

Título: HIGH-MASS X-RAY BINARIES: X-RAYING THE WINDS

Nombre: Gimenez Garcia, Angel

Universidad: Universidad de Alicante

Departamento: INSTITUTO UNIVERSITARIO DE FÍSICA APLICADA A LAS CIENCIAS Y A LAS TECNOLOGÍAS

Fecha de lectura: 17/12/2015

Programa de doctorado: Doctorado en Ciencias y Tecnologías Físicas

Dirección:

- > **Director:** José Miguel Torrejón
- > **Codirector:** Guillermo Bernabeu Pastor

Tribunal:

- > **presidente:** Lucio Crivellari
- > **secretario:** JOSÉ JOAQUÍN RODES ROCA
- > **vocal:** ANA INES GÓMEZ DE CASTRO

Descriptores:

- > ESPECTROSCOPIA ASTROFISICA
- > ASTRONOMIA Y ASTROFISICA

El fichero de tesis ya ha sido incorporado al sistema

- > <http://hdl.handle.net/10045/53713>

Resumen: Introducción

El objetivo principal de esta tesis es estudiar el medio circunestelar de las estrellas masivas (región inmediatamente cercana a la estrella y que se extiende unos pocos radios estelares), cuyo conocimiento es fundamental para explicar entre otras cosas la retroalimentación de material en las galaxias, su enriquecimiento químico, o el ritmo de formación estelar. Este tipo de estrellas tiene una vida corta en términos astronómicos y termina en forma de supernova. Esta manera de vivir y morir produce un enriquecimiento químico del medio y desencadena la formación de nuevas estrellas a partir de la compresión de nubes moleculares cercanas por la fuerza de la explosión. Es decir, la evolución de las estrellas masivas es un elemento clave en el entendimiento del pasado, presente y futuro de nuestra galaxia y cualquier otra.

Cuando las estrellas masivas se encuentran en sistemas binarios junto a un objeto compacto, es posible que éste último pueda atraer suficiente abundancia de material como para producir una ingente cantidad de rayos X. Esta radiación altamente energética se propaga por el medio y nos transmite importante información sobre sus propiedades. Por lo tanto, para conocer las propiedades del medio circunestelar de estrellas masivas la emisión de rayos X nos abre una nueva ventana a través de la cual adquirir nueva información y contrastar la visión que nos ofrecen otras longitudes de onda menos energéticas, cuyo espectro está dominado por la radiación

directamente emitida por la estrella masiva. Esta Tesis Doctoral intenta aprovechar todas estas ventanas para hacer un análisis multi-frecuencia del medio circunestelar en Binarias de Rayos X de Alta Masa.

Desarrollo teórico

Análisis completo de $\text{FeK}\zeta$ en Binarias de Rayos X de Alta Masa con XMM-Newton:

Esta parte de la tesis está dedicada a un estudio de $\text{FeK}\zeta$ en toda la muestra de observaciones de HMXBs disponible en la base de datos del observatorio espacial XMM-Newton, y su contenido principal ha sido publicado en la revista de arbitraje internacional *Astronomy & Astrophysics* con la siguiente referencia:

ζ An XMM-Newton view of $\text{FeK}\zeta$ in HMXBs, Giménez-García, A., Torrejón, J.M., Eikmann, W., et al. 2015, *A&A*, 576, A108

Para este estudio hemos recopilado toda la información disponible de HMXBs en la base de datos del observatorio XMM-Newton anterior a Agosto de 2013. La instrumentación a bordo de este observatorio es la más adecuada actualmente para realizar este análisis, debido al gran área efectiva de sus telescopios (permitiendo el estudio de un gran número de fuentes) y a la moderada aunque suficiente resolución espectral de sus cámaras CCD (que permiten resolver varias componentes dentro del complejo del Fe).

Análisis comparativo de dos donantes supergigantes en Binarias de Rayos X:

de Alta Masa: la persistente Vela X-1 y la transitoria IGR J17544-2619

Las fuentes clásicas SGXBs y las SFXTs son sistemas con una donante similar, pero al mismo tiempo tienen un comportamiento muy distinto en los rayos X. La razón de esta dicotomía es todavía una incógnita. Se han puesto sobre la mesa distintas teorías, pero la mayoría de ellas necesitan asumir ciertos valores de los parámetros del viento estelar, como la pérdida de masa y la velocidad terminal. Sólo mediante estudios empíricos dedicados al análisis de las atmósferas estelares de las estrellas donantes podemos proveer a estas teorías con la información necesaria para ser debidamente corroboradas. Sin embargo, estudios de este tipo en HMXBs son más bien escasos. Con la intención de avanzar en esa dirección, hemos realizado un estudio comparativo

pormenorizado de las compañeras ópticas en dos fuentes muy representativas de sus respectivas clases: IGR J17544-2619 (SFXT) y Vela X-1 (SGXB). Hemos usado datos de archivo en el infrarrojo, óptico y ultravioleta y los hemos analizado usando el código Potsdam Wolf-Rayet (PoWR) de simulación de atmósferas de estrellas masivas, usando ecuaciones de no-LTE y la influencia de los rayos X en las poblaciones atómicas.

El contenido de este estudio está recogido en un artículo enviado a la revista *Astronomy & Astrophysics* en Octubre de 2015.

Conclusiones

Las estrellas masivas son un elemento fundamental en la evolución de las galaxias debido al papel principal que juegan en la retroalimentación de material y su enriquecimiento químico. El medio circunestelar de estas estrellas nos da información sobre muchas de sus propiedades, por lo que su estudio es de un alto interés científico. En el caso de las HMXBs, tenemos además la posibilidad de utilizar la fuente de rayos X como una auténtica sonda a

través de ese medio circunestelar, lo que abre vías adicionales de investigación. En este trabajo hemos tratado de aprovechar tanto las posibilidades que nos ofrecen las observaciones en rayos X como las del infrarrojo,

óptico y ultravioleta, para intentar describir y explicar las propiedades del medio circunestelar de estos objetos.

Primero, hemos realizado un análisis espectral de la muestra completa de observaciones de HMXBs disponibles con XMM-Newton hasta Agosto de 2013, con el fin de caracterizar $\text{FeK}\zeta$, la principal línea de emisión en los rayos X. En total, el estudio incluye 46 HMXBs, 21 de las cuales muestran emisión significativa de $\text{FeK}\zeta$, lo que supone el estudio más completo de la línea de $\text{FeK}\zeta$ en HMXBs hecho hasta la fecha. Como se esperaba, hemos

encontrado un grupo muy heterogéneo de objetos y estados de luminosidad, que ha sido debidamente organizado. Finalmente tenemos un conjunto de 108 espectros, cuyo análisis ha conducido a las siguientes conclusiones:

ζ El atlas espectral del complejo del Fe nos da una descripción cualitativa de los distintos grupos de HMXBs. Especialmente reconocibles son los patrones encontrados en SGXBs (líneas de fluorescencia pero no de recombinación), y los análogos de ζ Cass (modelados con modelos mekal que incluyen líneas de recombinación, con el añadido de líneas de fluorescencia). $\text{FeK}\zeta$ es muy probablemente un rasgo ubicuo de las HMXBs, pero su detección depende de la calidad de las observaciones. SGXBs y SFXTs, que muestran un mayor NH entre las HMXBs, tienden a exhibir una fluorescencia más prominente.

ζ Los flujos de energía del continuo y $\text{FeK}\zeta$ están directamente correlacionados, como esperamos de la emisión fluorescente por la iluminación de una fuente de rayos X. Los diferentes coeficientes de correlación entre observaciones en eclipse y fuera de eclipse indican que $\text{FeK}\zeta$ se produce en una región extensa que abarca desde las proximidades de la fuente de rayos X hasta distancias cercanas a la del radio estelar.

ζ Confirmamos una correlación inversa entre la luminosidad en rayos X y la EW de $\text{FeK}\zeta$ (X-ray Baldwin effect). Los análogos de ζ Cass no siguen esta correlación. Este hecho sugiere que el escenario de formación de la fluorescencia es fundamentalmente distinto en SGXBs y análogos de ζ Cass.

ζ La anchura de $\text{FeK}\zeta$ es predominantemente menor que 0.15 keV y puede ser explicada por procesos de solapamiento de líneas, ensachamiento Compton y desplazamiento Doppler moderado (~ 1000 km/s).

