



Universiteit
Leiden
The Netherlands

A song of ice and gas: the formation and evolution of complex organic molecules

Chen, Y.

Citation

Chen, Y. (2026, February 24). *A song of ice and gas: the formation and evolution of complex organic molecules*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4292644>

Version: 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/1887/4292644>

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

Bibliography

- Allamandola, L. J., Sandford, S. A. & Valero, G. J., 1988, *ICARUS*, 76, 2, 225–252
- Allodi, M. A., Baragiola, R. A., Baratta, G. A. et al., 2013, *Space Sci. Rev.*, 180, 1–4, 101–175
- André, P., Ward-Thompson, D. & Barsony, M., 1993, *ApJ*, 406, 122
- André, P., Ward-Thompson, D. & Barsony, M., 2000, V. Mannings, A. P. Boss & S. S. Russell, editors, *Protostars and Planets IV*, 59
- André, P., Di Francesco, J., Ward-Thompson, D. et al., 2014, H. Beuther, R. S. Klessen, C. P. Dullemond & T. Henning, editors, *Protostars and Planets VI*, 27–51
- Argyriou, I., Glasse, A., Law, D. R. et al., 2023, *A&A*, 675, A111
- Bacmann, A., Taquet, V., Faure, A. et al., 2012, *A&A*, 541, L12
- Baek, G., Lee, J.-E., Hirota, T. et al., 2022, *ApJ*, 939, 2, 84
- Balucani, N., Ceccarelli, C. & Taquet, V., 2015, *MNRAS*, 449, L16–L20
- Belloche, A., Müller, H. S. P., Menten, K. M. et al., 2013, *A&A*, 559, A47
- Belloche, A., Garrod, R. T., Müller, H. S. P. & Menten, K. M., 2014, *Science*, 345, 6204, 1584–1587
- Belloche, A., Müller, H. S. P., Garrod, R. T. & Menten, K. M., 2016, *A&A*, 587, A91
- Belloche, A., Garrod, R. T., Müller, H. S. P. et al., 2019, *A&A*, 628, A10
- Belloche, A., Maury, A. J., Maret, S. et al., 2020, *A&A*, 635, A198
- Belloche, A., Garrod, R. T., Zingsheim, O. et al., 2022, *A&A*, 662, A110
- Belloche, A., Garrod, R. T., Müller, H. S. P. et al., 2025, *A&A*, 698, A143
- Beltrán, M. T., Codella, C., Viti, S. et al., 2009, *ApJ*, 690, 2, L93–L96
- Beltrán, M. T., Sánchez-Monge, Á., Cesaroni, R. et al., 2014, *A&A*, 571, A52
- Beltrán, M. T., Cesaroni, R., Rivilla, V. M. et al., 2018, *A&A*, 615, A141
- Bergantini, A., Abplanalp, M. J., Pokhilko, P. et al., 2018, *ApJ*, 860, 2, 108
- Bergin, E. A. & Tafalla, M., 2007, *ARA&A*, 45, 1, 339–396
- Bertin, M., Romanzin, C., Doronin, M. et al., 2016, *ApJ*, 817, 2, L12
- Beuther, H., Churchwell, E. B., McKee, C. F. & Tan, J. C., 2007, B. Reipurth, D. Jewitt & K. Keil, editors, *Protostars and Planets V*, 165
- Beuther, H., Kuiper, R. & Tafalla, M., 2025, arXiv e-prints, arXiv:2501.16866
- Bianchi, E., Chandler, C. J., Ceccarelli, C. et al., 2020, *MNRAS*, 498, 1, L87–L92
- Bisschop, S. E., Jørgensen, J. K., van Dishoeck, E. F. & de Wachter, E. B. M., 2007, *A&A*, 465, 3, 913–929
- Biver, N., Bockelée-Morvan, D., Boissier, J. et al., 2021, *A&A*, 648, A49
- Blake, G. A., Sutton, E. C., Masson, C. R. & Phillips, T. G., 1987, *ApJ*, 315, 621
- Bonfand, M., Csengeri, T., Bontemps, S. et al., 2024, *A&A*, 687, A163
- Bonnell, I. A. & Bate, M. R., 2006, *MNRAS*, 370, 1, 488–494
- Bonnell, I. A., Bate, M. R., Clarke, C. J. & Pringle, J. E., 2001, *MNRAS*, 323, 4, 785–794
- Boogert, A. C. A., Schutte, W. A., Tielens, A. G. G. M. et al., 1996, *A&A*, 315,

L377–L380

- