An X-ray view of gas and dust in the diffuse interstellar medium

Psaradaki, I.

Publication date
2021

Bibliography

Akaike, H. 1974, IEEE Transactions on Automatic Control, 19, 716

Altobelli, N., Kempf, S., Postberg, F., et al. 2018, in European Planetary Science Congress, EPSC2018–199

Baker, S. & Cousins, R. D. 1984, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 221, 437

Bałucińska-Church, M., Church, M. J., Charles, P. A., et al. 2000, MNRAS, 311, 861

Bałucińska-Church, M., Gibiec, A., Jackson, N. K., & Church, M. J. 2010, A&A, 512, A9

Barrus, D. M., Blake, R. L., Burek, A. J., Chambers, K. C., & Pregenzer, A. L. 1979, Phys. Rev. A, 20, 1045

Bell, K. L., Kingston, A. E., & Bates, D. R. 1967, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 136, 241

Boirin, L., Méndez, M., Díaz Trigo, M., Parmar, A. N., & Kaastra, J. S. 2005, A&A, 436, 195

Bolton, C. T. 1975, ApJ, 200, 269

Brinkman, A., Gunsing, C., Kaastra, J., et al. 2000, The Astrophysical journal, 530, L111

Brinkman, A. C., Dijkstra, J. H., Geerlings, W. F. P. A. L., et al. 1980, Appl. Opt., 19, 1601

Brocksopp, C., Tarasov, A. E., Lyuty, V. M., & Roche, P. 1999, A&A, 343, 861

Bunker, G. 2010, Cambridge U.K., Cambridge University press

Burnham, K. P. & Anderson, D. R. 2002, Springer

Canizares, C., Davis, J., Dewey, D., et al. 2005, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 117, 1144

Casares, J., Charles, P., & Kuulkers, E. 1998, ApJ, 493, L39

Cash, W. 1979, ApJ, 228, 939

Chiar, J. E. & Tielens, A. G. G. M. 2006, ApJ, 637, 774

Christian, D. J. & Swank, J. H. 1997, ApJS, 109, 177

Church, M. J., Bałucińska-Church, M., Dotani, T., & Asai, K. 1998, ApJ, 504, 516

Corrales, L., Valencic, L., Costantini, E., et al. 2019, BAAS, 51, 264

Corrales, L. R., García, J., Wilms, J., & Baganoff, F. 2016, MNRAS, 458, 1345

Costantini, E., Pinto, C., Kaastra, J. S., et al. 2012, A&A, 539, A32
Costantini, E., Zeegers, S. T., Rogantini, D., et al. 2019, A&A, 629, A78
Cottam, J., Kahn, S. M., Brinkman, A. C., den Herder, J. W., & Erd, C. 2001a, A&A, 365, L277
Cottam, J., Sako, M., Kahn, S. M., Paerels, F., & Liedahl, D. A. 2001b, ApJ, 557, L101
Cowan, R. 1981, The Theory of Atomic Structure and Spectra, Los Alamos Series in Basic and Applied Sciences (University of California Press)
Cowley, A. P., Crampton, D., & Hutchings, J. B. 1979, ApJ, 231, 539
de la Peña, F., Berger, M.-H., Hochepied, J.-F., et al. 2011, Ultramicroscopy, 111, 169
de Plaa, J., Kaastra, J. S., Tamura, T., et al. 2004, A&A, 423, 49
de Vries, C. P. & Costantini, E. 2009, A&A, 497, 393
Demyk, K., Carrez, P., Leroux, H., et al. 2001, A&A, 368, L38
den Herder, J. W., Brinkman, A. C., Kahn, S. M., et al. 2001, A&A, 365, L7
Díaz Trigo, M. & Boirin, L. 2013, Acta Polytechnica, 53, 659
Díaz Trigo, M. & Boirin, L. 2016, Astronomische Nachrichten, 337, 368
Díaz Trigo, M., Parmar, A. N., Boirin, L., Méndez, M., & Kaastra, J. S. 2006, A&A, 445, 179
Díaz Trigo, M., Parmar, A. N., Boirin, L., et al. 2009, A&A, 493, 145
Dijkstra, J. H., Lantwaard, L. J., & Timmerman, C. 1978, in New Instrumentation for Space Astronomy, ed. K. A. van der Hucht & G. Vaiana, 257–264
Done, C., Gierliński, M., & Kubota, A. 2007, A&A Rev., 15, 1
Draine, B. T. 2003, ARA&A, 41, 241
Draine, B. T. 2009, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 414, Cosmic Dust - Near and Far, ed. T. Henning, E. Grün, & J. Steinacker, 453
Draine, B. T. 2011, Physics of the Interstellar and Intergalactic Medium
Draine, B. T. & Lee, H. M. 1984, ApJ, 285, 89
Draine, B. T. & Li, A. 2001, ApJ, 551, 807
Duflot, M., Figon, P., & Meyssonnier, N. 1995, A&AS, 114, 269
Dwek, E. 2016, ApJ, 825, 136
Dwek, E., Zubko, V., Arendt, R. G., & Smith, R. K. 2004, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 309, Astrophysics of Dust, ed. A. N. Witt, G. C. Clayton, & B. T. Draine, 499
Eckersall, A. J., Vaughan, S., & Wynn, G. A. 2017, MNRAS, 471, 1468
Egerton, R. 2011, Springer, Boston, MA, 3rd Edition
Eiroa, C. & Hodapp, K. W. 1989, A&A, 210, 345
Feng, Y. X., Tennant, A. F., & Zhang, S. N. 2003, ApJ, 597, 1017
Field, G. B. & Cameron, A. G. W. 1975, The Dusty universe : proceedings of a symposium honoring Fred Lawrence Whipple on his retirement as director of the Smithsonian Astrophysical Observatory, October 17-19, 1973

Frank, J., King, A. R., & Lasota, J. P. 1987, A&A, 178, 137
Frati, F., Hunault, M. O. J. Y., & de Groot, F. M. F. 2020, Chemical Reviews, pMID: 32275144
Fruscione, A., McDowell, J. C., Allen, G. E., et al. 2006, in Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems, ed. D. R. Silva & R. E. Doxsey, Vol. 6270, International Society for Optics and Photonics (SPIE), 586 – 597
Gabriel, A. H. & Jordan, C. 1969, MNRAS, 145, 241
Gail, H.-P. & Hoppe, P. 2010, The Origins of Protoplanetary Dust and the Formation of Accretion Disks, ed. D. A. Apai & D. S. Lauretta, 27–65
Gail, H. P., Zhukovska, S. V., Hoppe, P., & Trieloff, M. 2009, ApJ, 698, 1136
Galloway, D. K., Muno, M. P., Hartman, J. M., Psaltis, D., & Chakrabarty, D. 2008, ApJS, 179, 360
García, J., Mendoza, C., Bautista, M. A., et al. 2005, ApJS, 158, 68
Garvie, L. 2010, American Mineralogist - AMER MINERAL, 95, 92
Gatuzz, E., García, J., Kallman, T. R., Mendoza, C., & Gorczyca, T. W. 2015, ApJ, 800, 29
Gatuzz, E., García, J., Mendoza, C., et al. 2014, ApJ, 790, 131
Gatuzz, E., García, J. A., Kallman, T. R., & Mendoza, C. 2016, A&A, 588, A111
Gies, D. R., Bolton, C. T., Blake, R. M., et al. 2008, ApJ, 678, 1237
Gorczyca, T. W., Bautista, M. A., Hasoglu, M. F., et al. 2013, ApJ, 779, 78
Grimmett, J. J., Heger, A., Karakas, A. I., & Müller, B. 2018, MNRAS, 479, 495
Grinberg, V., Leutenegger, M. A., Hell, N., et al. 2015, A&A, 576, A117
Hanke, M., Wilms, J., Nowak, M. A., et al. 2009, ApJ, 690, 330
Hasinger, G. & van der Klis, M. 1989, A&A, 225, 79
Heinz, S. & Corrales, L. 2016, Chandra News, 23, 1
Henke, B. L., Gullikson, E. M., & Davis, J. C. 1993, Atomic Data and Nuclear Data Tables, 54, 181
Henning, T. 2010, ARA&A, 48, 21
Hertz, P., Wood, K. S., & Cominsky, L. 1995, ApJ, 438, 385
Hertz, P., Wood, K. S., & Cominsky, L. R. 1997, ApJ, 486, 1000
HI4PI Collaboration, Ben Bekhti, N., Flöer, L., et al. 2016, A&A, 594, A116
Hoang, T. & Lazarian, A. 2016, ApJ, 831, 159
Hoffman, J. & Draine, B. T. 2016, ApJ, 817, 139
Huenemoerder, D. P., Mitschang, A., Dewey, D., et al. 2011, AJ, 141, 129
Jaeger, C., Molster, F. J., Dorschner, J., et al. 1998, A&A, 339, 904
Jenkins, E. B. 2009, ApJ, 700, 1299
Jiang, N. & Spence, J. 2006, Ultramicroscopy, 106, 215
Jimenez-Garate, M. A., Raymond, J. C., & Liedahl, D. A. 2002, ApJ, 581, 1297
Jimenez-Garate, M. A., Raymond, J. C., Liedahl, D. A., & Hailey, C. J. 2005, ApJ, 625, 931
Jimenez-Garate, M. A., Schulz, N. S., & Marshall, H. L. 2003, ApJ, 590, 432