ζ La curva de crecimiento en SGXBs muestra una clara correlación entre la EW de $\text{FeK}\zeta$ y NH, indicando un fuerte vínculo entre el material que absorbe la radiación de rayos X y la que produce la fluorescencia. A partir de simulaciones numéricas vemos que este material está distribuido de manera aproximadamente isotrópica en la mayoría de SGXBs.

ζ El NH en SGXBs es sistemáticamente mayor que en SFXTs, lo que apunta o bien a una diferente interacción objeto compacto - viento estelar, o bien diferencias en los parámetros orbitales o bien distintos vientos estelares.

ζ La modulación orbital de NH en IGR J16320-4751 y 4U 1700-37, junto con los resultados mencionados anteriormente, demuestran que el viento estelar en donantes de supergigantes contribuye de manera fundamental a la absorción de rayos X y la emisión de $\text{FeK}\zeta$.

El estudio de $\text{FeK}\zeta$ nos ha dado pie a investigar en más detalle las características de los vientos estelares en los dos grupos de HMXBs en los que encontramos una compañera supergigante: las SGXBs y las SFXTs. En concreto, hemos hecho un análisis espectral detallado de las compañeras ópticas en Vela X-1 e IGR J17544-2619, dos de los miembros más representativos de las SGXBs y SFXTs, respectivamente. Para ello hemos utilizado el código Potsdam Wolf-Rayet (PoWR), originalmente ideado para modelar la atmósfera de estrellas Wolf-Rayet, pero actualmente aplicable a la de cualquier estrella caliente OB. Este análisis nos ha permitido obtener una estimación de los siguientes parámetros de las donantes: luminosidad, extinción, masa estelar, radio estelar, temperatura efectiva, gravedad superficial, velocidad terminal del viento, pérdida de masa,

factor de clumping, velocidad de micro y macro-turbulencia, velocidad de rotación proyectada y abundancias químicas. A partir de estos parámetros, hemos podido derivar otros igualmente importantes a partir de trabajos anteriores de otros autores: el radio estelar de IGR J17544-2619 implica acotar la excentricidad del sistema a $e < 0.25$. La

velocidad rotacional de Vela X-1 implica que la masa de la estrella de neutrones puede ser $\sim 1.5 M_{\odot}$, cercana al valor canónico ($1.4 M_{\odot}$). En este estudio hemos visto que los parámetros encontrados en IGR J17544-2619 y Vela X-1 no son particularmente peculiares, sino que se adaptan bien a lo que esperamos de su tipo espectral. Además, las diferencias entre sus propiedades físicas son menores, y sus parámetros orbitales son igualmente comparables, ya que los dos sistemas presentan una órbita casi circular y bastante cerrada. Sin embargo, en el contexto del marco teórico descrito por Bozzo et al. (2008), sus moderadas diferencias en el viento estelar, combinadas con el periodo de rotación de la estrella de neutrones, pueden conducir a regímenes de acreción muy distintos, lo que cualitativamente explica sus grandes diferencias de comportamiento en rayos X. Debido a la poca cantidad de estudios de este tipo no podemos asegurar que lo que encontramos en Vela X-1 e IGR J17544-2619 sea extrapolable al conjunto general de SGXBs y SFXTs, pero hay razones para pensar que de hecho podría ser el caso. Para ello serán necesarias más investigaciones del viento estelar de donantes en este tipo de sistemas, así como el descubrimiento del Pspin en un mayor número de SFXTs.

En resumen, el trabajo realizado a lo largo de esta tesis nos ha permitido descubrir las propiedades del medio circunestelar de las HMXBs desde distintas perspectivas. En particular, el estudio de FeK α aporta importante información del medio que se encuentra alrededor del objeto compacto. Esta información puede ser utilizada para comprender mejor el medio circunestelar de las estrellas masivas, lo que tiene un gran interés en varios campos de la astrofísica. Al mismo tiempo, estudios detallados de las compañeras ópticas usando modelos sofisticados como PoWR nos dan un conocimiento más profundo de las condiciones físicas presentes en las atmósferas y vientos estelares de estas estrellas. Estos estudios indudablemente ayudan a interpretar más correctamente el comportamiento que observamos en los rayos X y por lo tanto mejora nuestro entendimiento del conjunto de HMXBs.

Bibliografía consultada:

- Ankay, A., Kaper, L., de Bruijne, J. H. J., Dewi, J., Hoogerwerf, R. and Savonije, G. J. The origin of the runaway high-mass X-ray binary HD 153919/4U1700-37. *A&A*, vol. 370, pages 170-175, 2001.
- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J. and Scott, P. The Chemical Composition of the Sun. *ARA&A*, vol. 47, pages 481-522, 2009.
- Audley, M. D., Nagase, F., Mitsuda, K., Angelini, L. and Kelley, R. L. ASCA observations of OAO 1657-415 and its dust-scattered X-ray halo. *MNRAS*, vol. 367, pages 1147-1154, 2006.
- Balbus, S. A. and Hawley, J. F. A powerful local shear instability in weakly magnetized disks. I - Linear analysis. II - Nonlinear evolution. *ApJ*, vol. 376, pages 214-233, 1991.
- Baldwin, J. A. Luminosity Indicators in the Spectra of Quasi-Stellar Objects. *ApJ*, vol. 214, pages 679-684, 1977.
- Bartlett, E. S., Coe, M. J. and Ho, W. C. G. XMM-Newton observation of the highly magnetized accreting pulsar Swift J045106.8-694803: evidence of a hot thermal excess. *MNRAS*, 2013.
- Barziv, O., Kaper, L., Van Kerkwijk, M. H., Telting, J. H. and Van Paradijs, J. The mass of the neutron star in Vela X-1. *A&A*, vol. 377, pages 925-944, 2001.

- Baum, E., Hamann, W.-R., Koesterke, L. and Wessolowski, U. A semi-empirical model for the X-ray emission from single Wolf-Rayet stars. *A&A*, vol. 266, pages 402-408, 1992.
- Baykal, A., Stark, M. J. and Swank, J. H. X-Ray Spectra and Pulse Frequency Changes in SAX J2103.5+4545. *ApJ*, vol. 569, pages 903-910, 2002.
- Beardmore, A. P., Coe, M. J., Markwardt, C., Osborne, J. P., Baumgartner, W. H., Tueller, J. and Gehrels, N. New Swift/BAT survey source Swift J045106.8-694803 is a HMXB with a 187 s X-ray period and 21.6 day optical period in the Large Magellanic Cloud. *The Astronomer's Telegram*, vol. 1901, page 1, 2009.
- Becker, P. A. and Wolff, M. T. Spectral Formation in X-Ray Pulsars: Bulk Comptonization in the Accretion Shock. *ApJ*, vol. 630, pages 465-488, 2005.
- Becker, P. A. and Wolff, M. T. Thermal and Bulk Comptonization in Accretion-powered X-Ray Pulsars. *ApJ*, vol. 654, pages 435-457, 2007.
- Bhalerao, V., Romano, P., Tomsick, J., Natalucci, L., Smith, D. M., Bellm, E., Boggs, S. E., Chakrabarty, D., Christensen, F. E., Craig, W. W., Fuerst, F., Hailey, C. J., Harrison, F. A., Krivonos, R. A., Lu, T.-N., Madsen, K., Stern, D., Younes, G. and Zhang, W. NuSTAR detection of a cyclotron line in the supergiant fast X-ray transient IGR J17544-2619. *MNRAS*, vol. 447, pages 2274-2281, 2015.
- Bildsten, L., Chakrabarty, D., Chiu, J., Finger, M. H., Koh, D. T., Nelson, R. W., Prince, T. A., Rubin, B. C., Scott, D. M., Stollberg, M., Vaughan, B. A., Wilson, C. A. and Wilson, R. B. Observations of Accreting Pulsars. *ApJS*, vol. 113, pages 367-408, 1997.
- Bjorkman, J. E. The Formation and Structure of Circumstellar Disks. In *IAU Colloq. 175: The Be Phenomenon in Early-Type Stars* (edited by M. A. Smith, H. F. Henrichs and J. Fabregat), vol. 214 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 435. 2000.
- Blay, P., Negueruela, I., Reig, P., Coe, M. J., Corbet, R. H. D., Fabregat, J. and Tarasov, A. E. Multiwavelength monitoring of +53 2790 the optical counterpart to 4U 2206+54. *A&A*, vol. 446, pages 1095-1105, 2006.
- Blondin, J. M., Kallman, T. R., Fryxell, B. A. and Taam, R. E. Hydrodynamic simulations of stellar wind disruption by a compact X-ray source. *ApJ*, vol. 356, pages 591-608, 1990.
- Blondin, J. M., Stevens, I. R. and Kallman, T. R. Enhanced winds and tidal streams in massive X-ray binaries. *ApJ*, vol. 371, pages 684-695, 1991.
- Bodaghee, A., Courvoisier, T. J.-L., Rodriguez, J., Beckmann, V., Produit, N., Han-nikainen, D., Kuulkers, E., Willis, D. R. and Wendt, G. A description of sources detected by INTEGRAL during the first 4 years of observations. *A&A*, vol. 467, pages 585-596, 2007.
- Bondi, H. On spherically symmetrical accretion. *MNRAS*, vol. 112, page 195, 1952.
- Bondi, H. and Hoyle, F. On the mechanism of accretion by stars. *MNRAS*, vol. 104, page 273, 1944.
- Bozzo, E., Falanga, M. and Stella, L. Are There Magnetars in High-Mass X-Ray Binaries? The Case of Supergiant Fast X-Ray Transients. *ApJ*, vol. 683, pages 1031-1044, 2008.
- Bozzo, E., Romano, P., Ducci, L., Bernardini, F. and Falanga, M. Supergiant fast X-ray transients as an under-luminous class of supergiant X-ray binaries. *Advances in Space*

