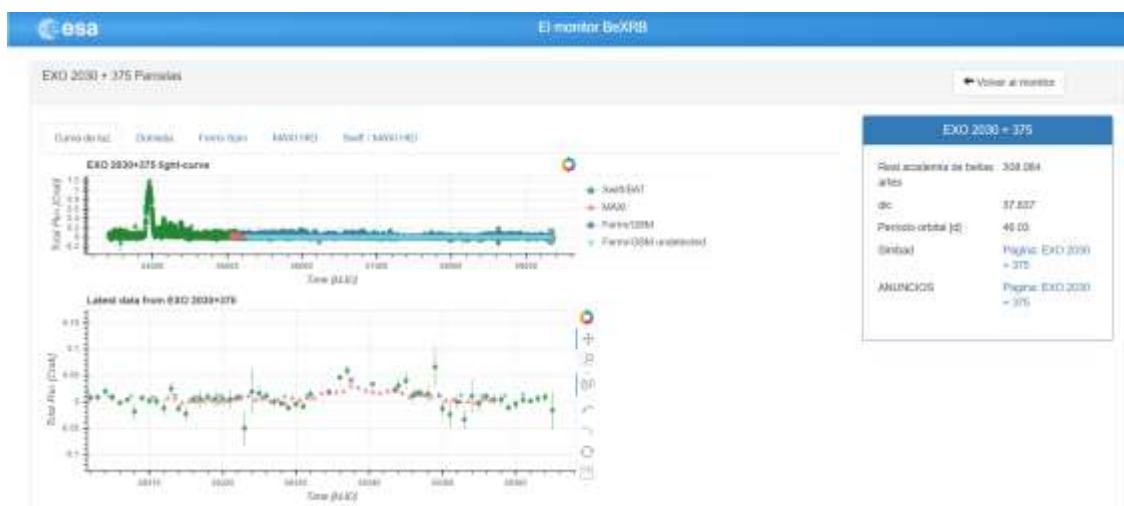
https://www.isdc.unige.ch/integral/download/osa/doc/11.1/osa_inst_guide/node2.html