Joachimi, K., Gatuzz, E., García, J. A., & Kallman, T. R. 2016, MNRAS, 461, 352
Jones, A. P. 1997, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 122, From Stardust to Planetesimals, ed. Y. J. Pendleton, 97
Jones, A. P., Duley, W. W., & Williams, D. A. 1990, QJRAS, 31, 567
Jones, A. P. & Nuth, J. A. 2011, A&A, 530, A44
Juett, A. M. 2004, in American Astronomical Society Meeting Abstracts, Vol. 205, American Astronomical Society Meeting Abstracts, 41.04
Juett, A. M., Schulz, N. S., Chakrabarty, D., & Gorczyca, T. W. 2006, ApJ, 648, 1066
Kaastra, J. S. 2017, A&A, 605, A51
Kaastra, J. S., de Vries, C. P., Costantini, E., & den Herder, J. W. A. 2009, A&A, 497, 291
Kaastra, J. S., Mewe, R., & Nieuwenhuijzen, H. 1996, in UV and X-ray Spectroscopy of Astrophysical and Laboratory Plasmas, 411–414
Kaastra, J. S., Raassen, A. J. J., de Plaa, J., & Gu, L. 2018, SPEX X-ray spectral fitting package
Kaastra, J. S., Raassen, T., & de Vries, C. 2010, in The Energetic Cosmos: from Suzaku to ASTRO-H, 70–73
Kalberla, P. M. W., Burton, W. B., Hartmann, D., et al. 2005, A&A, 440, 775
Kallman, T. & Bautista, M. 2001, ApJS, 133, 221
Kallman, T. R., Angelini, L., Boroson, B., & Cottam, J. 2003, ApJ, 583, 861
Keller, L. P. & Messenger, S. 2013, Geochim. Cosmochim. Acta, 107, 341
Kemper, F., de Koter, A., Waters, L. B. F. M., Bouwman, J., & Tielens, A. G. G. M. 2002, A&A, 384, 585
Kemper, F., Vriend, W. J., & Tielens, A. G. G. M. 2004, ApJ, 609, 826
Kimura, Y., Tanaka, K. K., Nozawa, T., Takeuchi, S., & Inatomi, Y. 2017, Science Advances, 3, e1601992
King, A. R. & Ritter, H. 1999, MNRAS, 309, 253
Kobayashi, C., Karakas, A. I., & Lugaro, M. 2020, ApJ, 900, 179
Kortright, J. B. & Kim, S.-K. 2000, Phys. Rev. B, 62, 12216
Kramers. 1927, Atti Cong. Intern Fisica, 545
Krolik, J. H., McKee, C. F., & Tarter, C. B. 1981, ApJ, 249, 422
Kronig. 1926, J. Opt. Soc. Am., 12, 547
Kuulkers, E., den Hartog, P. R., in't Zand, J. J. M., et al. 2003, A&A, 399, 663
Lee, J. 2009, in Chandra's First Decade of Discovery, ed. S. Wolk, A. Fruscione, & D. Swartz, 58
Lee, J. C. 2010, Space Sci. Rev., 157, 93
Lee, J. C. & Ravel, B. 2005, ApJ, 622, 970
Lee, J. C., Xiang, J., Ravel, B., Kortright, J., & Flanagan, K. 2009, ¥apj, 702, 970
Leutenegger, M. A., Kühn, S., Micke, P., et al. 2020, arXiv e-prints, arXiv:2003.13838
Liedahl, D. A. 1999, The X-Ray Spectral Properties of Photoionized Plasma and

Transient Plasmas, ed. J. van Paradijs & J. A. M. Bleeker, Vol. 520, 189
Lodders, K. & Palme, H. 2009, Meteoritics and Planetary Science Supplement, 72, 5154
Madej, O. K., García, J., Jonker, P. G., et al. 2014, MNRAS, 442, 1157
Madej, O. K., Jonker, P. G., Fabian, A. C., et al. 2010, MNRAS, 407, L11
Manzorro, R., Celin, W. E., Perez-Omil, J. A., Calvino, J. J., & Trasobares, S. 2019, ACS Catalysis, 9, 5157
Mao, J., Kaastra, J. S., Mehdipour, M., et al. 2018, A&A, 612, A18
Mathis, J. S. 1998, ApJ, 497, 824
Mathis, J. S., Rumpl, W., & Nordsieck, K. H. 1977, ApJ, 217, 425
Matteucci, F. & Greggio, L. 1986, A&A, 154, 279
Mattsson, L., De Cia, A., Andersen, A. C., & Petitjean, P. 2019, A&A, 624, A103
Mauche, C. W. & Gorenstein, P. 1986, ApJ, 302, 371
McClintock, J. E., Remillard, R. A., Petro, L. D., Hammerschlag-Hensberge, G., & Proffitt, C. R. 1984, ApJ, 283, 794
McLaughlin, B. M. & Kirby, K. P. 1998, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 31, 4991
Mehdipour, M., Kaastra, J. S., & Kallman, T. 2016, A&A, 596, A65
Menzel, A., Benzaid, S., Krause, M. O., et al. 1996, Phys. Rev. A, 54, R991
Mewe, R. & Schrijver, J. 1978, A&A, 65, 99
Mie, G. 1908, Annalen der Physik, 330, 377
Miller, J. M., Wojdowski, P., Schulz, N. S., et al. 2005, ApJ, 620, 398
Miller, K. A. & Stone, J. M. 2000, ApJ, 534, 398
Min, M., Waters, L. B. F. M., de Koter, A., et al. 2007, A&A, 462, 667
Molster, F. J., Waters, L. B. F. M., & Tielens, A. G. G. M. 2002, A&A, 382, 222
Mondal, A. S., Dewangan, G. C., Pahari, M., & Raychaudhuri, B. 2018, MNRAS, 474, 2064
Nandra, K., Barret, D., Barcons, X., et al. 2013, arXiv e-prints, arXiv:1306.2307
Newville, M. 2004, Consortium for Advanced Radiation Sources, University of Chicago (USA)[http://xafs. org], 78
Nittler, L. R., Alexander, O., Gao, X., Walker, R. M., & Zinner, E. 1997, ApJ, 483, 475
Nuth, Joseph A., I., Rietmeijer, F. J. M., & Hill, H. G. M. 2002, Meteoritics and Planetary Science, 37, 1579
Olofsson, J., Augereau, J. C., van Dishoeck, E. F., et al. 2009, A&A, 507, 327
Paerels, F., Brinkman, A. C., van der Meer, R. L. J., et al. 2001, ApJ, 546, 338
Panopoulou, G. V., Psaradaki, I., & Tassis, K. 2016, MNRAS, 462, 1517
Parmar, A. N., Smale, A. P., Verbunt, F., & Corbet, R. H. D. 1991, ApJ, 366, 253
Parmar, A. N., White, N. E., Giommi, P., & Gottwald, M. 1986, ApJ, 308, 199
Parratt, L., C.F., H., & 1957, J. E. 1957, Phys. Rev., 105
Pearson, K. 1901, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and