- Research, vol. 55, pages 1255-1263, 2015.
- Brandt, W. M. and Matt, G. Iron K-Alpha Lines from Ionized Discs in Z-Type X-Ray. MNRAS, vol. 268, page 1051, 1994.
- Cackett, E. M. and Miller, J. M. Broad Iron Lines in Neutrons Stars: Dynamical Broadening or Wind Scattering? ApJ, vol. 777, page 47, 2013.
- Casares, J., Negueruela, I., Ribó, M., Ribas, I., Paredes, J. M., Herrero, A. and Simón-Díaz, S. A Be-type star with a black-hole companion. Nature, vol. 505, pages 378-381, 2014.
- Casares, J., Ribó, M., Ribas, I., Paredes, J. M., Martí, J. and Herrero, A. A possible black hole in the γ -ray microquasar LS 5039. MNRAS, vol. 364, pages 899-908, 2005.
- Cash, W. Parameter estimation in astronomy through application of the likelihood ratio. ApJ, vol. 228, pages 939-947, 1979.
- Cassinelli, J. P. and Olson, G. L. The effects of coronal regions on the X-ray flux and ionization conditions in the winds of OB supergiants and Of stars. ApJ, vol. 229, pages 304-317, 1979.
- Castor, J. I., Abbott, D. C. and Klein, R. I. Radiation-driven winds in Of stars. ApJ, vol. 195, pages 157-174, 1975a.
- Castor, J. I., Abbott, D. C. and Klein, R. I. Radiation-driven winds in Of stars. ApJ, vol. 195, pages 157-174, 1975b.
- Chaty, S. Nature, Formation, and Evolution of High Mass X-Ray Binaries. In Evolution of Compact Binaries (edited by L. Schmidtobreick, M. R. Schreiber and C. Tappert), vol. 447 of Astronomical Society of the Pacific Conference Series, page 29. 2011.
- Chaty, S. and Rahoui, F. Broadband ESO/VISIR-Spitzer Infrared Spectroscopy of the Obscured Supergiant X-Ray Binary IGR J16318-4848. ApJ, vol. 751, page 150, 2012.
- Chaty, S., Rahoui, F., Foellmi, C., Tomsick, J. A., Rodriguez, J. and Walter, R. Multi-wavelength observations of Galactic hard X-ray sources discovered by INTEGRAL. I. The nature of the companion star. A&A, vol. 484, pages 783-800, 2008.
- Chodil, G., Mark, H., Rodrigues, R., Seward, F. D. and Swift, C. D. X-Ray Intensities and Spectra from Several Cosmic Sources. ApJ, vol. 150, page 57, 1967.
- Clark, D. J., Hill, A. B., Bird, A. J., McBride, V. A., Scaringi, S. and Dean, A. J. Discovery of the orbital period in the supergiant fast X-ray transient IGR J17544-2619. MNRAS, vol. 399, pages L113-L117, 2009.
- Clark, J. S., Goodwin, S. P., Crowther, P. A., Kaper, L., Fairbairn, M., Langer, N. and Brocksopp, C. Physical parameters of the high-mass X-ray binary 4U1700-37. A&A, vol. 392, pages 909-920, 2002.
- Coe, M. J., Fabregat, J., Negueruela, I., Roche, P. and Steele, I. A. Discovery of the optical counterpart to the ASCA transient AX 1845.0-0433. MNRAS, vol. 281, pages 333-338, 1996.
- Coleiro, A., Chaty, S., Zurita Heras, J. A., Rahoui, F. and Tomsick, J. A. Infrared identification of high-mass X-ray binaries discovered by INTEGRAL. A&A, vol. 560, page A108, 2013.
- Conti, P. S. and Cowley, A. P. Spectroscopic observations of the X-ray binary HD 153919 = 3U 1700 - 37. ApJ, vol. 200, pages 133-144, 1975.
- Corbet, R., Barbier, L., Barthelmy, S., Cummings, J., Fenimore, E., Gehrels, N.,

- Hullinger, D., Krimm, H., Markwardt, C., Palmer, D., Parsons, A., Sakamoto, T., Sato, G., Tueller, J. and Swift-Survey Team. Swift/BAT Discovery of the Orbital Period of IGR J16320-4751. *The Astronomer's Telegram*, vol. 649, page 1, 2005.
- Cox, N. L. J., Kaper, L. and Mokiem, M. R. VLT/UVES spectroscopy of the O supergiant companion to <ASTROBJ>4U 1907+09(7). *A&A*, vol. 436, pages 661-669, 2005.
- Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., Beichman, C. A., Carpenter, J. M., Chester, T., Cambresy, L., Evans, T., Fowler, J., Gizis, J., Howard, E., Huchra, J., Jarrett, T., Kopan, E. L., Kirkpatrick, J. D., Light, R. M., Marsh, K. A., McCallon, H., Schneider, S., Stiening, R., Sykes, M., Weinberg, M., Wheaton, W. A., Wheelock, S. and Zacarias, N. VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri+ 2003). *VizieR Online Data Catalog*, vol. 2246, page 0, 2003.
- Davidson, K. Accretion at a Magnetic Pole of a Neutron Star. *Nature*, vol. 246, page 1, 1973.
- Davies, R. E., Fabian, A. C. and Pringle, J. E. Spindown of neutron stars in close binary systems. *MNRAS*, vol. 186, pages 779-782, 1979.
- Davies, R. E. and Pringle, J. E. Spindown of neutron stars in close binary systems. II. *MNRAS*, vol. 196, pages 209-224, 1981.
- Diaz Trigo, M., Sidoli, L., Boirin, L. and Parmar, A. N. XMM-Newton observations of GX 13 + 1: correlation between photoionised absorption and broad line emission. *A&A*, vol. 543, page A50, 2012.
- Drave, S. P., Bird, A. J., Sidoli, L., Sguera, V., Bazzano, A., Hill, A. B. and Goossens, M. E. New insights on accretion in supergiant fast X-ray transients from XMM-Newton and INTEGRAL observations of IGR J17544-2619. *MNRAS*, vol. 439, pages 2175-2185, 2014.
- Drave, S. P., Bird, A. J., Sidoli, L., Sguera, V., McBride, V. A., Hill, A. B., Bazzano, A. and Goossens, M. E. INTEGRAL and XMM-Newton observations of IGR J16418-4532: evidence of accretion regime transitions in a supergiant fast X-ray transient. *MNRAS*, vol. 433, pages 528-542, 2013.
- Drave, S. P., Bird, A. J., Townsend, L. J., Hill, A. B., McBride, V. A., Sguera, V., Bazzano, A. and Clark, D. J. X-ray pulsations from the region of the supergiant fast X-ray transient IGR J17544-2619. *A&A*, vol. 539, page A21, 2012.
- Dubus, G. Gamma-ray binaries and related systems. *A&A Rev.*, vol. 21, page 64, 2013.
- Ducati, J. R. VizieR Online Data Catalog: Catalogue of Stellar Photometry in Johnson's 11-color system. *VizieR Online Data Catalog*, vol. 2237, page 0, 2002.
- Dupree, A. K., Gursky, H., Black, J. H., Davis, R. J., Hartmann, L., Matilsky, T., Raymond, J. C., Hammerschlag-Hensberge, G., van den Heuvel, E. P. J., Burger, M., Lamers, H. J. G. L. M., Vanden Bout, P. A., Morton, D. C., De Loore, C., van Dessel, E. L., Menzies, J. W., Whitelock, P. A., Watson, M., Sanford, P. W. and Pollard, G. S. G. Simultaneous ultraviolet, optical, and X-ray observations of the X-ray source VELA X-1 /HD 77581/. *ApJ*, vol. 238, pages 969-981, 1980.
- Duro, R., Dauser, T., Wilms, J., Pottschmidt, K., Nowak, M. A., Fritz, S., Kendziorra, E., Kirsch, M. G. F., Reynolds, C. S. and Staubert, R. The broad iron K α line of Cygnus X-1 as seen by XMM-Newton in the EPIC-pn modified timing mode. *A&A*, vol. 533,

page L3, 2011.

