



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Physics and chemistry of interstellar ice

Guss, K.M.R.

Citation

Guss, K. M. R. (2013, March 26). *Physics and chemistry of interstellar ice*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/20666>

Version: Corrected Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/20666>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/20666> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Guss (née Isokoski), Karoliina Marja-Riita

Title: Physics and chemistry of interstellar ice

Issue Date: 2013-03-26

Literature

- Al-Halabi, A., Fraser, H. J., Kroes, G. J., & van Dishoeck, E. F. 2004, *A&A*, 422, 777
- Allamandola, L. J., Sandford, S. A., & Valero, G. J. 1988, *Icarus*, 76, 225
- Arce, H. G., Santiago-García, J., Jørgensen, J. K., Tafalla, M., & Bachiller, R. 2008, *ApJ*, 681, L21
- Ayotte, P., Smith, R. S., Stevenson, K. P., et al. 2001, *J. Geophys. Res.*, 106, 33387
- Bachiller, R. & Perez Gutierrez, M. 1997, *ApJ*, 487, L93
- Bacmann, A., Taquet, V., Faure, A., Kahane, C., & Ceccarelli, C. 2012, *A&A*, 541, L12
- Bar-Nun, A., Dror, J., Kochavi, E., & Laufer, D. 1987, *Phys. Rev. B*, 35, 2427
- Bar-Nun, A. & Owen, T. 1998, in *Astrophysics and Space Science Library*, Vol. 227, *Solar System Ices*, ed. B. Schmitt, C. de Bergh, & M. Festou, 353
- Barabási, A.-L. & Stanley, H. E. 1995, *Fractal concepts in surface growth* (Cambridge university press)
- Baragiola, R. A. 2003, *Planet. Space Sci.*, 51, 953
- Baratta, G. A. & Palumbo, M. E. 1998, *Journal of the Optical Society of America A*, 15, 3076
- Baratta, G. A., Palumbo, M. E., & Strazzulla, G. 2000, *A&A*, 357, 1045
- Belloche, A., Garrod, R. T., Müller, H. S. P., et al. 2009, *A&A*, 499, 215
- Beltrán, M. T., Cesaroni, R., Neri, R., et al. 2005, *A&A*, 435, 901
- Beltrán, M. T., Codella, C., Viti, S., Neri, R., & Cesaroni, R. 2009, *ApJ*, 690, L93
- Benjamin, R. A., Churchwell, E., Babler, B. L., et al. 2003, *PASP*, 115, 953
- Bennett, C. J., Jamieson, C., Mebel, A. M., & Kaiser, R. I. 2004, *Physical Chemistry Chemical Physics (Incorporating Faraday Transactions)*, 6, 735
- Bennett, C. J., Jamieson, C. S., Osamura, Y., & Kaiser, R. I. 2006, *ApJ*, 653, 792
- Bennett, C. J. & Kaiser, R. I. 2007, *ApJ*, 661, 899
- Bergin, E. A., Langer, W. D., & Goldsmith, P. F. 1995, *ApJ*, 441, 222
- Bergin, E. A., Melnick, G. J., Gerakines, P. A., Neufeld, D. A., & Whittet, D. C. B. 2005, *ApJ*, 627, L33
- Bergin, E. A., Neufeld, D. A., & Melnick, G. J. 1998, *ApJ*, 499, 777
- Bergin, E. A. & Tafalla, M. 2007, *ARA&A*, 45, 339
- Berland, B. S., Brown, D. E., Tolbert, M. A., & George, S. M. 1995, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 3493
- Bernstein, M. P., Dworkin, J. P., Sandford, S. A., Cooper, G. W., & Allamandola, L. J. 2002, *Nature*, 416, 401
- Bernstein, M. P., Sandford, S. A., & Allamandola, L. J. 2000, *ApJ*, 542, 894
- Bernstein, M. P., Sandford, S. A., Allamandola, L. J., Chang, S., & Scharberg, M. A. 1995, *ApJ*, 454, 327
- Beuther, H., Hunter, T. R., Zhang, Q., et al. 2004, *ApJ*, 616, L23
- Beuther, H., Schilke, P., Sridharan, T. K., et al. 2002, *A&A*, 383, 892
- Beuther, H. & Walsh, A. J. 2008, *ApJ*, 673, L55
- Beuther, H., Zhang, Q., Sridharan, T. K., & Chen, Y. 2005, *ApJ*, 628, 800
- Bisschop, S. E. 2007, PhD thesis, Leiden Observatory, Leiden University, P.O. Box 9513, 2300 RA

Leiden, The Netherlands

- Bisschop, S. E., Jørgensen, J. K., Bourke, T. L., Bottinelli, S., & van Dishoeck, E. F. 2008, *A&A*, 488, 959
- Bisschop, S. E., Jørgensen, J. K., van Dishoeck, E. F., & de Wachter, E. B. M. 2007, *A&A*, 465, 913
- Bjerkeli, P., Liseau, R., Olberg, M., et al. 2009, *A&A*, 507, 1455
- Blake, G. A., Sutton, E. C., Masson, C. R., & Phillips, T. G. 1987, *ApJ*, 315, 621
- Bohren, C. F. & Huffman, D. R. 1983, *Absorption and scattering of light by small particles*
- Boogaarts, M. 1996, PhD thesis, Katholieke Universiteit Nijmegen
- Boogert, A. C. A., Ehrenfreund, P., Gerakines, P. A., et al. 2000, *A&A*, 353, 349
- Boogert, A. C. A., Hogerheijde, M. R., & Blake, G. A. 2002, *ApJ*, 568, 761
- Boogert, A. C. A., Pontoppidan, K. M., Knez, C., et al. 2008, *ApJ*, 678, 985
- Boogert, A. C. A., Pontoppidan, K. M., Lahuis, F., et al. 2004, *ApJS*, 154, 359
- Boonman, A. M. S., van Dishoeck, E. F., Lahuis, F., & Doty, S. D. 2003, *A&A*, 399, 1063
- Born, M. & Wolf, E. 1975, *Principles of optics. Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*
- Bossa, J.-B., Isokoski, K., de Valois, M. S., & Linnartz, H. 2012, *A&A*, 545, A82
- Bossa, J.-B., Paardekooper, D. M., Isokoski, K., & Linnartz, H. in prep., *A&A*
- Botta, O. & Bada, J. L. 2002, *Surveys in Geophysics*, 23, 411, 10.1023/A:1020139302770
- Bottinelli, S., Boogert, A. C. A., Bouwman, J., et al. 2010, *ApJ*, 718, 1100
- Bottinelli, S., Ceccarelli, C., Williams, J. P., & Lefloch, B. 2007, *A&A*, 463, 601
- Bouwman, J., Ludwig, W., Awad, Z., et al. 2007, *A&A*, 476, 995
- Bruderer, S., Benz, A. O., Doty, S. D., van Dishoeck, E. F., & Bourke, T. L. 2009, *ApJ*, 700, 872
- Bruderer, S., Benz, A. O., Stäuber, P., & Doty, S. D. 2010, *ApJ*, 720, 1432
- Buch, V. 1992, *J. Chem. Phys.*, 96, 3814
- Buch, V. & Devlin, J. P. 1991, *J. Chem. Phys.*, 94, 4091
- Byer, R. L. & Duncan, M. D. 1981, *J. Chem. Phys.*, 74, 2174
- Caselli, P. & Ceccarelli, C. 2012, *A&A Rev.*, 20, 56
- Cazaux, S., Cobut, V., Marseille, M., Spaans, M., & Caselli, P. 2010, *A&A*, 522, A74
- Cazaux, S., Tielens, A. G. G. M., Ceccarelli, C., et al. 2003, *ApJ*, 593, L51
- Cesaroni, R., Beltrán, M. T., Zhang, Q., Beuther, H., & Fallscheer, C. 2011, *A&A*, 533, A73
- Cesaroni, R., Churchwell, E., Hofner, P., Walmsley, C. M., & Kurtz, S. 1994a, *A&A*, 288, 903
- Cesaroni, R., Felli, M., Jenness, T., et al. 1999, *A&A*, 345, 949
- Cesaroni, R., Felli, M., Testi, L., Walmsley, C. M., & Olmi, L. 1997, *A&A*, 325, 725
- Cesaroni, R., Galli, D., Lodato, G., Walmsley, C. M., & Zhang, Q. 2007, *Protostars and Planets V*, 197
- Cesaroni, R., Hofner, P., Araya, E., & Kurtz, S. 2010, *A&A*, 509, A50
- Cesaroni, R., Hofner, P., Walmsley, C. M., & Churchwell, E. 1998, *A&A*, 331, 709
- Cesaroni, R., Neri, R., Olmi, L., et al. 2005, *A&A*, 434, 1039
- Cesaroni, R., Olmi, L., Walmsley, C. M., Churchwell, E., & Hofner, P. 1994b, *ApJ*, 435, L137
- Charnley, S. B. 1997, *ApJ*, 481, 396
- Charnley, S. B., Kress, M. E., Tielens, A. G. G. M., & Millar, T. J. 1995, *ApJ*, 448, 232
- Charnley, S. B., Rodgers, S. D., & Ehrenfreund, P. 2001, *A&A*, 378, 1024
- Charnley, S. B., Tielens, A. G. G. M., & Millar, T. J. 1992, *ApJ*, 399, L71

- Chiar, J. E., Adamson, A. J., Kerr, T. H., & Whittet, D. C. B. 1994, *ApJ*, 426, 240
- Churchwell, E., Walmsley, C. M., & Cesaroni, R. 1990, *A&AS*, 83, 119
- Churchwell, E., Wood, D., Myers, P. C., & Myers, R. V. 1986, *ApJ*, 305, 405
- Collings, M. P., Dever, J. W., Fraser, H. J., McCoustra, M. R. S., & Williams, D. A. 2003, *ApJ*, 583, 1058
- Comoretto, G., Palagi, F., Cesaroni, R., et al. 1990, *A&AS*, 84, 179
- Compagnini, G., D'Urso, L., Puglisi, O., Baratta, G. A., & Strazzulla, G. 2009, *CARBON*, 47, 1605
- Cook, A. M., Whittet, D. C. B., Shenoy, S. S., et al. 2011, *ApJ*, 730, 124
- Cronin, J. R. & Pizzarello, S. 1997, *Science*, 275, 951
- Cuppen, H. M. & Herbst, E. 2007, *ApJ*, 668, 294
- Cuppen, H. M., Ioppolo, S., Romanzin, C., & Linnartz, H. 2010, *Physical Chemistry Chemical Physics (Incorporating Faraday Transactions)*, 12, 12077
- Cuppen, H. M., Penteado, E. M., Isokoski, K., van der Marel, N., & Linnartz, H. 2011, *MNRAS*, 417, 2809
- Cuppen, H. M., van Dishoeck, E. F., Herbst, E., & Tielens, A. G. G. M. 2009, *A&A*, 508, 275
- Dartois, E., Schutte, W., Geballe, T. R., et al. 1999, *A&A*, 342, L32
- Davydov, A. 1962, *Nucl. Phys. A*, 37, 106
- Demyk, K., Dartois, E., D'Hendecourt, L., et al. 1998, *A&A*, 339, 553
- d'Hendecourt, L. B., Allamandola, L. J., & Greenberg, J. M. 1985, *A&A*, 152, 130
- d'Hendecourt, L. B. & Jourdain de Muizon, M. 1989, *A&A*, 223, L5
- Dickens, J. E., Langer, W. D., & Velusamy, T. 2001, *ApJ*, 558, 693
- Dimov, G. I. 1968, *Pribory i Tekhnika Experimenta*
- Dohnálek, Z., Kimmel, G. A., Ayotte, P., Smith, R. S., & Kay, B. D. 2003, *J. Chem. Phys.*, 118, 364
- Dulieu, F., Amiaud, L., Congiu, E., et al. 2010, *A&A*, 512, A30
- Ehrenfreund, P., Boogert, A. C. A., Gerakines, P. A., et al. 1996, *A&A*, 315, L341
- Ehrenfreund, P., Boogert, A. C. A., Gerakines, P. A., Tielens, A. G. G. M., & van Dishoeck, E. F. 1997, *A&A*, 328, 649
- Ehrenfreund, P., Dartois, E., Demyk, K., & D'Hendecourt, L. 1998, *A&A*, 339, L17
- Ehrenfreund, P., Glavin, D. P., Botta, O., Cooper, G., & Bada, J. L. 2001, *Proceedings of the National Academy of Science*, 98, 2138
- Ehrenfreund, P., Kerkhof, O., Schutte, W. A., et al. 1999, *A&A*, 350, 240
- Elkind, P. & Fraser, H. 2012, private communication
- Elsila, J. E., Dworkin, J. P., Bernstein, M. P., Martin, M. P., & Sandford, S. A. 2007, *ApJ*, 660, 911
- Ennis, C., Bennett, C. J., Jones, B. M., & Kaiser, R. I. 2011, *ApJ*, 733, 79
- Estalella, R., Mauersberger, R., Torrelles, J. M., et al. 1993, *ApJ*, 419, 698
- Falk, M. 1987, *J. Chem. Phys.*, 86, 560
- Falk, M. & Seto, P. F. 1986, *Canadian J. Spectrosc.*
- Fayolle, E. C., Öberg, K. I., Cuppen, H. M., Visser, R., & Linnartz, H. 2011, *A&A*, 529, A74
- Fontani, F., Pascucci, I., Caselli, P., et al. 2007, *A&A*, 470, 639
- Fraser, H. J., Collings, M. P., Dever, J. W., & McCoustra, M. R. S. 2004, *MNRAS*, 353, 59
- Fuchs, G. W., Cuppen, H. M., Ioppolo, S., et al. 2009, *A&A*, 505, 629
- Gálvez, O., Maté, B., Herrero, V. J., & Escribano, R. 2010, *ApJ*, 724, 539

- Garrod, R. T. & Herbst, E. 2006, *A&A*, 457, 927
- Garrod, R. T., Weaver, S. L. W., & Herbst, E. 2008, *ApJ*, 682, 283
- Gaume, R. A. & Mutel, R. L. 1987, *ApJS*, 65, 193
- Gentry, W. R. & Giese, C. F. 1978, *Review of Scientific Instruments*, 49, 595
- Geppert, W. D., Hamberg, M., Thomas, R. D., et al. 2006, *Faraday Discussions*, 133, 177
- Gerakines, P. A., Moore, M. H., & Hudson, R. L. 2001, *J. Geophys. Res.*, 106, 33381
- Gerakines, P. A., Schutte, W. A., & Ehrenfreund, P. 1996, *A&A*, 312, 289
- Gerakines, P. A., Schutte, W. A., Greenberg, J. M., & van Dishoeck, E. F. 1995, *A&A*, 296, 810
- Gerakines, P. A., Whittet, D. C. B., Ehrenfreund, P., et al. 1999, *ApJ*, 522, 357
- Gibb, E., Nummelin, A., Irvine, W. M., Whittet, D. C. B., & Bergman, P. 2000, *ApJ*, 545, 309
- Gibb, E. L., Whittet, D. C. B., Boogert, A. C. A., & Tielens, A. G. G. M. 2004, *ApJS*, 151, 35
- Givan, A., Loewenschuss, A., & Nielsen, C. J. 1996, *Vib. Spectrosc.*, vol. 12, p. 1-14 (1996)., 12, 1
- Goldsmith, P. F. & Langer, W. D. 1999, *ApJ*, 517, 209
- Goumans, T., Catlow, C. R. A., Brown, W. A., Kästner, J., & Sherwood, P. 2009, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 11, 5431
- Gredel, R., Lepp, S., Dalgarno, A., & Herbst, E. 1989, *ApJ*, 347, 289
- Greenberg, J. M., Gillette, J. S., Muñoz Caro, G. M., et al. 2000, *ApJ*, 531, L71
- Grim, R. J. A. & Greenberg, J. M. 1987, *ApJ*, 321, L91
- Gudipati, M. S. & Yang, R. 2012, *ApJ*, 756, L24
- Guilhaus, M. 1995, *Journal of Mass Spectrometry*, 30, 1519
- Hagen, W. 1981, *Chemical Physics*, 56, 367
- Hagen, W., Allamandola, L. J., & Greenberg, J. M. 1979, *Ap&SS*, 65, 215
- Hagen, W., Tielens, A. G. G. M., & Greenberg, J. M. 1983, *A&AS*, 51, 389
- Hahn, J. H., Zenobi, R., Bada, J. L., & Zare, R. N. 1988, *Science*, 239, 1523
- Håkansson, K., Zubarev, R., & Håkansson, P. 1998, *Rapid Commun. in Mass Spectrom.*, 12, 705
- Hallbrucker, A., Mayer, E., & Johari, G. P. 1989, *Journal of Physical Chemistry*
- Hasegawa, T. I., Herbst, E., & Leung, C. M. 1992, *ApJS*, 82, 167
- Hatchell, J., Thompson, M. A., Millar, T. J., & MacDonald, G. H. 1998, *A&AS*, 133, 29
- Herbst, E. 1995, *Annual Review of Physical Chemistry*, 46, 27
- Herbst, E., Green, S., Thaddeus, P., & Klemperer, W. 1977, *ApJ*, 215, 503
- Herbst, E. & van Dishoeck, E. F. 2009, *ARA&A*, 47, 427
- Hessinger, J., White, Jr., B. E., & Pohl, R. O. 1996, *Planet. Space Sci.*, 44, 937
- Hiraoka, K., Sato, T., Sato, S., et al. 2002, *ApJ*, 577, 265
- Hodyss, R., Johnson, P. V., Orzechowska, G. E., Goguen, J. D., & Kanik, I. 2008, *Icarus*, 194, 836
- Hofner, P., Cesaroni, R., Rodríguez, L. F., & Martí, J. 1999, *A&A*, 345, L43
- Hollis, J. M., Lovas, F. J., & Jewell, P. R. 2000, *ApJ*, 540, L107
- Horimoto, N., Kato, H. S., & Kawai, M. 2002, *J. Chem. Phys.*, 116, 4375
- Horn, A., Møllendal, H., Sekiguchi, O., et al. 2004, *ApJ*, 611, 605
- Howett, C. J. A., Carlson, R. W., Irwin, P. G. J., & Calcutt, S. B. 2007, *Journal of the Optical Society of America B Optical Physics*, 24, 126
- Huang, H.-C., Kuan, Y.-J., Charnley, S. B., et al. 2005, *Advances in Space Research*, 36, 146
- Hudgins, D. M., Sandford, S. A., Allamandola, L. J., & Tielens, A. G. G. M. 1993, *ApJS*, 86, 713
- Hudson, R. L. & Moore, M. H. 1999, *Icarus*, 140, 451
- Hudson, R. L., Moore, M. H., & Raines, L. L. 2009, *Icarus*, 203, 677