Journal of Science, 2, 559
Pinto, C., Kaastra, J. S., Costantini, E., & de Vries, C. 2013, A&A, 551, A25
Pinto, C., Kaastra, J. S., Costantini, E., & Verbunt, F. 2010, A&A, 521, A79
Pinto, C., Middleton, M., & Fabian, A. 2016, in XMM-Newton: The Next Decade, ed. J.-U. Ness, 59
Planck Collaboration. 2011a, A&A, 536, A25
Planck Collaboration. 2011b, A&A, 536, A26
Pontoppidan, K. M., van Dishoeck, E. F., & Dartois, E. 2004, A&A, 426, 925
Porquet, D. & Dubau, J. 2000, A&AS, 143, 495
Poteet, C. A., Whittet, D. C. B., & Draine, B. T. 2015, ApJ, 801, 110
Poutanen, J., Lipunova, G., Fabrika, S., Butkevich, A. G., & Abolmasov, P. 2007, MNRAS, 377, 1187
Protassov, R., van Dyk, D. A., Connors, A., Kashyap, V. L., & Siemiginowska, A. 2002, ApJ, 571, 545
Psaradaki, I., Costantini, E., Mehdipour, M., et al. 2020, arXiv e-prints, arXiv:2009.06244
Reid, M. J., McClintock, J. E., Narayan, R., et al. 2011, ApJ, 742, 83
Reis, R. C., Reynolds, M. T., Miller, J. M., et al. 2013, ApJ, 778, 155
Remillard, R. A. & McClintock, J. E. 2006, ARA&A, 44, 49
Rho, J., Kozasa, T., Reach, W. T., et al. 2008, ApJ, 673, 271
Rogantini, D., Costantini, E., Mehdipour, M., et al. 2021, A&A, 645, A98
Rogantini, D., Costantini, E., Zeegers, S. T., et al. 2018, A&A, 609, A22
Rogantini, D., Costantini, E., Zeegers, S. T., et al. 2019, A&A, 630, A143
Rogantini, D., Costantini, E., Zeegers, S. T., et al. 2020, A&A, 641, A149
Sala, G. & Greiner, J. 2006, The Astronomer's Telegram, 791, 1
Savage, B. D. & Sembach, K. R. 1996, ARA&A, 34, 279
Schandl, S. 1996, A&A, 307, 95
Schattenburg, M. L. & Canizares, C. R. 1986, ApJ, 301, 759
Schlemmer, S., Mutschke, H., Giesen, T., & Jäger, C. 2014, Laboratory astrochemistry: From molecules through nanoparticles to grains, 1–508
Schulz, N. S., Corrales, L., & Canizares, C. R. 2016, ApJ, 827, 49
Schulz, N. S., Cui, W., Canizares, C. R., et al. 2002, ApJ, 565, 1141
Shu, F. H., Adams, F. C., & Lizano, S. 1987, ARA&A, 25, 23
Sidoli, L., Oosterbroek, T., Parmar, A. N., Lumb, D., & Erd, C. 2001, A&A, 379, 540
Sidoli, L., Parmar, A. N., & Oosterbroek, T. 2005, A&A, 429, 291
Slavin, J. D., Dwek, E., & Jones, A. P. 2015, ApJ, 803, 7
Smale, A. P. 1998, ApJ, 498, L141
Smith, R. G., Sellgren, K., & Brooke, T. Y. 1993, MNRAS, 263, 749
Smith, R. K. e. a. 2016, in Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Vol. 9905, Proc. SPIE, 99054M
Spitzer, L. 1978, Physical processes in the interstellar medium

Stolte, W. C., Lu, Y., Samson, J. A. R., et al. 1997, Journal of Physics B Atomic Molecular Physics, 30, 4489
Strüder, L., Briel, U., Dennerl, K., et al. 2001, A&A, 365, L18
Suleimanov, V., Meyer, F., & Meyer-Hofmeister, E. 2003, A&A, 401, 1009
Sundqvist, J. O. & Owocki, S. P. 2013, MNRAS, 428, 1837
Tamanai, A., Pucci, A., Dohmen, R., & Gail, H.-P. 2017, ApJ, 845, 6
Tashiro, M., Maejima, H., Toda, K., et al. 2018, in Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, Vol. 10699, Space Telescopes and Instrumentation 2018: Ultraviolet to Gamma Ray, ed. J.-W. A. den Herder, S. Nikzad, & K. Nakazawa, 1069922
Thielemann, F.-K., Isern, J., Perego, A., & von Ballmoos, P. 2018, Space Sci. Rev., 214, 62
Thomas, B., Corbet, R., Smale, A. P., Asai, K., & Dotani, T. 1997, ApJ, 480, L21
Tielens, A. G. G. M. 2001, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 231, Tetons 4: Galactic Structure, Stars and the Interstellar Medium, ed. C. E. Woodward, M. D. Bicay, & J. M. Shull, 92
Tielens, A. G. G. M. 2005, The Physics and Chemistry of the Interstellar Medium
Turner, M. J. L., Abbey, A., Arnaud, M., et al. 2001, A&A, 365, L27
Valencic, L. A. & Smith, R. K. 2013, ApJ, 770, 22
van Aken, P. A., Liebscher, B., & Styrsa, V. J. 1998, Physics and Chemistry of Minerals, 25, 494
Van de Hulst, H. C. & Twersky, V. 1957, Physics Today, 10, 28
van Dishoeck, E. F. 2004, ARA&A, 42, 119
van Dishoeck, E. F., Helmich, F. P., Schutte, W. A., et al. 1998, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 132, Star Formation with the Infrared Space Observatory, ed. J. Yun & L. Liseau, 54
van Paradijs, J. & Bleeker, J. A. M. 1998, X-ray Spectroscopy in Astrophysics
van Peet, J. C. A., Costantini, E., Méndez, M., Paerels, F. B. S., & Cottam, J. 2009, A&A, 497, 805
Verner, D. A., Ferland, G. J., Korista, K. T., & Yakovlev, D. G. 1996, ApJ, 465, 487
Watts, B. 2014, Opt. Express, 22, 23628
Westphal, A. J., Butterworth, A. L., Tomsick, J. A., & Gainsforth, Z. 2019, ¥apj, 872, 66
Westphal, A. J., Stroud, R. M., Bechtel, H. A., et al. 2014, Science, 345, 786
White, N. E. & Holt, S. S. 1981, Accretion disk coronae, NASA STI/Recon Technical Report N
White, N. E. & Swank, J. H. 1982, ApJ, 253, L61
Whittet, D. 2003, Dust in Galactic Environment
Whittet, D. C. B. 2010, ApJ, 710, 1009
Whittet, D. C. B., Bode, M. F., Longmore, A. J., et al. 1988, MNRAS, 233, 321
Whittet, D. C. B., Gerakines, P. A., Hough, J. H., & Shenoy, S. S. 2001, ApJ, 547,

872
Wilms, J., Allen, A., & McCray, R. 2000, ApJ, 542, 914
Wilms, J., Nowak, M. A., Pottschmidt, K., Pooley, G. G., & Fritz, S. 2006, A&A, 447, 245
Wiscombe, W. J. 1980, Appl. Opt., 19, 1505
Wolff, M. T., Becker, P. A., Ray, P. S., & Wood, K. S. 2005, ApJ, 632, 1099
Wooden, D. H., Rank, D. M., Bregman, J. D., et al. 1993, ApJS, 88, 477
Yao, Y., Schulz, N. S., Gu, M. F., Nowak, M. A., & Canizares, C. R. 2009, ApJ, 696, 1418
Yao, Y. & Wang, Q. D. 2005, ApJ, 624, 751
Ysard, N., Köhler, M., Jones, A., et al. 2015, A&A, 577, A110
Zdziarski, A. A., Gierliński, M., Mikołajewska, J., et al. 2004, MNRAS, 351, 791
Zeegers, S. T., Costantini, E., de Vries, C. P., et al. 2017, A&A, 599, A117
Zeegers, S. T., Costantini, E., Rogantini, D., et al. 2019, A&A, 627, A16
Zhukovska, S., Henning, T., & Dobbs, C. 2018, ApJ, 857, 94

Summary

This thesis is primarily focused on the study of the interstellar medium, gas and dust along the Galactic plane. We study different lines of sight in the Galaxy and aim to unveil the chemical properties of cosmic dust as well as to probe the different phases of the interstellar medium. A smaller part of this thesis is dedicated to the physics of compact objects, and in particular we study the accretion disk atmosphere of the low-mass X-ray binary EXO 0748-676.

The Interstellar medium

If you are away from the city lights and you look at the night sky with naked eyes, you will see a hazy band of light across horizon. This is our Galaxy (the Milky Way) as seen from the Earth (Fig. A). Our Galaxy is a dynamical system which contains billions of starts and their Solar systems. The space between the stars is not empty, it is filled with matter and radiation creating the so-called Interstellar medium (ISM). The ISM contains mostly gas and dust which are key ingredients for the production of new stars. In Figure B the *Eagle nebula* is presented, an active star-forming region filled with gas and dust.

The ISM can be divided in different phases characterized by the temperature, density and ionization state of the gas. The *neutral gas* accounts for a significant fraction of the volume of the Galactic disk and contains atomic gas at temperatures from $\sim 10^2$ K to $\sim 10^{3.7}$ K. *Molecular gas* can be found either in gravitationally bound clouds or in the diffuse ISM. These are typically cool regions ($\sim$ 10 K) and its density can vary from $\sim$ 1000 cm^{-3} up to $\sim 10^6$ cm^{-3}. Finally, the *ionized gas* describes the ISM regions with temperatures from $\sim 10^4$ K up to $\sim 10^{5.5}$ K, which is called warm ionized medium (WIM) or hot ionized medium (HIM) respectively.