EXO 2030 + 375

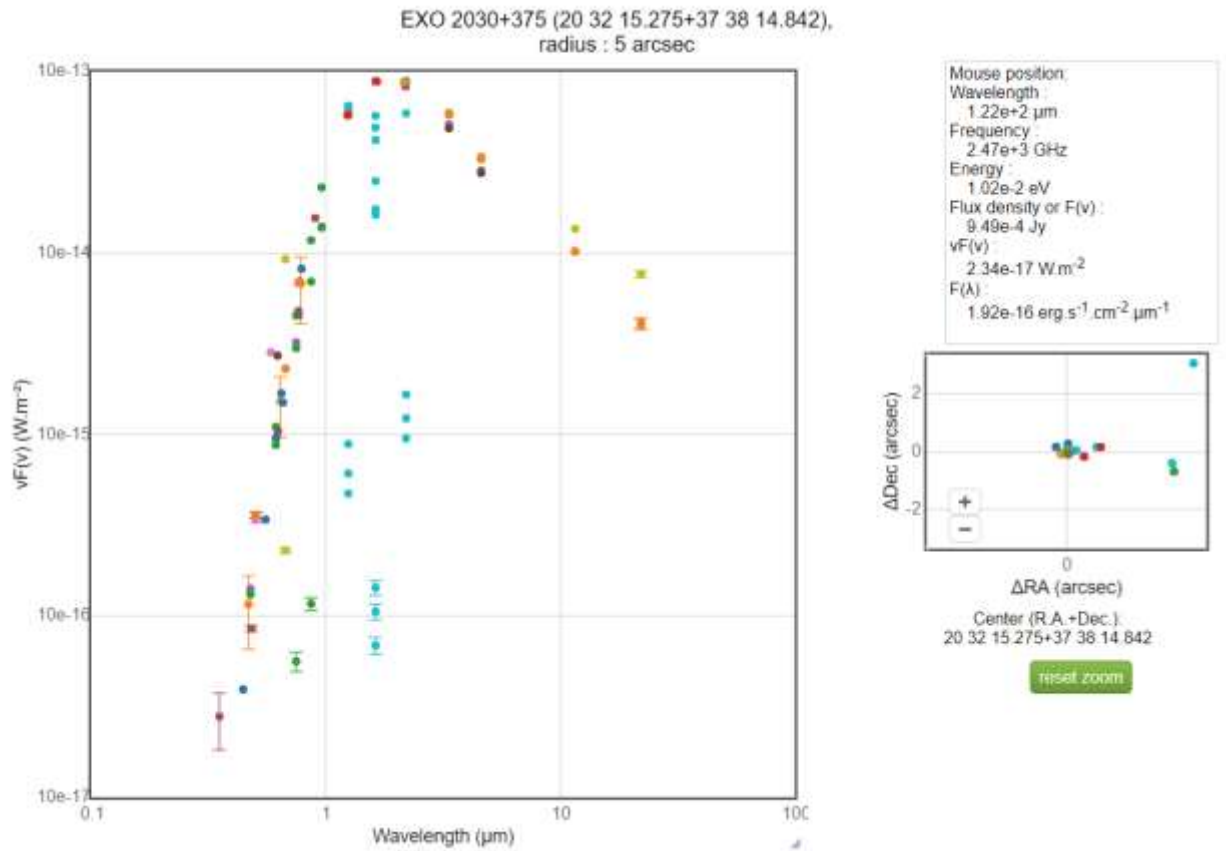
El sistema binario de rayos X de alta masa denominado **EXO 2030+375** es un sistema formado por una estrella gigante y una estrella de neutrones. La atmósfera interestelar de la estrella es capturada por la estrella de neutrones y debido al alto valor del campo magnético, la materia se desvía hacia los polos magnéticos produciéndose una acreción hacia el interior de la estrella de neutrones. Estos cambios de dirección y desaceleraciones producidas por estas interacciones gravitatorias, magnéticas y coulombianas producen una alta emisión electromagnética en la frecuencia de rayos X.

Del enlace de la ESA

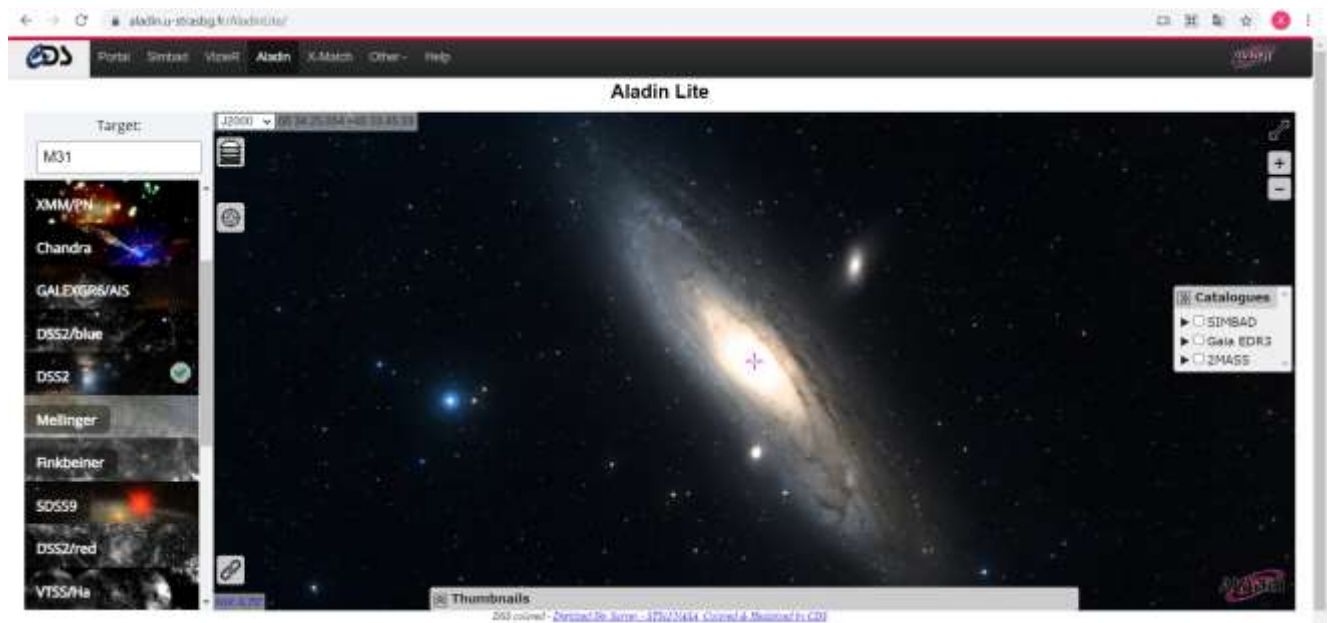
http://integral.esac.esa.int/bexrbmonitor/Plots/sim_plot_EXO2030+375.html podemos obtener la curva de luz:



En el enlace <http://vizier.unistra.fr/vizier/sed/> también podemos observar el flujo y la longitud de onda:



Se pueden visualizar las imágenes desde el propio navegador con Aladin. En la siguiente dirección podemos encontrar el enlace: <https://aladin.u-strasbg.fr/AladinLite/> Por ejemplo podemos visualizar la galaxia Andrómeda:



EXO 2030+375 es un pulsar de rayos X binarios accionados por acreción. Los pulsares de rayos X de los sistemas binarios son las fuentes más brillantes de nuestra galaxia. Son los denominados binarios de alta masa. La estrella de neutrones o agujero negro acumula cada vez más materia proveniente de su compañera, una estrella con una masa superior a 10 veces la masa del Sol. Debido a la alta velocidad de rotación de la estrella esta expulsa material formando un enorme disco a su alrededor. Cuando parte de esta acumulación de materia cae sobre la estrella de neutrones da lugar a un fuerte estallido de rayos X. Normalmente estos estallidos son periódicos y se producen en los mayores acercamientos entre estos objetos.

Los pulsares son estrellas de neutrones que giran a gran velocidad y que tienen un campo magnético muy intenso. Desde los polos magnéticos emiten haces estrechos de radiación electromagnética.

En el caso del pulsar binario EXO 2030+375 el periodo de rotación de la estrella de neutrones es de 42 segundos. La estrella es una estrella tipo Bo Ve muy enrojecida a una distancia de 7.1 kpc. El periodo orbital es de 46 días.

Los estallidos de rayos X se deben a la captura de una gran cantidad de materia del disco circunestelar por parte de la estrella de neutrones o por parte del agujero negro. Se puede encontrar más información en: <https://academic.oup.com/mnras/article/472/3/3455/4104638>

CYGNUS X-3

Cygnus X-3 o Cyg X-3 es un sistema estelar binario compuesto por un objeto compacto en órbita alrededor de una estrella Wolf-Rayet del tipo WN4-5 y de periodo orbital de 4.8 horas. Existe acreción entre la estrella y el objeto compacto. Es un sistema binario de alta masa donde el objeto compacto no está definido. Podría ser una estrella de neutrones o un agujero negro.

En los destellos de radios, se convierte en la fuente más brillante de la Vía Láctea. Las estrellas Wolf-Rayet son estrellas masivas, de masas comprendidas entre la 7 y las 50 masas solares sin envoltura superior de hidrógeno, quedando principalmente helio.

Cygnus X-3 solo lo podemos ver en el infrarrojo. De esas líneas espectrales podemos deducir su modulación y de esta forma obtener el periodo orbital del binario, siendo este de 4,8 horas.