Eikmann, W. Monte Carlo simulations of X-ray absorption in the interstellar medium. Thesis, Dr. Karl Remeis Observatory Bamberg, Astronomical Institute of the Friedrich-Alexander-University of Erlangen-Nürnberg, 2012.

Ekström, S., Georgy, C., Eggenberger, P., Meynet, G., Mowlavi, N., Wyttenbach, A., Granada, A., Decressin, T., Hirschi, R., Frischknecht, U., Charbonnel, C. and Maeder, A. Grids of stellar models with rotation. I. Models from 0.8 to 120 M at solar metallicity ($Z = 0.014$). *A&A*, vol. 537, page A146, 2012.

Elsner, R. F. and Lamb, F. K. Accretion flows in the magnetospheres of VELA X-1, AO535 + 26 and HER X-1. *Nature*, vol. 262, pages 356-360, 1976.

Feldmeier, A., Anzer, U., Boerner, G. and Nagase, F. VELA X-1: how to produce asymmetric eclipses. *A&A*, vol. 311, pages 793-802, 1996.

Feldmeier, A., Puls, J. and Pauldrach, A. W. A. A possible origin for X-rays from O stars. *A&A*, vol. 322, pages 878-895, 1997.

Ferrigno, C., Becker, P. A., Segreto, A., Mineo, T. and Santangelo, A. Study of the accreting pulsar 4U 0115+63 using a bulk and thermal Comptonization model. *A&A*, vol. 498, pages 825-836, 2009.

Filliatre, P. and Chaty, S. The Optical/Near-Infrared Counterpart of the INTEGRAL Obscured Source IGR J16318-4848: An sgB[e] in a High-Mass X-Ray Binary? *ApJ*, vol. 616, pages 469-484, 2004.

Fiocchi, M., Bazzano, A., Bird, A. J., Drave, S. P., Natalucci, L., Persi, P., Piro, L. and Ubertini, P. The INTEGRAL Source IGR J16328-4726: A High-mass X-Ray Binary from the BeppoSAX Era. *ApJ*, vol. 762, page 19, 2013.

Fitzpatrick, E. L. Correcting for the Effects of Interstellar Extinction. *PASP*, vol. 111, pages 63-75, 1999.

Frank, J., King, A. and Raine, D. *Accretion Power in Astrophysics*. Cambridge, 2002.

Fraser, M., Dufton, P. L., Hunter, I. and Ryans, R. S. I. Atmospheric parameters and rotational velocities for a sample of Galactic B-type supergiants. *MNRAS*, vol. 404, pages 1306-1320, 2010.

Fürst, F., Suchy, S., Kreykenbohm, I., Barragán, L., Wilms, J., Pottschmidt, K., Caballero, I., Kretschmar, P., Ferrigno, C. and Rothschild, R. E. Study of the many fluorescent lines and the absorption variability in GX 301-2 with XMM-Newton. *A&A*, vol. 535, page A9, 2011.

Giménez-García, A., Torrejon, J. M., Eikmann, W., Martínez-Núñez, S., Oskinova, L. M., Rodes-Roca, J. J. and Bernabèu, G. An XMM-Newton view of FeK α in high-mass X-ray binaries. *A&A*, vol. 576, page A108, 2015.

González-Fernández, C., Asensio Ramos, A., Garzon, F., Cabrera-Lavers, A. and Hammersley, P. L. Infrared Extinction in the Inner Milky Way through Red Clump Giants. *ApJ*, vol. 782, page 86, 2014.

González-Galán, A. Fundamental properties of High-Mass X-ray Binaries. *ArXiv e-prints*, 2015.

González-Galán, A., Negueruela, I., Castro, N., Simón-Díaz, S., Lorenzo, J. and Villarreal, F. Astrophysical parameters and orbital solution of the peculiar X-ray transient

- IGR J00370+6122. *A&A*, vol. 566, page A131, 2014a.
- González-Galian, A., Negueruela, I., Castro, N., Simon-Diaz, S., Lorenzo, J. and Vilardeell, F. Astrophysical parameters and orbital solution of the peculiar X-ray transient IGR J00370+6122. *A&A*, vol. 566, page A131, 2014b.
- González-Riestra, R., Oosterbroek, T., Kuulkers, E., Orr, A. and Parmar, A. N. XMM-Newton observations of the INTEGRAL X-ray transient IGR J17544-2619. *A&A*, vol. 420, pages 589-594, 2004.
- Gottwald, M., Parmar, A. N., Reynolds, A. P., White, N. E., Peacock, A. and Taylor, B. G. The EXOSAT GSPC iron line catalog. *A&AS*, vol. 109, pages 9-28, 1995.
- Grady, C. A., Bjorkman, K. S. and Snow, T. P. Highly ionized stellar winds in Be stars - The evidence for aspect dependence. *ApJ*, vol. 320, pages 376-397, 1987.
- Gräfener, G., Koesterke, L. and Hamann, W.-R. Line-blanketed model atmospheres for WR stars. *A&A*, vol. 387, pages 244-257, 2002.
- Gray, D. F. Atmospheric turbulence measured in stars above the main sequence. *ApJ*, vol. 202, pages 148-164, 1975.
- Grimm, H.-J., Gilfanov, M. and Sunyaev, R. The Milky Way in X-rays for an outside observer. Log(N)-Log(S) and luminosity function of X-ray binaries from RXTE/ASM data. *A&A*, vol. 391, pages 923-944, 2002.
- Hamann, W.-R. and Gräfener, G. A temperature correction method for expanding atmospheres. *A&A*, vol. 410, pages 993-1000, 2003.
- Hanke, M., Wilms, J., Nowak, M. A., Pottschmidt, K., Schulz, N. S. and Lee, J. C. Chandra X-Ray Spectroscopy of the Focused Wind in the Cygnus X-1 System. I. The Nondip Spectrum in the Low/Hard State. *ApJ*, vol. 690, pages 330-346, 2009.
- Harding, A. K. and Leventhal, M. Can accretion onto isolated neutron stars produce gamma-ray bursts? *Nature*, vol. 357, page 388, 1992.
- Heap, S. R. and Corcoran, M. F. Properties of the massive X-ray binary 4U 1700 - 37 = HD 153919. *ApJ*, vol. 387, pages 340-346, 1992.
- Hillier, D. J., Bouret, J.-C., Lanz, T. and Busche, J. R. The influence of rotation on optical emission profiles of O stars. *MNRAS*, vol. 426, pages 1043-1049, 2012.
- Howarth, I. D., Siebert, K. W., Hussain, G. A. J. and Prinja, R. K. Cross-correlation characteristics of OB stars from IUE spectroscopy. *MNRAS*, vol. 284, pages 265-285, 1997.
- Hoyle, F. and Lyttleton, R. A. The effect of interstellar matter on climatic variation. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 35, page 405, 1939.
- Hutchings, J. B., Cowley, A. P., Crampton, D., van Paradijs, J. and White, N. E. Centaurus X-3. *ApJ*, vol. 229, pages 1079-1084, 1979.
- In't Zand, J. J. M. Chandra observation of the fast X-ray transient IGR J17544-2619: evidence for a neutron star? *A&A*, vol. 441, pages L1-L4, 2005.
- Jones, C., Forman, W., Tananbaum, H., Schreier, E., Gursky, H., Kellogg, E. and Giacconi, R. Evidence for the Binary Nature of 2u 1700-37. *ApJ*, vol. 181, page L43, 1973.
- Joss, P. C. and Rappaport, S. A. Neutron Stars in Interacting Binary Systems. *ARA&A*, vol. 22, pages 537-592, 1984.
- Kallman, T. R. Emission lines from X ray binaries. In *Two Topics in X-Ray Astronomy*,