The most abundant elements of the ISM are primarily hydrogen and helium. Heavier elements are indicated as metals in astronomy and represent less than 2% of the total mass. However, metals play an important role in chemical and physical processes of the Galaxy. Moreover, elements such as oxygen, iron, silicon and magnesium are the main ingredients of the interstellar dust. The exact chemical composition of interstellar dust in different environments of our Galaxy still remains an open question.

Figure A: The Milky Way over Crete. Credit: Tomáš Slovinský

Figure B: The Eagle Nebula. This is a region with gas and dust and active star formation. Credit: National Science Foundation's 0.9-meter telescope on Kitt Peak using the NOAO Mosaic CCD camera.

Interstellar dust is an important component of our Galaxy. It is distributed mostly along the Galactic plane and plays a crucial role: from the collapse of molecular clouds to the formation of new planets. Dust is ubiquitous and studying it can help to understand how the Universe evolves. Cosmic dust can be observed in our Solar system, in the diffuse ISM, in giant clouds, around young stars but also in distant galaxies. Dust shows its presence in the Galaxy by emitting radiation and also by obscuring a part of the visible light from the background stars, creating dark lanes (see Fig. C), which have been characterized in the past as "holes in the heavens" (Herschel 1785).

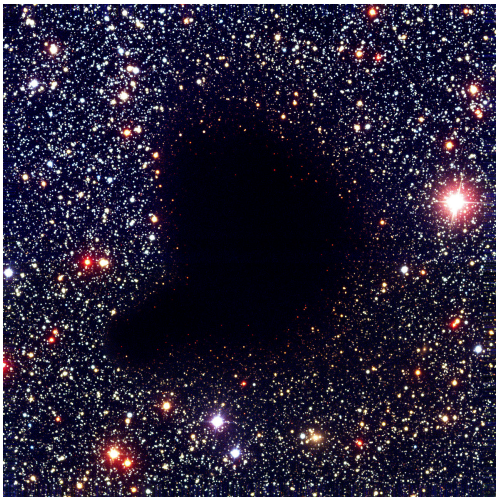


Figure C: Barnard 68, a dark molecular cloud located towards the Ophiuchus constellation.

Interstellar dust can be characterized by its mineralogy, crystallinity and grain size. Regarding the mineralogy, dust is mainly composed of carbon, oxygen, iron, magnesium and silicon. It can be divided into two main categories, namely *carbonaceous* and *silicate* dust. The atomic structure of dust grains can vary from *crystalline* to *amorphous* grain types. Studies show that the majority of dust grains in the ISM are in amorphous form. This is attributed to the fact that dust grains cannot easily survive the harsh environment of the ISM. Finally, the size of the grains provides important insight into their origin and the physical processes that create them.
There are still many open questions about the interstellar dust, such as its precise chemical composition and structure. The exact amount of certain elements such as iron and oxygen that is locked-up in dust grains still remains unclear. High-resolution X-ray spectroscopy is a powerful tool to study the ISM and can provide answers to the open questions. In the last 20 years, XMM-*Newton* and *Chandra* satellites opened new frontiers to study the ISM. The grating spectrometers onboard these two satellites enable us to study the photoabsorption edges of some of the most abundant elements in the Galaxy. We are able identify the fingerprints of gas and dust in high-resolution X-ray spectra of bright background sources and

determine the main properties of the ISM.
The properties of interstellar dust can be studied through the so-called X-ray absorption fine structures (XAFS). XAFS are the fingerprints of dust found around the X-ray photo-absorption edges and their spectral shape unveil the dust chemical composition, size and crystallinity. In order to study the XAFS we need accurate and up-to-date dust models to describe the observational data. The primary goal of this thesis is to build dust extinction models from laboratory data and is part of a big campaign which aims to create the first X-ray interstellar dust extinction model (XRIDE).
In Chapter 2, we study the ISM through the oxygen K-edge. We present our laboratory measurements of interstellar dust analogues and the calculated dust extinction models. Using these models we study the ISM in the line of sight of the X-ray binary Cygnus X-2. We study the depletion of oxygen into dust and we probe different gas species, from O I to O VIII. We find that 93 % of the total amount of oxygen in the line of sight of the source is in the gas phase, while the remaining 7% is in dust. Also, we discuss that future missions, such as *Arcus* will improve our capability to study the ISM through the oxygen K-edge.
In Chapter 3, we continue the study of the interstellar dust, focusing on the Fe L-edges. We apply the new dust models in the Fe L-edges to the high-resolution spectrum of the bight source Cygnus X-1. We find that the dust chemical composition is mainly characterised with silicates, with a majority of Mg-rich composition. Along the line of sight of Cygnus X-1 there is also a multi-temperature gas, from cold gas up to temepratures of about 10^6K.
In Chapter 4, we expand the study of the previous Chapters for a list of bright sources along the Galactic plane and we fit simultaneously the oxygen and iron edges. In this way we are able to determine the dust mineralogy as well as the abundances and depletions along different lines of sight in the Galactic plane. We find that the Mg-rich amorphous pyroxene ($Mg_{0.75}Fe_{0.25}SiO_3$) represents the largest fraction of dust towards most of the X-ray sources and the second most dominant compound in our modelling is the amorphous olivine ($MgFeSiO_4$). Iron is highly depleted from the gas phase, more that 90% is locked up in dust grains. The oxygen depletion is lower, between $\sim$ 10% and $\sim$ 25%.

X-ray binaries: extended disk atmosphere

X-ray binaries present complex processes and interesting physics such as accretion of matter onto the compact object to ejection through jets or disk winds, and feedback onto the surrounding medium. The discovery of ionised plasma in the vicinity of X-ray binaries is a key ingredient to understand the physics of accretion and feedback.
Some X-ray binaries exhibit photoionised gas from an extended disk atmosphere above the disk mid plane. This gas is different from the disk winds due to the absence of outflows and mass loss. The nature and geometry of this gas is not well understood.
In Chapter 5 we study the extended disk atmosphere of the low-mass X-ray binary EXO 0748-676. This source shows variability in the light curve in the form of eclipses, intensity dips, and type I X-ray bursts. We perform time-resolved spectroscopic analysis, which enabled us to study the extended disk atmosphere in this source. The XMM-*Newton* spectrum during the eclipses allowed us to investigate the photoionised gas in the outer accretion disk and to probe its nature. We found prominent X-ray emission lines in our spectrum indicating the

presence of hot ionised gas above the surface of the accretion disk.
We performed photoionisation modelling using the latest models in SPEX. We discovered two different gas components, with different ionisation parameters. A hotter diffuse plasma is located above the whole disk while a cooler, dense component is instead believed to be part of the region where the accreted stream from the companion star impacts the accretion disk.

Samenvatting

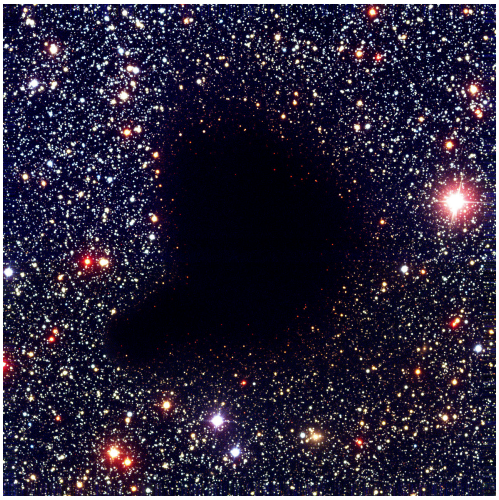
Dit proefschrift spitst zich met name toe op het interstellair medium, gas en stof in het galactisch vlak. We bestuderen meerdere zichtlijnen in de Melkweg met als doel de chemische eigenschappen van kosmisch stof te ontrafelen en de verschillende fasen van het interstellair medium te onderzoeken. Een kleiner deel van dit proefschrift is gewijd aan de fysica van compacte objecten; in het bijzonder aan het bestuderen van de atmosfeer van de accretieschijf van de lage massa Röntgendubbelster EXO 0748-676.

Het interstellair Medium

Als je je in een donker gebied bevindt, ver weg van stadslicht, en je kijkt met het blote oog naar de nachtelijke hemel, dan zie je daar een wazige band van licht. Dit is ons sterrenstelsel (de Melkweg) zoals we die zien vanaf de aarde (Fig. A). Ons sterrenstelsel is een dynamisch systeem dat miljarden sterren en planeten bevat. De ruimte tussen de sterren is niet leeg, het is gevuld met materie en straling. Deze ruimte wordt het interstellair medium (ISM) genoemd. Het ISM bevat merendeels gas en stof, wat de belangrijkste ingrediënten zijn om nieuwe sterren te vormen. De Adelaarsnevel in Figuur B is zo'n actief stervormingsgebied, gevuld met gas en stof.
Het ISM kan worden verdeeld in verschillende fases die worden gekarakteriseerd door temperatuur, dichtheid en de ionisatie toestand van het gas. Het neutrale gas vormt een aanzienlijk deel van het volume van de galactische schijf en bevat atomair gas met temperaturen die variëren tussen ongeveer $\sim 10^2$ K tot $\sim 10^{3.7}$ K. Moleculair gas kan worden aangetroffen in door de zwaartekracht gebonden wolken of in het diffuse ISM. Dit zijn typisch koele gebieden (10 K) end de dichtheid kan variëren van ~ 1000 cm^{-3} tot $\sim 10^6$ cm^{-3}. Tenslotte kenschetst het geïoniseerde gas de ISM-regio's met temperaturen van $\sim 10^4$ K up to $\sim 10^{5.5}$ K, wat respectievelijk het warm geïoniseerd medium (WIM) of heet geïoniseerd medium (HIM) wordt genoemd.
De meest abundante elementen van het ISM zijn voornamelijk waterstof en helium. Zwaardere elementen worden in de sterrenkunde aangeduid als metalen en vertegenwoordigen minder dan 2% van de totale massa. Deze metalen spelen echter een belangrijke rol in de chemische en fysische processen in ons sterrenstelsel. Bovendien vormen zuurstof, ijzer, silicium en magnesium de belangrijkste elementen van interstellair stof. Wat de exacte chemische samenstelling van interstellair stof in ons sterrenstelsel is, blijft vooralsnog een onopgelost vraagstuk.

Figuur A: De melkweg boven Kreta. Foto: Tomáš Slovinský

Figuur B: De Adelaarsnevel. Dit is een gebied met gas en stof en actieve stervorming. Foto: De 0,9-meter telescoop van de National Science Foundation op Kitt Peak met behulp van de NOAO Mosaic CCD-camera.



Figuur C: Barnard 68, een donkere moleculaire wolk in de richting van het sterrenbeeld Ophiuchus.

Interstellair stof is een belangrijk onderdeel van ons sterrenstelsel. Het stof bevindt zich voornamelijk in het galactisch vlak, waar het een cruciale rol speelt bij de vorming van zonnestelsels, namelijk van de ineenstorting van de moleculaire wolk tot de vorming van planeten. Kosmisch stof wordt overal in het universum waargenomen en het bestuderen van dit stof kan helpen om te begrijpen hoe het heelal zich ontwikkelt. Kosmisch stof kan worden waargenomen in ons zonnestelsel, in het diffuse ISM, in gigantische wolken, rond jonge sterren maar ook in verre melkwegstelsels. Stof toont zijn aanwezigheid in de Melkweg door straling uit te zenden en ook door een deel van het zichtbare licht van de achtergrondsterren te blokkeren, waardoor donkere banen ontstaan (zie Fig. C). In het verleden werden deze donkere gebieden aangezien voor "gaten in de hemel"(Herschel 1785).

Karakteristieke kenmerken van interstellair stof zijn: mineralogie, kristalliniteit en korrelgrootte. Wanneer men de mineralogie van het stof bestudeerd, dan blijkt het voornamelijk te zijn samengesteld uit koolstof, zuurstof, ijzer, magnesium en silicium. Het stof kan worden onderverdeeld in twee hoofdcategorieën, namelijk koolstofhoudend stof en silicaatstof. De atomaire structuur van stofdeeltjes kan variëren van kristallijne tot amorfe korrelsoorten. Studies tonen aan dat de meeste stofdeeltjes in het ISM amorf zijn. Dit wordt toegeschreven aan het feit dat de stofdeeltjes niet makkelijk kunnen overleven in de ruwe omgeving van het ISM. Tenslotte geeft de grootte van de korrels belangrijk inzicht in hun oorsprong en in de fysische processen waar ze door ontstaan. Er zijn nog veel open vragen over het interstellaire stof, zoals de precieze chemische samenstelling en structuur. De exacte hoeveelheid van bepaalde elementen zoals ijzer en zuurstof dat opgesloten zit in stofdeeltjes blijft nog onduidelijk. Hoge resolutie Röntgenspectroscopie is een krachtige techniek om het ISM te bestuderen en kan antwoorden geven aan open vragen in het veld. In de laatste 20 jaar hebben de XMM-*Newton* en *Chandra* satellieten grenzen verlegd wat betreft de studie van het ISM. De traliespectrometers aan boord van deze twee satellieten maken het mogelijk om de fotoabsorptieranden van enkele van de meest voorkomende elementen in het Sterrenstelsel

te bestuderen. We zijn in staat om de vingerafdrukken van gas en stof in de hoge resolutie Röntgenspectra van heldere achtergrondbronnen te identificeren en om hiermee de belangrijkste eigenschappen van het ISM te bepalen.

De eigenschappen van interstellair stof kunnen bestudeerd worden door zogenoemde Rontgenabsorptiekanten (XAFS). XAFS zijn de vingerafdrukken van het stof die men kan vinden in het spectrum rondom de Röntgenfotoabsorptieranden. Hun spectrale vorm onthult de chemische samenstelling, deeltjesgrootte en kristalliniteit van het stof. Om de XAFS te bestuderen hebben we nauwkeurige en actuele stofmodellen nodig om de waarnemingen te verklaren. Het hoofddoel van dit proefschrift is om stofextinctiemodellen op te bouwen uit laboratoriumdata en is onderdeel van een grotere campagne met het doel om het eerste Röntgen-interstellair-stof-extinctie-model (XRIDE) te maken. In Hoofdstuk 2 bestuderen wij het ISM via de zuurstof K-kant. We presenteren onze laboratoriummetingen aan interstellair stofanalogen, en de berekende stof extinctie modellen. Met behulp van deze modellen bestuderen we het ISM in de zichtlijn naar de Röntgendubbelster Cygnus X-2. We bestuderen de depletie van zuurstof in het stof en bemonsteren verschillende toestanden van het gas van O I tot O VIII. We vinden dat 93% van de totale hoeveelheid zuurstof in de zichtlijn naar de bron in de gasfase zit, waarbij de resterende 7% in het stof is opgeslagen. Hiernaast beargumenteren we dat toekomstige ruimtemissies zoals *Arcus* vermogen om het ISM via de zuurstof K-kant te bestuderen, zal verbeteren.

In Hoofdstuk 3, vervolgen we de studie van interstellair stof met een nauwe blik op de IJzer L-kant. We passen de nieuwe stofmodellen toe voor de IJzer L-kant in de zichtlijn naar Cygnus X-1. We vinden dat de chemische samenstelling van het stof met name wordt vormgegeven door silicaten, met een meerderheid aan Magnesium-rijk materiaal. Langs de zichtlijn naar Cygnus X-1 is ook een meertemperaturen gas, vanaf het koude gas tot aan temperaturen van pakweg 10^6 Kelvin. In Hoofdstuk 4, breiden we de studie van de afgelopen hoofdstukken uit met een lijst heldere bronnen langs het galactisch vlak waarbij we gelijktijdig de Zuurstof en IJzer kanten modelleren. Op deze manier kunnen we de mineralogie van het stof vaststellen, naast de abundanties en depleties langs verschillende zichtlijnen in het galactische vlak. We vinden dat het magnesium rijke amorfe pyroxeen ($Mg_{0.75}Fe_{0.25}SiO_3$) het grootste aandeel in het stof richting de meeste Röntgenbronnen heeft en dat het hierna meest voorkomend bestanddeel in onze afleiding het amorfe olivijn ($MgFeSiO_4$) is. Het ijzer toont sterke depletie uit de gasfase, en meer dan 90% zit opgesloten in stofdeeltjes. De zuurstofdepletie is daarentegen lager; tussen de 10% en 25%.

Röntgendubbelsterren: de atmosfeer van de accretieschijf

In röntgendubbelsterren kun je complexe processen en interessante fysica tegenkomen, zoals de accretie van materie op het compacte object, het wegblazen van materie door 'jets' of winden van de accretieschijf, en terugkoppeling naar het omringende medium. De ontdekking van geïoniseerd plasma in de buurt van röntgendubbelsterren is belangrijk voor ons begrip van de natuurkunde van accretie en het feedbackproces naar het omringende gas. In sommige röntgendubbelsterren is gefotoïoniseerd gas gevonden dat onderdeel is van de atmosfeer boven

het vlak van de accretieschijf. Dit gas is anders dan het gas in de wind, omdat dit niet bijdraagt aan massaverlies. De eigenschappen en geometrie van dit gas zijn nog niet goed begrepen.