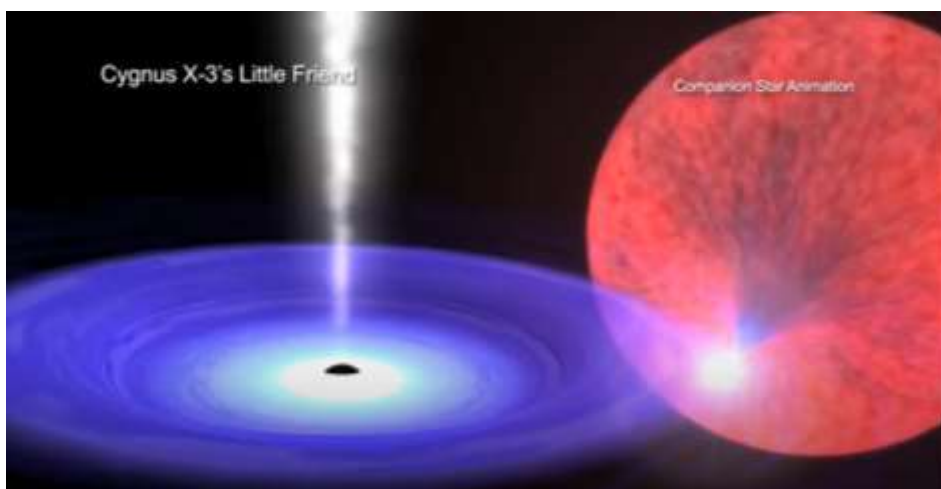


Ilustración artística NASA's Chandra X-ray Observatory

Cygnus X-3 es un blazar dentro de nuestra galaxia. Un blazar es una fuente de energía muy compacta y se caracteriza por emitir un chorro o jet relativista directamente hacia la Tierra.

Podemos encontrar más información en:

<https://academic.oup.com/mnras/article/326/1/349/1027328?searchresult=1#18279987>

Y también en:

https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2000/ast25feb_1m

ESTRELLAS MASIVAS

Las estrellas masivas son aquellas estrellas que explotan como supernovas. Para que eso ocurra deben de tener una masa superior a 8 masas solares.

Una estrella Be es una estrella masiva con un disco circunestelar originado por la alta rotación que da lugar a la pérdida de masa. Las velocidades de rotación son muy altas, hasta 500 Km/s.

Principales estrellas Be [editar]

Nombre	Denominación de Bayer / Flamsteed	Tipo espectral	Velocidad de rotación (km/s) - (velocidad crítica)	Magnitud aparente media
Achernar	Alfa Eridani	B3Ve	251	+0,45
Tsih	Gamma Cassiopeiae	B0.5Ve	300	+2,15
	Eta Centauri	B1Vne	333	+2,23
Phecda o Phad	Gamma Ursae Majoris	A2Ve	168	+2,41
	Delta Centauri	B2Vne	263	+2,58
	Alfa Arae	B2Vne	298	+2,85
Alcora	Eta Tauri	B7Ile	215	+2,85
Gomeisa	Beta Canis Minoris	B8Ve	276	+2,89
PP Carinae	psi Carinae	B4Vne	285	+3,36
Electra	17 Tauri	B6Ile	170	+3,72
	Kappa Draconis	B8IIme	250	+3,88
	48 Persei	B3Ve	190	+4,00
Menope	23 Tauri	B8Ve	282	+4,14
	Theta Coronae Borealis A	B8Vnn	380	+4,14
	Psi2 Aquarii	B5V	332	+4,39
Fum al Samakah	Beta Pictoris	B0Ve	104	+4,49
	Omicron Puppis	B1Vnne	440	+4,50
	Fi Andromedae A	B0Ve	81	+4,54
Seaf	Pi Aquarii	B1Ve	300	+4,79
	Psi1 Orionis	B1Ve	310	+4,87
Plyone	28 Tauri	B8Vpe	329	+5,05

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Estrella_Be

Vemos las altas velocidades de rotación. Desde los 81 km/s de [Fi Andromedae A](#) a los 440 Km/s de [Ómicron Puppis](#).

Omicron Puppis tiene una magnitud aparente de +4.50 y está a 1400 años luz del Sistema Solar.

Es una subgigante azul con una rotación muy rápida llegando a veces a los 514 km/s, velocidad muy próxima a la velocidad crítica de 545 km/s por encima de la cual se disgregaría. Su masa es de 18,5 veces la masa solar siendo 4080 veces más luminosa que el Sol.

En https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Estrellas_m%C3%A1s_masivas podemos encontrar un listado de las estrellas más masivas conocidas.

ESTRELLAS DE NEUTRONES

Cuando una estrella supergigante agota su combustible nuclear y explota como supernova acaba convirtiéndose en una estrella de neutrones si el remanente que queda después de la explosión tiene más de 1.44 masas solares, conocido como el límite de Chandrasekhar.

El hierro y el helio del núcleo estelar se desintegra dando lugar a la producción de partículas alfa. Las partículas alfa son núcleos de helio sin los electrones. Los protones interaccionan con los electrones produciendo neutrones.

De esta forma, después de este proceso, la materia pasa a estar formada solamente por neutrones. La estrella no colapsa y se mantiene en equilibrio debido al principio de exclusión de Pauli. La imposibilidad de que dos neutrones ocupen el mismo lugar genera la presión que mantiene en equilibrio a la estrella.

AGUJEROS NEGROS

Cuando una estrella masiva explota en supernova y la masa resultante es superior a 2.17 masas solares, la estrella de neutrones colapsará y dará lugar a un agujero negro. Este límite es el límite de Tolman_Oppenheimer-Volkoff

La concentración de masa tan elevada provoca un campo gravitatorio tan intenso que impide la salida de cualquier partícula y de la luz. Los agujeros negros generan una curvatura del espacio tiempo provocando una singularidad envuelta por una superficie cerrada denominada horizonte de sucesos. Este horizonte separa el agujero negro del resto del universo.

Hawking demostró en la década de los 70 como los agujeros negros emiten radiación. Es la denominada radiación Hawking debida a efectos cuánticos.

CATÁLOGO BINARIOS DE RAYOS X DE ALTA MASA

En la dirección <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000A%26AS..147...25L/abstract> podemos encontrar una clasificación publicada sobre sistemas binarios de alta masa. Es un catálogo de sistemas binarios de alta masa de rayos X. Tiene 130 sistemas binarios de alta masa donde se informa sobre las Fuentes de rayos X. El catalogo complete lo tenemos en:

<https://aas.aanda.org/articles/aas/full/2000/19/ds1905/ds1905.html>

Los sistemas binarios de rayos X de alta masa también se conocen por sistemas HMXB. Como ya hemos visto la composición de estos sistemas binarios es un objeto compacto, estrella de neutrones, o agujero negro, que orbitan una estrella masiva. La estrella masiva es la que pierde masa sobre el objeto compacto.

En <https://cdsarc.unistra.fr/viz-bin/cat/V/106> podemos acceder a los enlaces ftp para las descargas de los sistemas binarios detectados:

[J/A+A/455/1165/table1](#) Catalogue of Galactic high-mass X-ray binaries (Lin+ 2006)
Post annotation Catalog of 114 HMXB candidates in the Galaxy (114 rows)

[start AladinLite](#) [plot the output](#) [query using JAP/SOL](#)