- Ioppolo, S., Cuppen, H. M., Romanzin, C., van Dishoeck, E. F., & Linnartz, H. 2008, *ApJ*, 686, 1474
- Ioppolo, S., Cuppen, H. M., Romanzin, C., van Dishoeck, E. F., & Linnartz, H. 2010, *Physical Chemistry Chemical Physics (Incorporating Faraday Transactions)*, 12, 12065
- Ioppolo, S., Palumbo, M. E., Baratta, G. A., & Mennella, V. 2009, *A&A*, 493, 1017
- Ioppolo, S., van Boheemen, Y., Cuppen, H. M., van Dishoeck, E. F., & Linnartz, H. 2011, *MNRAS*, 413, 2281
- Isokoski, K., Poteet, C., & Linnartz, H. in prep., *A&A*
- Jackson, W. M., Faris, J., & Buccos, N. J. 1966, *J. Chem. Phys.*, 45, 4145
- Jamieson, C. S., Mebel, A. M., & Kaiser, R. I. 2006, *ApJS*, 163, 184
- Jenniskens, P. & Blake, D. F. 1994, *Science*, 265, 753
- Jenniskens, P., Blake, D. F., Wilson, M. A., & Pohorille, A. 1995, *ApJ*, 455, 389
- Jing, D., He, J., Brucato, J., et al. 2011, *ApJ*, 741, L9
- Johnston, K. G., Keto, E., Robitaille, T. P., & Wood, K. 2011, *MNRAS*, 415, 2953
- Jørgensen, J. K., Bourke, T. L., Myers, P. C., et al. 2005, *ApJ*, 632, 973
- Kahane, C., Lucas, R., Frerking, M. A., Langer, W. D., & Encrenaz, P. 1984, *A&A*, 137, 211
- Kaiser, R. I. & Roessler, K. 1998, *ApJ*, 503, 959
- Karas, M., Bachmann, D., Bahr, U., & Hillenkamp, F. 1987, *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes*, 78, 53
- Keane, J. V., Boogert, A. C. A., Tielens, A. G. G. M., Ehrenfreund, P., & Schutte, W. A. 2001, *A&A*, 375, L43
- Keesom, W. H. & Köhler, J. W. L. 1934, *Physica*, 1, 655
- Kerr, F. J. & Lynden-Bell, D. 1986, *MNRAS*, 221, 1023
- Kerr, T. H., Adamson, A. J., & Whittet, D. C. B. 1993, *MNRAS*, 262, 1047
- Kim, H. J., Evans, II, N. J., Dunham, M. M., Lee, J.-E., & Pontoppidan, K. M. 2012, *ApJ*, 758, 38
- Kim, S.-H., Martin, P. G., & Hendry, P. D. 1994, *ApJ*, 422, 164
- Kim, Y. S., Bennett, C. J., Chen, L.-H., O'Brien, K., & Kaiser, R. I. 2010, *ApJ*, 711, 744
- Kimmel, G. A., Dohnálek, Z., Stevenson, K. P., Smith, R. S., & Kay, B. D. 2001a, *J. Chem. Phys.*, 114, 5295
- Kimmel, G. A., Stevenson, K. P., Dohnálek, Z., Smith, R. S., & Kay, B. D. 2001b, *J. Chem. Phys.*, 114, 5284
- Knez, C., Boogert, A. C. A., Pontoppidan, K. M., et al. 2005, *ApJ*, 635, L145
- Knez, C., Lacy, J. H., Evans, II, N. J., van Dishoeck, E. F., & Richter, M. J. 2009, *ApJ*, 696, 471
- Kouchi, A. & Yamamoto, T. 1995, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*
- Kuan, Y.-J., Huang, H.-C., Charnley, S. B., et al. 2004, *ApJ*, 616, L27
- Kurtz, S., Cesaroni, R., Churchwell, E., Hofner, P., & Walmsley, C. M. 2000, *Protostars and Planets IV*, 299
- Kvenvolden, K., Lawless, J., Pering, K., et al. 1970, *Nature*, 228, 923
- Lawless, J. G., Kvenvolden, K. A., Peterson, E., & Ponnampertuma, C. 1972, *Nature*, 236, 66
- Laurini, S., Schilke, P., Wyrowski, F., & Menten, K. M. 2007, *A&A*, 466, 215
- Levis, R. J. 1994, *Annual Review of Physical Chemistry*, 45, 483
- Loerting, T., Salzmann, C., Kohl, I., Mayer, E., & Hallbrucker, A. 2001, *Physical Chemistry Chemical Physics (Incorporating Faraday Transactions)*, 3, 5355
- Manca, C. 2000, *Chemical Physics Letters*, 330, 21