In hoofdstuk 5 bestuderen we de schijfatmosfeer van de lage-massa röntgendubbelster EXO 0748-676. Deze bron heeft variaties in de lichtintensiteit in de vorm van eclipsen, dips en type I röntgenuitbarstingen. We hebben hier tijd-opgeloste spectraalanalyse op toegepast, zodat we de schijfatmosfeer in deze bron konden bestuderen. Met het spectrum dat XMM-*Newton* mat gedurende de eclipsen konden we het gefotoïoniseerde gas in de buitenste delen van de accretieschijf bestuderen en de eigenschappen van het gas bepalen. We hebben sterke röntgenlijnen in het spectrum gevonden die wijzen op de aanwezigheid van geïoniseerd gas boven het oppervlak van de accretieschijf.

We hebben de meest recente fotoïonisatiemodellen uit SPEX gebruikt en ontdekten twee verschillende gascomponenten met verschillende ionisatieparameters. Een heet diffuus plasma spreidt zich over de hele schijf uit, terwijl een koeler en dichter gas waarschijnlijk voorkomt rond de plek waar de materiestroom van de begeleidende ster de accretieschijf raakt.

Περίληψη (Summary in greek)

Η διατριβή αυτή επικεντρώνεται στη μελέτη του διαστρικού μέσου, και συγκεκριμένα ασχολείται με το αέριο και τη σκόνη που βρίσκονται στο Γαλαξία μας. Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της έρευνας είναι το να εξετάσει τη χημική σύσταση της αστρικής σκόνης καθώς και να διερευνήσει τις διαφορετικές φάσεις αερίου που βρίσκονται στο διάχυτο μεσοαστρικό χώρο. Επιπλέον, ένα μικρότερο κομμάτι αυτής της έρευνας ασχολείται με τη φυσική των συμπαγών αντικειμένων και συγκεκριμένα με το διπλό σύστημα χαμηλής μάζας, EXO 0748-676.

Το διαστρικό μέσο

Αν απομακρυνθούμε από τα φώτα της πόλης και στρέψουμε το βλέμμα μας προς τον σκοτεινό ουρανό θα παρατηρήσουμε μία θαμπή γαλαζόχρωμη ζώνη. Αυτός είναι ο Γαλαξίας μας, έτσι όπως φαίνεται απο τη Γη (Εικόνα Α). Ο Γαλαξίας μας είναι ένα δυναμικό σύστημα το οποίο περιέχει δισεκατομμύρια αστέρια μαζί με τα πλανητικά τους συστήματα. Ο χώρος μεταξύ των αστέρων δεν είναι άδειος, περιέχει ύλη και ακτινοβολία τα οποία συνθέτουν αυτό που γνωρίζουμε σήμερα ως *διαστρικό μέσο*. Περιέχει κυρίως αέριο και σκόνη που αποτελούν σημαντικά υλικά για τη δημιουργία νέων αστέρων. Στην Εικόνα Β απεικονίζεται το νεφέλωμα του αετού, μια περιοχή του Γαλαξία με μεγάλη πυκνότητα αερίου και σκόνης η οποία εμφανίζει έντονη αστρογένεση.

Το διαστρικό μέσο μπορεί να βρεθεί σε διαφορετικές φάσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την θερμοκρασία του αερίου, την πυκνότητά του και την κατάσταση ιονισμού του. Το λεγόμενο *ουδέτερο αέριο* έχει θερμοκρασίες περίπου $10^2 - 10^{3.7}$ K και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο αερίου στο γαλαξιακό επίπεδο. Το *μοριακό αέριο* αποτελεί μια άλλη κατηγορία και βρίσκεται είτε διάχυτο στο μεσοαστρικό χώρο, είτε δέσμιο σε μοριακά νέφη. Το αέριο σε αυτή την περίπτωση έχει χαμηλή θερμοκρασία, περίπου 10 K, και η πυκνότητα τους μπορεί να διαφέρει απο ~ 1000 cm^{-3} μέχρι $\sim 10^6$ cm^{-3}. Τέλος, το *ιονισμένο αέριο* εντοπίζεται σε περιοχές του διαστρικού χώρου που χαρακτηρίζονται από θερμοκρασίες $\sim 10^4$ K μέχρι $\sim 10^{5.5}$ K. Αυτές οι περιοχές ονομάζονται θερμό ιονισμένο μέσο ή ζεστό ιονισμένο μέσο αντίστοιχα.

Το υδρογόνο και το ήλιο αποτελούν τα χημικά στοιχεία με τη μεγαλύτερη αφθονία στον Γαλαξία μας. Βαρύτερα στοιχεία όπως ονομάζονται μέταλλα στην αστρονομία, αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της συνολικής μάζας, περίπου 2%. Παρόλα αυτά, τα μέταλλα παίζουν σημαντικό ρόλο σε κάθε χημική και φυσική διεργασία στο Γαλαξία μας. Στοιχεία όπως το οξυγόνο, ο σίδηρος, το πυρίτιο και το μαγνήσιο είναι τα κύρια συστατικά της αστρικής σκόνης. Παρ΄όλα αυτά, η ακριβής χημική σύσταση της αστρικής σκόνης σε διαφορετικές περιοχές του Γαλαξία μας παραμένει ένα ανοιχτό ερώτημα.

Figure A: Ο Γαλαξίας μας όπως φαίνεται στην Κρήτη. Φωτογραφία: Tomáš Slovinský

Figure B: Το νεφέλωμα του αετού, μια περιοχή αερίου και σκόνης με ενεργη αστρική γένεση. Φωτογραφία: National Science Foundation's 0.9-meter telescope on Kitt Peak, NOAO Mosaic CCD camera.

Η αστρική σκόνη αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι του Γαλαξία μας. Βρίσκεται κυρίως τριγύρω απο το Γαλαξιακό επίπεδο. Απο την κατάρρευση μοριακών νεφών υδρογόνου μέχρι το σχηματισμό νέων πλανητών, ο ρόλος της αστρικής σκόνης είναι πολύ σημαντικός. Η αστρική

σκόνη μπορεί να μας βοηθήσει να καταλάβουμε πως εξελίσσεται το Σύμπαν. Την παρατηρούμε μέσα στο ηλιακό μας σύστημα, στο διαστρικό μέσο, σε γιγαντιαία μοριακά νέφη υδρογόνου, γύρω από νεαρά αστέρια αλλά και σε μακρινούς γαλαξίες. Η αστρική σκόνη στο Γαλαξία μας μπορεί να φανεί άμεσα μέσα από εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αλλά και έμμεσα εφόσον μπορεί να ΄κρύψει΄ το φώς αστεριών που βρίσκεται πίσω της, δημιουργώντας σκοτεινές ΄τρύπες΄ (βλ. Εικόνα C), επονομαζόμενες ως 'holes in the heavens' (Herschel 1785).

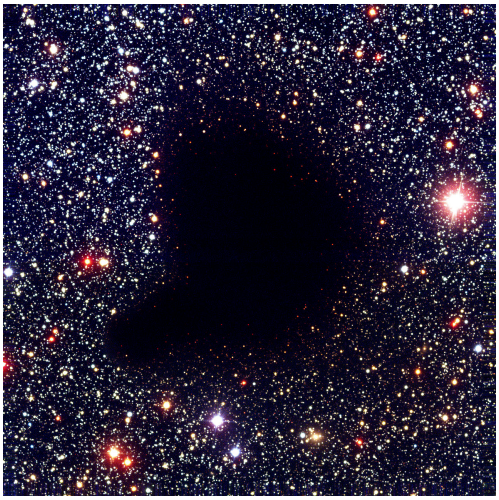


Figure C: Barnard 68, ένα σκοτεινό μοριακό νέφος που βρίσκεται στον αστερισμό του Οφιούχου.

Η αστρική σκόνη μπορεί να χαρακτηριστεί από την χημική της σύσταση, τον βαθμό της κρυσταλλική της δομής καθώς και από το μέγεθός της. Τα χημικά στοιχεία που την αποτελούν είναι κυρίως άνθρακας, οξυγόνο, σίδηρος, μαγνήσιο και πυρίτιο. Η δομή των ατόμων στον κόκκο σκόνης μπορεί να είναι είτε οργανωμένη, η λεγόμενη κρυσταλλική δομή, είτε ακανόνιστη. Λόγο του χαοτικού περιβάλλοντος του διαστρικού μέσου, η πλειοψηφία της σκόνης βρίσκεται σε ακανόνιστη δομή.