- Volume 1: X Ray Binaries. Volume 2: AGN and the X Ray Background (edited by J. Hunt and B. Battrick), vol. 296 of ESA Special Publication, pages 157-161. 1989.
- Kallman, T. R., Palmeri, P., Bautista, M. A., Mendoza, C. and Krolik, J. H. Photoionization Modeling and the K Lines of Iron. *ApJS*, vol. 155, pages 675-701, 2004.
- Kaper, L., Hammerschlag-Hensberge, G. and Zuiderwijk, E. J. Spectroscopic evidence for photo-ionization wakes in VELA X-1 and 4U 1700-37. *A&A*, vol. 289, pages 846-854, 1994.
- Kaper, L., van der Meer, A. and Najarro, F. VLT/UVES spectroscopy of Wray 977, the hypergiant companion to the X-ray pulsar GX301-2. *A&A*, vol. 457, pages 595-610, 2006.
- Karasev, D. I., Lutovinov, A. A. and Burenin, R. A. AXJ1749.1-2733 and AXJ1749.2-2725 - the close pair of X-ray pulsars behind the Galactic Centre: an optical identification. *MNRAS*, vol. 409, pages L69-L73, 2010.
- Karino, S. Bimodality of wind-fed accretion in high-mass X-ray binaries. *PASJ*, vol. 66, page 34, 2014.
- Kaufer, A., Stahl, O., Tubbesing, S., Nørregaard, P., Avila, G., Francois, P., Pasquini, L. and Pizzella, A. Commissioning FEROS, the new high-resolution spectrograph at La-Silla. *The Messenger*, vol. 95, pages 8-12, 1999.
- Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Roeser, S., Schilbach, E. and Scholz, R.-D. Catalogue of Open Cluster Data (COCD) (Kharchenko+, 2005). *VizieR Online Data Catalog*, vol. 343, page 81163, 2005.
- Kinugasa, K., Torii, K., Hashimoto, Y., Tsunemi, H., Hayashida, K., Kitamoto, S., Kamata, Y., Dotani, T., Nagase, F., Sugizaki, M., Ueda, Y., Kawai, N., Makishima, K. and Yamauchi, S. Discovery of the Faint X-Ray Pulsar AX J1820.5-1434 with ASCA. *ApJ*, vol. 495, page 435, 1998.
- Kirsch, M. G. F., Schönherr, G., Kendziorra, E., Freyberg, M. J., Martin, M., Wilms, J., Mukerjee, K., Breittellner, M. G., Smith, M. J. S. and Staubert, R. The XMM-Newton view of the Crab. *A&A*, vol. 453, pages 173-180, 2006.
- Koenigsberger, G., Moreno, E. and Harrington, D. M. Tidal effects on the radial velocity curve of HD 77581 (Vela X-1). *A&A*, vol. 539, page A84, 2012.
- Kreykenbohm, I., Coburn, W., Wilms, J., Kretschmar, P., Staubert, R., Heindl, W. A. and Rothschild, R. E. Confirmation of two cyclotron lines in Vela X-1. *A&A*, vol. 395, pages 129-140, 2002.
- Kreykenbohm, I., Wilms, J., Kretschmar, P., Torrejon, J. M., Pottschmidt, K., Hanke, M., Santangelo, A., Ferrigno, C. and Staubert, R. High variability in Vela X-1: giant flares and off states. *A&A*, vol. 492, pages 511-525, 2008.
- Krtić, J., Feldmeier, A., Oskinova, L. M., Kubacki, J. and Hamann, W.-R. X-ray emission from hydrodynamical simulations in non-LTE wind models. *A&A*, vol. 508, pages 841-848, 2009.
- Krtić, J., Kubacki, J. and Krtić, I. X-ray irradiation of the winds in binaries with massive components. *A&A*, vol. 579, page A111, 2015.
- Kudritzki, R.-P. and Puls, J. Winds from Hot Stars. *ARA&A*, vol. 38, pages 613-666, 2000.
- Kühnel, M., Müller, S., Kreykenbohm, I., Fürst, F., Pottschmidt, K., Rothschild, R. E.,

- Caballero, I., Grinberg, V., Schönherr, G., Shrader, C., Klochkov, D., Staubert, R., Ferrigno, C., Torrejon, J.-M., Martínez-Núñez, S. and Wilms, J. GRO J1008-57: an (almost) predictable transient X-ray binary. *A&A*, vol. 555, page A95, 2013.
- Lamers, H. J. G. L. M., Snow, T. P. and Lindholm, D. M. Terminal Velocities and the Bistability of Stellar Winds. *ApJ*, vol. 455, page 269, 1995.
- Langer, N. Helium enrichment in massive early type stars. *A&A*, vol. 265, pages L17-L20, 1992.
- Langer, N. Presupernova Evolution of Massive Single and Binary Stars. *ARA&A*, vol. 50, pages 107-164, 2012.
- Langer, S. H. and Rappaport, S. Low-luminosity accretion onto magnetized neutron stars. *ApJ*, vol. 257, pages 733-751, 1982.
- Liu, Q. Z., van Paradijs, J. and van den Heuvel, E. P. J. Catalogue of high-mass X-ray binaries in the Galaxy (4th edition). *A&A*, vol. 455, pages 1165-1168, 2006.
- Lopes de Oliveira, R. A new class of X-ray emitters: the ζ Cassiopeiae-like sources. phdthesis, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, R. do Matão 1226, 05508-090 São Paulo, Brazil Observatoire Astronomique, UMR 7550 CNRS, Université Louis Pasteur, 11 rue de l'Université, 67000 Strasbourg, France <EMAIL>rlopes@astro.iag.usp.br;</EMAIL>, 2007.
- Lopes de Oliveira, R. and Motch, C. A Hard and Variable X-ray Emission from the Massive Emission-line Star HD 157832. *ApJ*, vol. 731, page L6, 2011.
- Lopes de Oliveira, R., Motch, C., Haberl, F., Negueruela, I. and Janot-Pacheco, E. New ζ Cassiopeiae-like objects: X-ray and optical observations of SAO 49725 and HD 161103. *A&A*, vol. 454, pages 265-276, 2006.
- Lopes de Oliveira, R., Smith, M. A. and Motch, C. ζ Cassiopeiae: an X-ray Be star with personality. *A&A*, vol. 512, page A22, 2010.
- López-Corredoira, M., Cabrera-Lavers, A., Garzón, F. and Hammersley, P. L. Old stellar Galactic disc in near-plane regions according to 2MASS: Scales, cut-off, flare and warp. *A&A*, vol. 394, pages 883-899, 2002.
- Lorenzo, J., Negueruela, I., Castro, N., Norton, A. J., Vilardell, F. and Herrero, A. Astrophysical parameters of the peculiar X-ray transient IGR J11215-5952. *A&A*, vol. 562, page A18, 2014.
- Lucy, L. B. and Solomon, P. M. Mass Loss by Hot Stars. *ApJ*, vol. 159, page 879, 1970.
- Lumb, D. H., Schartel, N. and Jansen, F. A. XMM-Newton (X-Ray Multi-Mirror Mission) Observatory. ArXiv e-prints, 2012.
- Lutovinov, A., Rodríguez, J., Revnivtsev, M. and Shtykovskiy, P. Discovery of X-ray pulsations from IGR J16320-4751 = AX J1631.9-4752. *A&A*, vol. 433, pages L41-L44, 2005.
- Lutovinov, A. A., Revnivtsev, M. G., Tsygankov, S. S. and Krivonos, R. A. Population of persistent high-mass X-ray binaries in the Milky Way. *MNRAS*, vol. 431, pages 327-341, 2013.
- Manousakis, A. and Walter, R. X-ray wind tomography of the highly absorbed HMXB IGR J17252-3616. *A&A*, vol. 526, page A62, 2011.
- Manousakis, A. and Walter, R. The stellar wind velocity field of HD 77581. ArXiv e-prints,

2015.