- Manicò, G., Ragunì, G., Pirronello, V., Roser, J. E., & Vidali, G. 2001, *ApJ*, 548, L253
- Maret, S., Ceccarelli, C., Tielens, A. G. G. M., et al. 2005, *A&A*, 442, 527
- Maret, S., Hily-Blant, P., Pety, J., Bardeau, S., & Reynier, E. 2011, *A&A*, 526, A47
- Markwick, A. J., Millar, T. J., & Charnley, S. B. 2000, *ApJ*, 535, 256
- Martin, C. 2002, *Surface Science*, 502, 280
- Matar, E., Congiu, E., Dulieu, F., Momeni, A., & Lemaire, J. L. 2008, *A&A*, 492, L17
- Mayer, E. & Pletzer, R. 1986, *Nature*, 319, 298
- McKee, C. F. & Ostriker, E. C. 2007, *ARA&A*, 45, 565
- Meijer, G., de Vries, M. S., Hunziker, H. E., & Wendt, H. R. 1990, *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 51, 395
- Melnick, G. J. & Bergin, E. A. 2005, *Advances in Space Research*, 36, 1027
- Mennella, V., Palumbo, M. E., & Baratta, G. A. 2004, *ApJ*, 615, 1073
- Millar, T. J., Herbst, E., & Charnley, S. B. 1991, *ApJ*, 369, 147
- Mishima, O. 1996, *Nature*, 384, 546
- Mishima, O., Calvert, L. D., & Whalley, E. 1984, *Nature*, 310, 393
- Miyauchi, N., Hidaka, H., Chigai, T., et al. 2008, *Chemical Physics Letters*, 456, 27
- Mokrane, H., Chaabouni, H., Accolla, M., et al. 2009, *ApJ*, 705, L195
- Moore, M. H. & Hudson, R. L. 1998, *Icarus*, 135, 518
- Moscadelli, L., Cesaroni, R., Rioja, M. J., Dodson, R., & Reid, M. J. 2011, *A&A*, 526, A66
- Mottier, P. & Valette, S. 1981, *Appl. Opt.*, 20, 1630
- Muñoz Caro, G. M., Meierhenrich, U. J., Schutte, W. A., et al. 2002, *Nature*, 416, 403
- Muñoz Caro, G. M. & Schutte, W. A. 2003, *A&A*, 412, 121
- Müller, H. S. P., Schlöder, F., Stutzki, J., & Winnewisser, G. 2005, *Journal of Molecular Structure*, 742, 215
- Narten, A. H., Venkatesh, C. G., & Rice, S. A. 1976, *J. Chem. Phys.*, 64, 1106
- Novozamsky, J. H., Schutte, W. A., & Keane, J. V. 2001, *A&A*, 379, 588
- Nuevo, M., Auger, G., Blanot, D., & D'Hendecourt, L. 2008, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 38, 37
- Nuevo, M., Bredehöft, J. H., Meierhenrich, U. J., d'Hendecourt, L., & Thiemann, W. H.-P. 2010, *Astrobiology*, 10, 245
- Nummelin, A., Bergman, P., Hjalmarson, Å., et al. 2000, *ApJS*, 128, 213
- Nummelin, A., Whittet, D. C. B., Gibb, E. L., Gerakines, P. A., & Chiar, J. E. 2001, *ApJ*, 558, 185
- Oba, Y., Miyauchi, N., Hidaka, H., et al. 2009, *ApJ*, 701, 464
- Öberg, K. I., Boogert, A. C. A., Pontoppidan, K. M., et al. 2011a, *ApJ*, 740, 109
- Öberg, K. I., Bottinelli, S., Jørgensen, J. K., & van Dishoeck, E. F. 2010, *ApJ*, 716, 825
- Öberg, K. I., Fayolle, E. C., Cuppen, H. M., van Dishoeck, E. F., & Linnartz, H. 2009a, *A&A*, 505, 183
- Öberg, K. I., Fuchs, G. W., Awad, Z., et al. 2007, *ApJ*, 662, L23
- Öberg, K. I., Garrod, R. T., van Dishoeck, E. F., & Linnartz, H. 2009b, *A&A*, 504, 891
- Öberg, K. I., van Broekhuizen, F., Fraser, H. J., et al. 2005, *ApJ*, 621, L33
- Öberg, K. I., van der Marel, N., Kristensen, L. E., & van Dishoeck, E. F. 2011b, *ApJ*, 740, 14
- Olmi, L., Cesaroni, R., & Walmsley, C. M. 1996, *A&A*, 307, 599
- Palumbo, M. E. 2005, *Journal of Physics Conference Series*, 6, 211
- Palumbo, M. E. 2006, *A&A*, 453, 903