Η ακριβής χημική σύσταση της σκόνης, η δομή της όπως επίσης και το πώς αλλάζουν αυτές οι ιδιότητες σε διαφορετικά περιβάλλοντα του διαστρικού μέσου, παραμένουν ένα ανοιχτό ερώτημα. Για παράδειγμα, δεν γνωρίζουμε ακόμα ποιό είναι το ποσοστό του οξυγόνου που έχει ενσωματωθεί σε κόκκους σκόνης. Η φασματοσκοπία ακτίνων Χ μπορεί να μας δώσει απαντήσεις σε αυτά τα ανοιχτά ερωτήματα. Τα τελευταία 20 χρόνια, οι δορυφόροι XMM-*Newton* και *Chandra* άνοιξαν ένα καινούριο παράθυρο στη μελέτη του διαστρικού μέσου. Οι φασματογράφοι υψηλής ακρίβειας που βρίσκονται πάνω στους δορυφόρους αυτούς, μας επιτρέπουν να μελετήσουμε τις άκρες φωτο-απορρόφησης (photoabsorption edges) πολλών στοιχείων του γαλαξία μας που βρίσκονται σε αφθονία, όπως μαγνήσιο, σίδηρος, πυρίτιο και οξυγόνο. Μπορούμε να μελετήσουμε τις γραμμές απορρόφησης του αερίου και σκόνης και να εξετάσουμε τις ιδιότητές τους.

Συγκεκριμένα, οι ιδιότητες της σκόνης μπορούν να μελετηθούν μέσω των λεγόμενων λεπτών δομών απορρόφησης ακτίνων X(X-ray absorption fine structures, XAFS). Πρόκειται για

γραμμές απορρόφησης που δημιουργούνται απο την αλληλεπίδραση των ακτίνων Χ με τους κόκκους σκόνης. Βρίσκονται τριγύρω από τις άκρες φωτο-απορρόφησης και το σχήμα τους αντιπροσωπεύει τη χημική σύσταση της σκόνης, την κρυσταλλική της δομή και το μέγεθός της. Για να μελετήσουμε αυτές τις γραμμές της σκόνης χρειαζόμαστε ακριβή μοντέλα. Σε αυτή τη διατριβή, πραγματοποιήσαμε μια σειρά εργαστηριακών πειραμάτων ώστε να μετρήσουμε τις ιδιότητες των κόκκων σκόνης στο εργαστήριο και έπειτα να τις συγκρίνουμε με τα φάσματα ακτίνων Χ. Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι η δημιουργία ενός μοντέλου αστρικής σκόνης που θα περιγράφει τα φάσματα ακτίνων Χ.

Στο Κεφάλαιο 2 μελετάμε το διαστρικό μέσο, μέσω της άκρης φωτο-απορρόφησης του οξυγόνου. Παρουσιάζουμε μια σειρά πειραμάτων στην οποία μελετήσαμε κόκκους σκόνης στο εργαστήριο. Έπειτα, χρησιμοποιήσαμε τις εργαστηριακές μετρήσεις ώστε να υπολογίσουμε καινούρια μοντέλα σκόνης που να περιγράφουν τα φάσματα ακτίνων Χ. Στη συνέχεια χρησιμοποιήσαμε αυτά τα μοντέλα και μελετήσαμε το φάσμα της πηγής ακτίνων Χ λεγόμενη ως Cygnus X-2. Μελετήσαμε τη χημική σύσταση της σκόνης καθώς και τις ιδιότητες του μεσοαστρικού αερίου που βρίσκεται στον γαλαξία μας στην κατεύθυνση προς της πηγή Cygnus X-2. Εξετάσαμε τις φασματικές γραμμές του οξυγόνου και βρήκαμε οτι 93% αυτού βρίσκεται σε αέρια φάση, ενώ το υπόλοιπο 7% βρίσκεται σε κόκκους σκόνης. Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό συζητάμε για τις προοπτικές της μελέτης της αστρικής σκόνης μέσα από την ιδέα του τηλεσκοπίου ακτίνων Χ, *Arcus*.

Στο Κεφάλαιο 3, συνεχίζουμε τη μελέτη της αστρικής σκόνης μέσα από την άκρη φωτο-απορρόφησης του σιδήρου. Όμοια με πριν, υπολογίζουμε νέα μοντέλα της σκόνης ώστε να μελετήσουμε το φάσμα απορρόφησης ακτίνων Χ της φωτεινής πηγής Cygnus X-1. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι η χημική σύσταση της σκόνης χαρακτηρίζεται κυρίως από χημικές δομές πυριτίου, πλούσιες σε μαγνήσιο. Επίσης, κατα μήκος της περιοχής του γαλαξία μας που διανύει την απόσταση προς την πηγή Cygnus X-1, βρήκαμε μεσοαστρικό αέριο σε διαφορετικές θερμοκρασίες που φτάνουν τα 10^6K.

Στο Κεφάλαιο 4 επεκτείναμε τη μελέτη των προηγουμενων κεφαλαίων και εξετάσαμε ένα στατιστικό δείγμα πηγών ακτίνων Χ και ερευνήσαμε τις ιδιότητες της αστρικής σκόνης σε διαφορετικά περιβάλλοντα του Γαλαξία μας. Βρήκαμε ότι η σκόνη χαρακτηρίζεται κυρίως από χημικές δομές πυριτίου με την χημική φόρμουλα $Mg_{0.75}Fe_{0.25}SiO_3$, με το όνομα pyroxene. Η δεύτερη σε σειρά χημική σύσταση είναι η λεγόμενη olivine, $MgFeSiO_4$. Επίσης βρήκαμε ότι το ποσοστό του οξυγόνου που βρίσκεται πάνω στην αστρική σκόνη είναι περίπου 20%, ενώ ο σίδηρος βρίσκεται κατα πλειοψηφία στη σκόνη, περίπου 90%.

Διπλά συστήματα αστέρων: η ατμόσφαιρα του δίσκου προσαύξησης

Τα διπλά συστήματα αστέρων ακτίνων Χ παρουσιάζουν πολύπλοκες διαδικασίες και ενδιαφέρουσα φυσική, όπως η προσαύξηση ύλης στο δίσκο του συμπαγούς αντικειμένου από τον αστέρα καθώς και εξαγωγή ύλης μέσω πίδακες ή ανέμους. Η ανακάλυψη ιονισμένου πλάσματος κοντά στα διπλά συστήματα αστέρων ακτίνων Χ είναι βασικό συστατικό για την κατανόηση της φυσικής αυτών των συστημάτων.

Μερικά συστήματα ακτίνων Χ εμφανίζουν φωτο-ιονισμένο αέριο που προέρχεται από μια εκτεταμένη ατμόσφαιρα που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο του δίσκου. Αυτό το αέριο είναι

διαφορετικό από τους ανέμους του δίσκου λόγω της απουσίας εκροών και απώλειας μάζας. Η φύση και η γεωμετρία αυτού του αερίου αποτελεί αντικείμενο έρευνας.
Στο Κεφάλαιο 5 μελετάμε την εκτεταμένη ατμόσφαιρα δίσκου του διπλού συστήματος χαμηλής μάζας EXO 0748-676. Αυτή η πηγή δείχνει μεταβλητότητα στην καμπύλη φωτός με τη μορφή εκλείψεων, πτώσεων έντασης 'dips' και εκρήξεων ακτίνων Χ τύπου Ι. Πραγματοποιήσαμε φασματοσκοπική ανάλυση, η οποία μας επέτρεψε να μελετήσουμε την εκτεταμένη ατμόσφαιρα δίσκου σε αυτήν την πηγή. Μελετήσαμε το φάσμα ακτίνων Χ από το τηλεσκόπιο XMM-*Newton* κατά τη διάρκεια των εκλείψεων, το οποίο μας επέτρεψε να διερευνήσουμε το φωτο-ιονισμένο αέριο που βρίσκεται πάνω από το δίσκο προσαύξησης και να διερευνήσουμε τη φύση του. Βρήκαμε γραμμές εκπομπών ακτίνων Χ στο φάσμα μας που δείχνουν την παρουσία θερμού ιονισμένου αερίου πάνω από την επιφάνεια του δίσκου προσαύξησης.

Contribution from co-authors

The position in the author list reflects the importance of the contribution of each co-author or the alphabetical order.

Chapter 1: Introduction
The introduction was written entirely by IP.