154

Bibliography

- Manousakis, A., Walter, R. and Blondin, J. M. Neutron star masses from hydrodynamical effects in obscured supergiant high mass X-ray binaries. *A&A*, vol. 547, page A20, 2012.
- Martin, R. G., Nixon, C., Armitage, P. J., Lubow, S. H. and Price, D. J. Giant Outbursts in Be/X-Ray Binaries. *ApJ*, vol. 790, page L34, 2014.
- Martín Inez-Núñez, S., Sander, A., Giménez-García, A., González-Galán, A., Torrejón, J. M., González-Fernández, C. and Hamann, W.-R. The donor star of the X-ray pulsar X1908+075. *A&A*, vol. 578, page A107, 2015.
- Martín Inez-Núñez, S., Torrejón, J. M., Kühnel, M., Kretschmar, P., Stuhlinger, M., Rodes-Roca, J. J., Fürst, F., Kreykenbohm, I., Martín-Carrillo, A., Pollock, A. M. T. and Wilms, J. The accretion environment in Vela X-1 during a flaring period using XMM-Newton. *A&A*, vol. 563, page A70, 2014.
- Martins, F., Schaerer, D. and Hillier, D. J. A new calibration of stellar parameters of Galactic O stars. *A&A*, vol. 436, pages 1049-1065, 2005.
- Masetti, N., Pretorius, M. L., Palazzi, E., Bassani, L., Bazzano, A., Bird, A. J., Charles, P. A., Dean, A. J., Malizia, A., Nkundabakura, P., Stephen, J. B. and Ubertini, P. Unveiling the nature of INTEGRAL objects through optical spectroscopy. III. Observations of seven southern sources. *A&A*, vol. 449, pages 1139-1149, 2006.
- Mason, A. B., Clark, J. S., Norton, A. J., Crowther, P. A., Tauris, T. M., Langer, N., Negueruela, I. and Roche, P. The evolution and masses of the neutron star and donor star in the high mass X-ray binary OAO 1657-415. *MNRAS*, vol. 422, pages 199-206, 2012.
- Mason, A. B., Clark, J. S., Norton, A. J., Negueruela, I. and Roche, P. Spectral classification of the mass donors in the high-mass X-ray binaries EXO 1722-363 and OAO 1657-415. *A&A*, vol. 505, pages 281-286, 2009.
- McClintock, J. E., Rappaport, S., Joss, P. C., Bradt, H., Buff, J., Clark, G. W., Hearn, D., Lewin, W. H. G., Matilsky, T., Mayer, W. and Primini, F. Discovery of a 283-second periodic variation in the X-ray source 3U 0900-40. *ApJ*, vol. 206, pages L99-L102, 1976.
- Megier, A., Strobel, A., Galazutdinov, G. A. and Krękowski, J. The interstellar Ca II distance scale. *A&A*, vol. 507, pages 833-840, 2009.
- Meilland, A., Millour, F., Kanaan, S., Stee, P., Petrov, R., Hofmann, K.-H., Natta, A. and Perraut, K. First spectro-interferometric survey of Be stars. I. Observations and constraints on the disk geometry and kinematics. *A&A*, vol. 538, page A110, 2012.
- Meszaros, P., Harding, A. K., Kirk, J. G. and Galloway, D. J. Accreting X-ray pulsar atmospheres heated by Coulomb deceleration of protons. *ApJ*, vol. 266, pages L33-L37, 1983.
- Mewe, R., Gronenschild, E. H. B. M. and van den Oord, G. H. J. Calculated X-radiation from optically thin plasmas. V. *A&AS*, vol. 62, pages 197-254, 1985.
- Nagase, F. Accretion-powered X-ray pulsars. *PASJ*, vol. 41, pages 1-79, 1989.
- Negueruela, I. and Reig, P. *Bd +60 73 = Igr J00370+6122*. *The Astronomer's Telegram*, vol. 285, page 1, 2004.
- Negueruela, I., Roche, P., Fabregat, J. and Coe, M. J. The Be/X-ray transient V0332+53:

- evidence for a tilt between the orbit and the equatorial plane? *MNRAS*, vol. 307, pages 695-702, 1999.
- Negueruela, I., Smith, D. M., Harrison, T. E. and Torrealba, J. M. The Optical Counterpart to the Peculiar X-Ray Transient XTE J1739-302. *ApJ*, vol. 638, pages 982-986, 2006.
- Negueruela, I., Torrealba, J. M., Reig, P., Ribó, M. and Smith, D. M. Supergiant Fast X-ray Transients and Other Wind Accretors. In *A Population Explosion: The Nature & Evolution of X-ray Binaries in Diverse Environments* (edited by R. M. Bandyopadhyay, S. Wachter, D. Gelino, & C. R. Gelino), vol. 1010 of American Institute of Physics Conference Series, pages 252-256. 2008a.
- Negueruela, I., Torrealba, J. M., Reig, P., Ribó, M. and Smith, D. M. Supergiant Fast X-ray Transients and Other Wind Accretors. In *A Population Explosion: The Nature & Evolution of X-ray Binaries in Diverse Environments* (edited by R. M. Bandyopadhyay, S. Wachter, D. Gelino and C. R. Gelino), vol. 1010 of American Institute of Physics Conference Series, pages 252-256. 2008b.
- Nespoli, E., Fabregat, J. and Mennickent, R. K-band Spectroscopy of AX J1841.0-0536 and IGR J19140+0951. *The Astronomer's Telegram*, vol. 983, page 1, 2007.
- Nespoli, E., Fabregat, J. and Mennickent, R. E. Unveiling the nature of six HMXBs through IR spectroscopy. *A&A*, vol. 486, pages 911-917, 2008.
- Ng, C., Diaz Trigo, M., Cadolle Bel, M. and Migliari, S. A systematic analysis of the broad iron K α line in neutron-star LMXBs with XMM-Newton. *A&A*, vol. 522, page A96, 2010.
- Novotny, E. *Introduction to stellar atmospheres and interiors*. 1973.
- Oskinova, L. M., Feldmeier, A. and Kretschmar, P. Clumped stellar winds in supergiant high-mass X-ray binaries: X-ray variability and photoionization. *MNRAS*, vol. 421, pages 2820-2831, 2012.
- Oskinova, L. M., Hamann, W.-R., Cassinelli, J. P., Brown, J. C. and Todt, H. X-ray emission from massive stars with magnetic fields. *Astronomische Nachrichten*, vol. 332, page 988, 2011.
- Oskinova, L. M., Hamann, W.-R. and Feldmeier, A. Neglecting the porosity of hot-star winds can lead to underestimating mass-loss rates. *A&A*, vol. 476, pages 1331-1340, 2007.
- Packet, W. On the spin-up of the mass accreting component in a close binary system. *A&A*, vol. 102, pages 17-19, 1981.
- Pellizza, L. J., Chaty, S. and Negueruela, I. <ASTROBJ>IGR J17544-2619</ASTROBJ>: a new supergiant fast X-ray transient revealed by optical/infrared observations. *A&A*, vol. 455, pages 653-658, 2006a.
- Pellizza, L. J., Chaty, S. and Negueruela, I. IGR J17544-2619: a new supergiant fast X-ray transient revealed by optical/infrared observations. *A&A*, vol. 455, pages 653-658, 2006b.
- Porter, J. M. and Rivinius, T. Classical Be Stars. *PASP*, vol. 115, pages 1153-1170, 2003.
- Puls, J., Vink, J. S. and Najarro, F. Mass loss from hot massive stars. *A&A Rev.*, vol. 16, pages 209-325, 2008.