- Palumbo, M. E., Baratta, G. A., Leto, G., & Strazzulla, G. 2010, *Journal of Molecular Structure*, 972, 64
- Palumbo, M. E., Pendleton, Y. J., & Strazzulla, G. 2000, *ApJ*, 542, 890
- Palumbo, M. E. & Strazzulla, G. 1993, *A&A*, 269, 568
- Papoular, R. 2005, *MNRAS*, 362, 489
- Pendleton, Y. J., Tielens, A. G. G. M., Tokunaga, A. T., & Bernstein, M. P. 1999, *ApJ*, 513, 294
- Pestalozzi, M. R., Elitzur, M., & Conway, J. E. 2009, *A&A*, 501, 999
- Pestalozzi, M. R., Elitzur, M., Conway, J. E., & Booth, R. S. 2004, *ApJ*, 603, L113
- Pickett, H. M., Poynter, R. L., Cohen, E. A., et al. 1998, *J. Quant. Spec. Radiat. Transf.*, 60, 883
- Pontoppidan, K. M. 2006, *A&A*, 453, L47
- Pontoppidan, K. M., Boogert, A. C. A., Fraser, H. J., et al. 2008, *ApJ*, 678, 1005
- Pontoppidan, K. M., Dartois, E., van Dishoeck, E. F., Thi, W.-F., & d'Hendecourt, L. 2003a, *A&A*, 404, L17
- Pontoppidan, K. M., Fraser, H. J., Dartois, E., et al. 2003b, *A&A*, 408, 981
- Pontoppidan, K. M., van Dishoeck, E. F., & Dartois, E. 2004, *A&A*, 426, 925
- Posthumus, M. A., Kistemaker, P. G., Meuzelaar, H. L. C., & Ten Noever de Brauw, M. C. 1978, *Analytical Chemistry*, 50, 985
- Poteet, C. A., Megeath, S. T., Watson, D. M., et al. 2011, *ApJ*, 733, L32
- Prasad, S. S. & Tarafdar, S. P. 1983, *ApJ*, 267, 603
- Raut, U., Famá, M., Loeffler, M. J., & Baragiola, R. A. 2008, *ApJ*, 687, 1070
- Raut, U., Famá, M., Teolis, B. D., & Baragiola, R. A. 2007a, *J. Chem. Phys.*, 127, 204713
- Raut, U., Teolis, B. D., Loeffler, M. J., et al. 2007b, *J. Chem. Phys.*, 126, 244511
- Requena-Torres, M. A., Martín-Pintado, J., Martín, S., & Morris, M. R. 2008, *ApJ*, 672, 352
- Romanescu, C., Marschall, J., Kim, D., Khatiwada, A., & Kalogerakis, K. S. 2010, *Icarus*, 205, 695
- Romanzin, C., Ioppolo, S., Cuppen, H. M., van Dishoeck, E. F., & Linnartz, H. 2011, *J. Chem. Phys.*, 134, 084504
- Rorden, R. J. & Lubman, D. M. 1983, *Review of Scientific Instruments*, 54, 641
- Roser, J. E., Vidali, G., Manicò, G., & Pirronello, V. 2001, *ApJ*, 555, L61
- Rowland, B. & Devlin, J. P. 1991, *J. Chem. Phys.*, 94, 812
- Rowland, B., Fisher, M., & Devlin, J. P. 1991, *J. Chem. Phys.*, 95, 1378
- Sandford, S. A. & Allamandola, L. J. 1990, *ApJ*, 355, 357
- Sandford, S. A., Allamandola, L. J., Tielens, A. G. G. M., & Valero, G. J. 1988, *ApJ*, 329, 498
- Satorre, M. Á., Domingo, M., Millán, C., et al. 2008, *Planet. Space Sci.*, 56, 1748
- Scheer, M. D., McNesby, J., & Klein, R. 1962, *J. Chem. Phys.*, 36, 3504
- Schilke, P., Groesbeck, T. D., Blake, G. A., & Phillips, T. G. 1997, *ApJS*, 108, 301
- Schmitt, B., Greenberg, J. M., & Grim, R. J. A. 1989, *ApJ*, 340, L33
- Schutte, W. A. 1988, PhD thesis, PhD thesis, University of Leiden, Leiden, (1988)
- Schutte, W. A., Allamandola, L. J., & Sandford, S. A. 1993a, *Icarus*, 104, 118
- Schutte, W. A., Allamandola, L. J., & Sandford, S. A. 1993b, *Science*, 259, 1143
- Schutte, W. A., Boogert, A. C. A., Tielens, A. G. G. M., et al. 1999, *A&A*, 343, 966
- Schutte, W. A. & Greenberg, J. M. 1997, *A&A*, 317, L43
- Sciortino, F., Geiger, A., & Stanley, H. E. 1992, *J. Chem. Phys.*, 96, 3857
- Sephton, M. A. 2002, *Nat. Prod. Rep.*, 19, 292