Chapter 2: Interstellar oxygen along the line of sight of Cygnus X-2
Psaradaki, I.; Costantini, E.; Mehdipour, M.; Rogantini, D.; de Vries, C. P.; de Groot, F.; Mutschke, H.; Trasobares, S.; Waters, L. B. F. M.; Zeegers, S. T. 2020.
Astronomy & Astrophysics, 642, A208

Chapter 3: Iron in interstellar dust along the line of sight of Cyg X-1: an X-ray view
Costantini, E.; **Psaradaki, I.**; Rogantini, D.; Zeegers S.T.; de Vries C. P.; de Groot F.; den Herder, J.W.A.; Mehdipour, M.; Mutschke, H.; Trasobares, S.; Waters, L. B. F. M. ; Zeegers S.T. 2021
To be submitted to *Astronomy & Astrophysics*

Chapter 4: Oxygen and iron in interstellar dust as seen by XMM-*Newton* and *Chandra*
Psaradaki, I.; Costantini, E.; Mehdipour, M.; Rogantini, D.; den Herder, J.W.A.; de Groot F.; Mutschke, H.; Trasobares, S.; de Vries C. P.; Waters, L. B. F. M.; Zeegers S.T. 2021
To be submitted to *Astronomy & Astrophysics*

Chapter 5: Modelling the disc atmosphere of the low mass X-ray binary EXO 0748-676
Psaradaki, I.; Costantini, E.; Mehdipour, M.; Díaz Trigo, M. 2018
Astronomy & Astrophysics, 620, A129

Publications

First-author articles

1. **Psaradaki, I.**; Costantini, E.; Mehdipour, M.; Díaz Trigo, M. 2018
Astronomy & Astrophysics, 620, A129 (**Chapter 5**)
Modelling the disc atmosphere of the low mass X-ray binary EXO 0748-676
2. **Psaradaki, I.**; Costantini, E.; Mehdipour, M.; Rogantini, D.; de Vries, C. P.; de Groot, F.; Mutschke, H.; Trasobares, S.; Waters, L. B. F. M.; Zeegers, S. T. 2020
Astronomy & Astrophysics, 642, A208 (**Chapter 2**)
Interstellar oxygen along the line of sight of Cygnus X-2
3. **Psaradaki, I.**; Costantini, E.; Mehdipour, M.; Rogantini, D.; den Herder, J.W.A.; de Groot F.; Mutschke, H.; Trasobares, S.; de Vries C. P.; Waters, L. B. F. M.; Zeegers, S. T. 2021
To be submitted to *Astronomy & Astrophysics* (**Chapter 4**)
Oxygen and iron in interstellar dust as seen by XMM-Newton and Chandra

Co-authored articles

1. Costantini, E.; **Psaradaki, I.**; Rogantini, D.; Zeegers S.T.; de Vries C. P.; de Groot F.; den Herder, J.W.A.; Mehdipour, M.; Mutschke, H.; Trasobares, S.; Waters, L. B. F. M. 2021
To be submitted to *Astronomy & Astrophysics* (**Chapter 3**)
Iron in interstellar dust along the line of sight of Cyg X-1: an X-ray view
2. Rogantini, D.; Costantini, E.; Zeegers, S. T.; de Vries, C. P.; Mehdipour, M.; de Groot, F.; Mutschke, H.; **Psaradaki, I.**; & Waters, L. B. F. M., 2019
Astronomy & Astrophysics, 630, A143
Interstellar dust along the line of sight of GX 3+1
3. Rogantini, D.; Costantini, E.; Zeegers, S. T.; Mehdipour, M.; **Psaradaki, I.**; Raassen, A.J.J.; de Vries, C. P.; & Waters, L. B. F. M., 2020
Astronomy & Astrophysics, 641, A149
Magnesium and silicon in interstellar dust: an X-ray overview

4. Parikh, A.S. ; Degenaar, N.; Hernández Santisteban, J. V.; Wijnands, R.; **Psaradaki, I.**; Costantini, E.; Modiano, D.; & Miller, J.M. 2020
MNRAS, 501, 1453–1462
UV and X-ray observations of the neutron star LMXB EXO 0748-676 in its quiescent state

5. Ballhausen, R.; Lorenz, M. Fürst, F.; Pottschmidt, K.; Corrales, L.; Tomsick, J. A.; Bissinger ne Kuhnel, M.; Kretschmar, P; Kallman, T. R.; Grinberg, V.; Hell, N.; **Psadaraki, I.**; Rogantini, D.; Wilms, J. 2020
Astronomy & Astrophysics, 641, A65
Dust and gas absorption in the high mass X-ray binary IGR J16318-4848

6. Panopoulou, G. V.; **Psaradaki, I.**; Tassis, K.; 2016
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 462, 1517-1529
The magnetic field and dust filaments in the Polaris Flare

7. Panopoulou, G. V.; **Psaradaki, I.**; Skalidis, R.; Tassis, K.; Andrews, J. J. 2017
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 466, 2529-2541
A closer look at the 'characteristic' width of molecular cloud filaments

Acknowledgments

Time goes fast! The last four years in the Netherlands gave me some of the strongest experiences I ever had. This journey not only gave me the opportunity to continue with my dream job, but also opened my mind in many aspects. I learned so many things and met so many great people during these years.
Elisa, you said "welcome on board" and you gave me the opportunity to work on a great project. I remember all your suggestions, for dusty problems or not, and I am grateful for all your support. And most importantly, thank you for trusting me! Missagh, you helped my baby steps in this PhD so much. You were always kind, and patient to answer any question I may had. The words are very poor here, I was very lucky to have you as a supervisor.
Rens, your questions during our meetings always initiated my curiosity for digging more into our research and most importantly, you helped me to organize my deadlines during the last steps of this thesis. Thank you! Jan-Willem you came on board the last year of my thesis and trusted our work. I appreciated all the discussions and your support during the last (strange) year.
Every day at SRON became special because of a number of people. Hello polenta officemate, or widely known as Daniellllle. Sharing ideas, codes, worries, complaints, jokes, an office with a Thor hammer, plant based... flies was soooo fun! Aloha Giaccccomo. Lunches and coffee breaks would have been so boring without you. And of course the trip to Hawaii..I will only say here that we were definitely the best booth ever. Kristhell, the discussions with you were always very interesting and I definitely learned a lot about environmental matters from you. Also, thank you for all the times you were happy to help. Sascha, thank you for all the dusty discussions we had and for saving me with dutch! Anna, Davide, Francesca, Igone, Catia, Margherita, Zuzanna I had a great time and I hope I can meet you soon again in the near future.
Lucien, Jelle K, Peter, Jean, Aurora, Hiroki, Jeroen, Erik, Michael it was great meeting you all, thank you for all the discussions we had. Also, many thanks to all the support staff of SRON and API, and especially to Frank and Esther. And not to forget Jelle dP, you always helped and solved any computer problems. Dankjewel!
I am grateful for all the support of Cor and Susana, you helped me a lot with the laboratory measurements, but also traveling to Cadiz was a very nice adventure. During these years I have met many people in conferences and meetings and had the chance to collaborate with some of them. I would like to thank in particular Maria, Victoria, Javier and Lia for all the great chats and collaboration!
I would have never started a PhD if I didn't have the support of my master's supervisor,

Kostas. Thank you for trusting me and for all the things I learned from you during my master. And of course I cannot forget Gina and Aris, not only for all things I learned from you, but you were also great examples for me.
Eirini and Niko, I am just the luckiest to have two of my best friends living already in the Netherlands. From showing me around to assembling my furniture, you were deficiently the people who helped me the most. And a warning! You didn't get rid of me yet, I will be back! And of course I cannot forget Christina and Achilleas, I am so glad we had each other during the last strange year in the Netherlands.
And now, your turn. You know who you are. I met you in the beginning of this journey. We bonded with oxygen and iron. I am so happy that I went through this PhD with you by my side. You gave me courage, you spent hours to discuss everything I wanted, you were there every time I was anxious and supported my choices. During the last year you have been also my officemate. Ciro, thank you for all your patience and I promise, one day I will learn that pizza and pineapple don't go together!
The biggest thank you I own it to my family who supported my dreams since I was a child. I still remember when my father, Dimitris, brought me to the amateur astronomy conferences when I was still at school, and my mother, Eleni, asking anybody who may know how I can become an astronomer. And of course my grandparents, Angeliki, Aspasia, Christos and Giannis who gave me all their support. Also, I am lucky to have a computer genius as a brother, Giannis, who always offered me his help, from simple to more complicated problems. And of course my little sisters, Margarita and Aspasia, who always draw a smile on my face!

I already miss all of you. Thank you and I hope I can see everybody again in person soon!
Ioanna

"It has been said that astronomy is a humbling and character building experience.
There is perhaps no better demonstration of the folly of human conceits than this distant image of our tiny world.
To me, it underscores our responsibility to deal more kindly with one another, and to preserve and cherish the pale blue dot, the only home we've ever known."

Carl Sagan

Cover: The front page shows the night sky in Chios island. Credit: Tolis Flioukas
The back page of this cover includes an artistic illustration of XMM-*Newton* and *Chandra* satellites.

ISBN: 978-94-6421-345-4

Contact: io.psaradaki@gmail.com