- Quaintrell, H., Norton, A. J., Ash, T. D. C., Roche, P., Willems, B., Bedding, T. R., Baldry, I. K. and Fender, R. P. The mass of the neutron star in Vela X-1 and tidally induced non-radial oscillations in GP Vel. *A&A*, vol. 401, pages 313-323, 2003.
- Quirrenbach, A., Bjorkman, K. S., Bjorkman, J. E., Hummel, C. A., Buscher, D. F., Armstrong, J. T., Mozurkewich, D., Elias, N. M., II and Babler, B. L. Constraints on the Geometry of Circumstellar Envelopes: Optical Interferometric and Spectropolarimetric Observations of Seven Be Stars. *ApJ*, vol. 479, pages 477-496, 1997.
- Rahoui, F. and Chaty, S. IGR J18483-0311: a new intermediate supergiant fast X-ray transient. *A&A*, vol. 492, pages 163-166, 2008.
- Rahoui, F., Chaty, S., Lagage, P.-O. and Pantin, E. Multi-wavelength observations of Galactic hard X-ray sources discovered by INTEGRAL. II. The environment of the companion star. *A&A*, vol. 484, pages 801-813, 2008.
- Rakowski, C. E., Schulz, N. S., Wolk, S. J. and Testa, P. Extraordinarily Hot X-Ray Emission from the O9 Emission-Line Star HD 119682. *ApJ*, vol. 649, pages L111-L114, 2006.
- Rampy, R. A., Smith, D. M. and Negueruela, I. IGR J17544-2619 in Depth With Suzaku: Direct Evidence for Clumpy Winds in a Supergiant Fast X-ray Transient. *ApJ*, vol. 707, pages 243-249, 2009.
- Rauw, G., Nazari, Y., Spano, M., Morel, T. and ud-Doula, A. HD 45314: a new ζ Cassiopeiae analog among Oe stars. *A&A*, vol. 555, page L9, 2013.
- Rayner, J. T., Toomey, D. W., Onaka, P. M., Denault, A. J., Stahlberger, W. E., Vacca, W. D., Cushing, M. C. and Wang, S. SpeX: A Medium-Resolution 0.8-5.5 Micron Spectrograph and Imager for the NASA Infrared Telescope Facility. *PASP*, vol. 115, pages 362-382, 2003.
- Reig, P. Be/X-ray binaries. *Ap&SS*, vol. 332, pages 1-29, 2011.
- Reig, P., Negueruela, I., Fabregat, J., Chato, R. and Coe, M. J. Long-term optical/IR variability of the Be/X-ray binary LS V +44 17/RX J0440.9+4431. *A&A*, vol. 440, pages 1079-1086, 2005.
- Reig, P. and Roche, P. Discovery of two new persistent Be/X-ray pulsar systems. *MNRAS*, vol. 306, pages 100-106, 1999.
- Reynolds, A. P., Bell, S. A. and Hilditch, R. W. Optical spectroscopy of the massive X-ray binary QV Nor (4U 1538 - 52). *MNRAS*, vol. 256, pages 631-640, 1992.
- Ribó, M., Negueruela, I., Blay, P., Torrejon, J. M. and Reig, P. Wind accretion in the massive X-ray binary 4U 2206+54: abnormally slow wind and a moderately eccentric orbit. *A&A*, vol. 449, pages 687-698, 2006.
- Riquelme, M. S., Torrejon, J. M. and Negueruela, I. Circumstellar emission in Be/X-ray binaries of the Magellanic Clouds and the Milky Way. *A&A*, vol. 539, page A114, 2012.
- Rivinius, T., Carciofi, A. C. and Martayan, C. Classical Be stars. Rapidly rotating B stars with viscous Keplerian accretion disks. *A&A Rev.*, vol. 21, page 69, 2013.
- Rivinius, T., Štefl, S. and Baade, D. Central quasi-emission peaks in shell spectra and the rotation of disks of Be stars. *A&A*, vol. 348, pages 831-842, 1999.
- Rodes-Roca, J. J., Page, K. L., Torrejon, J. M., Osborne, J. P. and Bernabèu, G. Detecting emission lines with XMM-Newton in 4U 1538-52. *A&A*, vol. 526, page A64, 2011.

- Romano, P., Bozzo, E., Mangano, V., Esposito, P., Israel, G., Tiengo, A., Campana, S., Ducci, L., Ferrigno, C. and Kennea, J. A. Giant outburst from the supergiant fast X-ray transient IGR J17544-2619: accretion from a transient disc? *A&A*, vol. 576, page L4, 2015.
- Romano, P., Krimm, H. A., Palmer, D. M., Ducci, L., Esposito, P., Vercellone, S., Evans, P. A., Guidorzi, C., Mangano, V., Kennea, J. A., Barthelmy, S. D., Burrows, D. N. and Gehrels, N. The 100-month Swift catalogue of supergiant fast X-ray transients. I. BAT on-board and transient monitor flares. *A&A*, vol. 562, page A2, 2014.
- Romano, P., La Parola, V., Vercellone, S., Cusumano, G., Sidoli, L., Krimm, H. A., Pagnani, C., Esposito, P., Hoversten, E. A., Kennea, J. A., Page, K. L., Burrows, D. N. and Gehrels, N. Two years of monitoring supergiant fast X-ray transients with Swift. *MNRAS*, vol. 410, pages 1825-1836, 2011a.
- Romano, P., Mangano, V., Cusumano, G., Esposito, P., Evans, P. A., Kennea, J. A., Vercellone, S., La Parola, V., Krimm, H. A., Burrows, D. N. and Gehrels, N. Confirmation of the supergiant fast X-ray transient nature of AX J1841.0-0536 from Swift outburst observations. *MNRAS*, vol. 412, pages L30-L34, 2011b.
- Sadakane, K., Hirata, R., Jugaku, J., Kondo, Y., Matsuoka, M., Tanaka, Y. and Hammerschlag-Hensberge, G. Ultraviolet spectroscopic observations of HD 77581 (Vela X-1 = 4U 0900-40). *ApJ*, vol. 288, pages 284-291, 1985a.
- Sadakane, K., Hirata, R., Jugaku, J., Kondo, Y., Matsuoka, M., Tanaka, Y. and Hammerschlag-Hensberge, G. Ultraviolet spectroscopic observations of HD 77581 (Vela X-1 = 4U 0900-40). *ApJ*, vol. 288, pages 284-291, 1985b.
- Sako, M., Liedahl, D. A., Kahn, S. M. and Paerels, F. The X-Ray Spectrum and Global Structure of the Stellar Wind in VELA X-1. *ApJ*, vol. 525, pages 921-934, 1999.
- Sander, A., Shenar, T., Hainich, R., Gómez-Iñeiza, A., Todt, H. and Hamann, W.-R. On the consistent treatment of the quasi-hydrostatic layers in hot star atmospheres. *A&A*, vol. 577, page A13, 2015.
- Sanford, P., Mason, K. O. and Ives, J. Observation of a line feature in the X-ray spectrum of Cygnus X-3. *MNRAS*, vol. 173, pages 9P-14P, 1975.
- Serlemitsos, P. J., Boldt, E. A., Holt, S. S., Ramaty, R. and Brisken, A. F. X-Ray Spectrum of Cassiopeia A: Evidence for Iron Line Emission. *ApJ*, vol. 184, page L1, 1973.
- Sguera, V., Bazzano, A., Bird, A. J., Dean, A. J., Ubertini, P., Barlow, E. J., Bassani, L., Clark, D. J., Hill, A. B., Malizia, A., Molina, M. and Stephen, J. B. Unveiling Supergiant Fast X-Ray Transient Sources with INTEGRAL. *ApJ*, vol. 646, pages 452-463, 2006.
- Sguera, V., Bird, A. J., Dean, A. J., Bazzano, A., Ubertini, P., Landi, R., Malizia, A., Barlow, E. J., Clark, D. J., Hill, A. B. and Molina, M. INTEGRAL and Swift observations of the supergiant fast X-ray transient AX J1845.0-0433 = IGR J18450-0435. *A&A*, vol. 462, pages 695-698, 2007a.
- Sguera, V., Hill, A. B., Bird, A. J., Dean, A. J., Bazzano, A., Ubertini, P., Masetti, N., Landi, R., Malizia, A., Clark, D. J. and Molina, M. IGR J18483-0311: an accreting X-ray pulsar observed by INTEGRAL. *A&A*, vol. 467, pages 249-257, 2007b.
- Shakura, N., Postnov, K., Kochetkova, A. and Hjalmarsdotter, L. Theory of quasi-