- Shepherd, D. S., Yu, K. C., Bally, J., & Testi, L. 2000, *ApJ*, 535, 833
- Shu, F. H., Adams, F. C., & Lizano, S. 1987, *ARA&A*, 25, 23
- Skinner, C. J., Tielens, A. G. G. M., Barlow, M. J., & Justtanont, K. 1992, *ApJ*, 399, L79
- Smalley, R. E., Wharton, L., Levy, D. H., & Chandler, D. W. 1977, *Journal of Molecular Spectroscopy*, 66, 375
- Snyder, L. E. 2006, *Proceedings of the National Academy of Science*, 103, 12243
- Snyder, L. E., Buhl, D., Schwartz, P. R., et al. 1974, *ApJ*, 191, L79
- Sridharan, T. K., Beuther, H., Schilke, P., Menten, K. M., & Wyrowski, F. 2002, *ApJ*, 566, 931
- Sridharan, T. K., Williams, S. J., & Fuller, G. A. 2005, *ApJ*, 631, L73
- Stevenson, K. P., Kimmel, G. A., Dohnalek, Z., Smith, R. S., & Kay, B. D. 1999, *Science*, 283, 1505
- Stief, L. J., Decarlo, V. J., & Hillman, J. J. 1965, *J. Chem. Phys.*, 43, 2490
- Strazzulla, G., Baratta, G. A., Domingo, M., & Satorre, M. A. 2002, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 191, 714
- Sutton, E. C., Blake, G. A., Masson, C. R., & Phillips, T. G. 1985, *ApJS*, 58, 341
- Teixeira, T. C., Emerson, J. P., & Palumbo, M. E. 1998, *A&A*, 330, 711
- Thi, W.-F., van Dishoeck, E. F., Dartois, E., et al. 2006, *A&A*, 449, 251
- Tielens, A. G. G. M. & Allamandola, L. J. 1987, in *NATO ASIC Proc. 210: Physical Processes in Interstellar Clouds*, ed. G. E. Morfill & M. Scholer, 333–376
- Tielens, A. G. G. M. & Charnley, S. B. 1997, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 27, 23
- Tielens, A. G. G. M. & Hagen, W. 1982, *A&A*, 114, 245
- Tielens, A. G. G. M., Tokunaga, A. T., Geballe, T. R., & Baas, F. 1991, *ApJ*, 381, 181
- Tofani, G., Felli, M., Taylor, G. B., & Hunter, T. R. 1995, *A&AS*, 112, 299
- Tso, T. & Lee, E. 1985, *J. Phys. Chem.*
- van Broekhuizen, F. A., Groot, I. M. N., Fraser, H. J., van Dishoeck, E. F., & Schlemmer, S. 2006, *A&A*, 451, 723
- van der Tak, F. F. S., Walmsley, C. M., Herpin, F., & Ceccarelli, C. 2006, *A&A*, 447, 1011
- van Dishoeck, E. F. 2004, *ARA&A*, 42, 119
- van Dishoeck, E. F., Blake, G. A., Jansen, D. J., & Groesbeck, T. D. 1995, *ApJ*, 447, 760
- van Dishoeck, E. F. & Helmich, F. P. 1996, *A&A*, 315, L177
- van Dishoeck, E. F., Helmich, F. P., de Graauw, T., et al. 1996, *A&A*, 315, L349
- Wakelam, V., Smith, I. W. M., Herbst, E., et al. 2010, *Space Sci. Rev.*, 156, 13
- Wang, K.-S., van der Tak, F. F. S., & Hogerheijde, M. R. 2012, *A&A*, 543, A22
- Warren, S. G. 1984, *Appl. Opt.*, 23, 1206
- Watanabe, N. & Kouchi, A. 2002, *ApJ*, 567, 651
- Watanabe, N., Nagaoka, A., Hidaka, H., et al. 2006, *Planet. Space Sci.*, 54, 1107
- Watanabe, N., Nagaoka, A., Shiraki, T., & Kouchi, A. 2004, *ApJ*, 616, 638
- Westley, M. S., Baratta, G. A., & Baragiola, R. A. 1998, *J. Chem. Phys.*, 108, 3321
- White, D. W., Gerakines, P. A., Cook, A. M., & Whittet, D. C. B. 2009, *ApJS*, 180, 182
- Whittet, D. C. B., Cook, A. M., Chiar, J. E., et al. 2009, *ApJ*, 695, 94
- Whittet, D. C. B., Gerakines, P. A., Tielens, A. G. G. M., et al. 1998, *ApJ*, 498, L159
- Whittet, D. C. B., Schutte, W. A., Tielens, A. G. G. M., et al. 1996, *A&A*, 315, L357
- Whittet, D. C. B., Shenoy, S. S., Bergin, E. A., et al. 2007, *ApJ*, 655, 332

- Widicus Weaver, S. L., Butler, R. A. H., Drouin, B. J., et al. 2005, *ApJS*, 158, 188
- Wilking, B. A., Blackwell, J. H., & Mundy, L. G. 1990, *AJ*, 100, 758
- Willacy, K., Klahr, H. H., Millar, T. J., & Henning, T. 1998, *A&A*, 338, 995
- Williams, D. A., Hartquist, T. W., & Whittet, D. C. B. 1992, *MNRAS*, 258, 599
- Winnewisser, G. & Gardner, F. F. 1976, *A&A*, 48, 159
- Wooden, D. H., Harker, D. E., & Brearley, A. J. 2005, in *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Vol. 341, *Chondrites and the Protoplanetary Disk*, ed. A. N. Krot, E. R. D. Scott, & B. Reipurth, 774
- Woon, D. E. 2008, *The astrochymist*
- Xu, Y., Moscadelli, L., Reid, M. J., et al. 2011, *ApJ*, 733, 25
- Yamada, H. & Person, W. B. 1964, *J. Chem. Phys.*, 41, 2478
- Zasowski, G., Kemper, F., Watson, D. M., et al. 2009, *ApJ*, 694, 459
- Zernickel, A., Schilke, P., Schmiedeke, A., et al. 2012, *A&A*, 546, A87
- Zhang, Q., Hunter, T. R., & Sridharan, T. K. 1998, *ApJ*, 505, L151
- Zinnecker, H. & Yorke, H. W. 2007, *ARA&A*, 45, 481
- Ziurys, L. M. & McGonagle, D. 1993, *ApJS*, 89, 155