Full	Name	Type	RAJ2000 "h:m:s"	DEJ2000 "d:m:s"	Ymag mag	Porb d	SpType
1	IGR J00370+6122		00 37 10.00	+61 21 35.0	9.65	15.665	B0.5II-III
2	2S 0053+604	B	00 56 42.50	+60 43 00.0	1.60	203.590	B0.5 Ve
3	2S 0114+650	P.C?	01 18 02.70	+65 17 30.0	11.00	11.600	B0.5 Ib
4	4U 0115+634	T.P.C	01 18 31.90	+63 44 24.0	14.50	24.300	B0.2Ve
5	IGR J01363+6610	I	01 35 50.00	+66 12 40.0	13.29		B1Ve
6	RX J0146.9+6121		01 47 00.20	+61 21 23.7	11.45		B1Ve
7	IGR J01583+6713	I	01 58 18.44	+67 13 23.5			Be
8	1E 0236.6+6100	B	02 40 31.70	+61 13 46.0	10.70	26.496	B0Ve
9	V 0332+53	T.P.C	03 34 59.90	+53 10 24.0	15.10	34.250	O8.5Ve
10	4U 0352+309	P.C	03 55 23.00	+31 02 59.0	6.00	250.300	B0Ve
11	XTE J0421+560	T.B	04 19 42.20	+55 59 59.0	9.25	19.410	sgB[e]
12	RX J0440.9+4431	P	04 40 59.30	+44 31 49.0	10.78		B0.2Ve
13	EXO 051910+3737.7		05 22 35.20	+37 40 34.0	7.51		B0 IVpe
14	1A 0535+262	T.P.C	05 38 54.60	+26 18 57.0	8.90	111.000	O9.7IIIe
15	1H 0556+286		05 55 55.10	+28 47 06.0	9.20		B5ne
16	IGR J06074+2205	I	06 07 26.60	+22 05 48.3			Be
17	SAX J0635.2+0533	P	06 35 18.29	+05 33 06.3	12.83	11.200	B2V-B1IIIe
18	1WGA J0648.0-4419	P	06 48 04.60	-44 18 58.4	8.27	1.550	sdO6
19	XTE J0658-073	T.P.C	06 58 17.30	-07 12 35.3	12.05		O9.7Ve
20	3A 0726-260	T.P	07 28 53.60	-26 06 29.0	11.60	34.500	O8-9Ve
21	1H 0739-529		07 47 23.60	-53 19 57.0	7.62		B7 IV-Ve
22	1H 0749-600		07 50 15.77	-61 05 58.2	6.73		B8 IIIe
23	RX J0812.4-3114	T.P	08 12 28.40	-31 14 21.0	12.48	81.300	B0.2IVe
24	GS 0834-430	T.P	08 35 55.40	-43 11 11.9	20.40	105.800	B0-2 III-Ve
25	4U 0900-40	P.F.C	09 02 06.90	-40 33 17.0	6.90	8.960	B0.5 Ib

En la tabla tenemos indicadas las coordenadas y magnitudes para su localización e investigación. Recordamos que en la opción "Readme" podemos encontrar todos los significados de las cabeceras de las tablas.

CONCLUSIONES

Hemos estudiado los sistemas binarios de alta masa, habiendo descrito su composición y la forma de detectarlos desde la Tierra a partir de la información recibida en rayos X. Son unos objetos muy energéticos y hasta que no hemos podido poner detectores de rayos X en el espacio no hemos podido observarlos debido a la opacidad de la atmosfera.

Lo que ocurra en el futuro con el sistema binario va a depender de las distintas masas de partida y del radio de la órbita.

Hemos visto la formación de los chorros o jets relativistas así como parte de los catálogos donde obtener más información. Decir también que estos datos obtenidos se tratan informáticamente mediante IRAF, en linux y mediante PYTHON en cualquier plataforma para buscar el análisis espectral de las señales recibidas y poder seguir haciendo física. Recordemos que la física necesita medir cualquier nueva teoría para poder contrastarla con la observación. En astrofísica y en Astronomía también contrastamos con la observación. Esas radiaciones que recibimos son mensajeros de esos procesos que ocurrieron en el pasado y ahora nos llegan a nosotros.