- spherical accretion in X-ray pulsars. *MNRAS*, vol. 420, pages 216–236, 2012a.
- Shakura, N., Postnov, K., Kochetkova, A. and Hjalmarsdotter, L. Theory of quasi-spherical accretion in X-ray pulsars. *MNRAS*, vol. 420, pages 216–236, 2012b.
- Shakura, N., Postnov, K., Sidoli, L. and Paizis, A. Bright flares in supergiant fast X-ray transients. *MNRAS*, vol. 442, pages 2325–2330, 2014.
- Shapiro, S. L., Lightman, A. P. and Eardley, D. M. A two-temperature accretion disk model for Cygnus X-1 - Structure and spectrum. *ApJ*, vol. 204, pages 187–199, 1976.
- Shenar, T., Hamann, W.-R. and Todt, H. The impact of rotation on the line profiles of Wolf-Rayet stars. *A&A*, vol. 562, page A118, 2014.
- Shenar, T., Oskinova, L., Hamann, W.-R., Corcoran, M. F., Moffat, A. F. J., Pablo, H., Richardson, N. D., Waldron, W. L., Huenemoerder, D. P., Matz, J., Apellániz, J., Nichols, J. S., Todt, H., Nazari, Y., Hoffman, J. L., Pollock, A. M. T. and Negueruela, I. A Coordinated X-Ray and Optical Campaign of the Nearest Massive Eclipsing Binary, ζ Orionis Aa. IV. A Multiwavelength, Non-LTE Spectroscopic Analysis. *ApJ*, vol. 809, page 135, 2015.
- Shenavrin, V. I., Taranova, O. G. and Nadzhip, A. E. Search for and study of hot circumstellar dust envelopes. *Astronomy Reports*, vol. 55, pages 31–81, 2011.
- Sidoli, L. Supergiant Fast X-ray Transients as transient sources in High Mass X-ray Binaries. *ArXiv e-prints*, 2011.
- Sidoli, L. Supergiant Fast X-ray Transients: a review. *ArXiv e-prints*, 2013.
- Sidoli, L., Romano, P., Mangano, V., Cusumano, G., Vercellone, S., Kennea, J. A., Paizis, A., Krimm, H. A., Burrows, D. N. and Gehrels, N. Monitoring Supergiant Fast X-ray Transients With Swift. III. Outbursts of the Prototypical Supergiant Fast X-ray Transients IGR J17544-2619 and XTE J1739-302. *ApJ*, vol. 690, pages 120–127, 2009.
- Silaj, J., Jones, C. E., Tycner, C., Sigut, T. A. A. and Smith, A. D. A Systematic Study of $H\beta$ Profiles of Be Stars. *ApJS*, vol. 187, pages 228–250, 2010.
- Simon-Diaz, S. and Herrero, A. Fourier method of determining the rotational velocities in OB stars. *A&A*, vol. 468, pages 1063–1073, 2007.
- Smith, D. M. Circumstantial evidence for a blue supergiant companion of IGR J16465-4507. *The Astronomer's Telegram*, vol. 338, page 1, 2004.
- Smith, D. M., Heindl, W. A., Markwardt, C. B., Swank, J. H., Negueruela, I., Harrison, T. E. and Huss, L. XTE J1739-302 as a Supergiant Fast X-Ray Transient. *ApJ*, vol. 638, pages 974–981, 2006.
- Smith, M. A. and Balona, L. The Remarkable Be Star HD 110432 (BZ Crucis). *ApJ*, vol. 640, pages 491–504, 2006.
- Steele, I. A., Negueruela, I., Coe, M. J. and Roche, P. The distances to the X-ray binaries LSI +61 deg 303 and A0535+262. *MNRAS*, vol. 297, page L5, 1998.
- Stockem Novo, A., Bret, A., Fonseca, R. A. and Silva, L. O. Physics of collisionless shocks - theory and simulation. *ArXiv e-prints*, 2015.
- Sunyaev, R. A., Grebenev, S. A., Lutovinov, A. A., Rodriguez, J., Mereghetti, S., Gotz, D. and Courvoisier, T. New source IGR J17544-2619 discovered with INTEGRAL. *The Astronomer's Telegram*, vol. 190, page 1, 2003.
- Tjemkes, S. A., van Paradijs, J. and Zuiderwijk, E. J. Optical light curves of massive X-ray

- binaries. *A&A*, vol. 154, pages 77-91, 1986.
- Tomsick, J. A., Lingenfelter, R., Walter, R., Rodriguez, J., Goldwurm, A., Corbel, S. and Kaaret, P. *Igr J16320-4751*. *IAU Circ.*, vol. 8076, page 1, 2003.
- Torrejón, J. M., Negueruela, I., Smith, D. M. and Harrison, T. E. Near-infrared survey of high mass X-ray binary candidates. *A&A*, vol. 510, page A61, 2010a.
- Torrejón, J. M., Schulz, N. S., Nowak, M. A. and Kallman, T. R. A Chandra Survey of Fluorescence Fe Lines in X-ray Binaries at High Resolution. *ApJ*, vol. 715, pages 947-958, 2010b.
- Touhami, Y., Gies, D. R. and Schaefer, G. H. The Infrared Continuum Sizes of Be Star Disks. *ApJ*, vol. 729, page 17, 2011.
- Šurlan, B., Hamann, W.-R., Kubiat, J., Oskinova, L. M. and Feldmeier, A. Three-dimensional radiative transfer in clumped hot star winds. I. Influence of clumping on the resonance line formation. *A&A*, vol. 541, page A37, 2012.
- van der Meer, A., Kaper, L., di Salvo, T., Mendez, M., van der Klis, M., Barr, P. and Trams, N. R. XMM-Newton X-ray spectroscopy of the high-mass X-ray binary 4U 1700-37 at low flux. *A&A*, vol. 432, pages 999-1012, 2005.
- van Loon, J. T., Kaper, L. and Hammerschlag-Hensberge, G. Modelling the orbital modulation of ultraviolet resonance lines in high-mass X-ray binaries. *A&A*, vol. 375, pages 498-526, 2001.
- Verner, D. A., Ferland, G. J., Korista, K. T. and Yakovlev, D. G. Atomic Data for Astrophysics. II. New Analytic FITS for Photoionization Cross Sections of Atoms and Ions. *ApJ*, vol. 465, page 487, 1996.
- Vidal, N. V., Wickramasinghe, D. T. and Peterson, B. A. HD 77581 AS the Optical Counterpart of 2u 0900-40. *ApJ*, vol. 182, page L77, 1973.
- Vink, J. S., de Koter, A. and Lamers, H. J. G. L. M. On the nature of the bi-stability jump in the winds of early-type supergiants. *A&A*, vol. 350, pages 181-196, 1999.
- Vink, J. S., de Koter, A. and Lamers, H. J. G. L. M. Mass-loss predictions for O and B stars as a function of metallicity. *A&A*, vol. 369, pages 574-588, 2001.
- Walter, R., Lutovinov, A. A., Bozzo, E. and Tsygankov, S. S. High-mass X-ray binaries in the Milky Way. A closer look with INTEGRAL. *A&A Rev.*, vol. 23, page 2, 2015.
- Walter, R. and Zurita Heras, J. Probing clumpy stellar winds with a neutron star. *A&A*, vol. 476, pages 335-340, 2007.
- Watanabe, S., Sako, M., Ishida, M., Ishisaki, Y., Kahn, S. M., Kohmura, T., Nagase, F., Paerels, F. and Takahashi, T. X-Ray Spectral Study of the Photoionized Stellar Wind in Vela X-1. *ApJ*, vol. 651, pages 421-437, 2006a.
- Watanabe, S., Sako, M., Ishida, M., Ishisaki, Y., Kahn, S. M., Kohmura, T., Nagase, F., Paerels, F. and Takahashi, T. X-Ray Spectral Study of the Photoionized Stellar Wind in Vela X-1. *ApJ*, vol. 651, pages 421-437, 2006b.
- Willingale, R., Starling, R. L. C., Beardmore, A. P., Tanvir, N. R. and O'Brien, P. T. Calibration of X-ray absorption in our Galaxy. *MNRAS*, vol. 431, pages 394-404, 2013.
- Wilms, J., Allen, A. and McCray, R. On the Absorption of X-Rays in the Interstellar Medium. *ApJ*, vol. 542, pages 914-924, 2000.
- Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., Henden, A., Bartlett, J. L., Monet, D. G. and

Zacharias, M. I. VizieR Online Data Catalog: UCAC4 Catalogue (Zacharias+, 2012).

VizieR Online Data Catalog, vol. 1322, page 0, 2012.

Ziolkowski, J. Be/X-ray binaries. Mem. Soc. Astron. Italiana, vol. 73, pages 1038-1038, 2002.

Ziolkowski, J. Evolutionary constraints on the masses of the components of the HDE 226868/Cyg X-1 binary system. MNRAS, vol. 358, pages 851-859, 2005.

Zuiderwijk, E. J. The rotation period of HD77581 (Vela X-1). A&A, vol. 299, page 79, 1995.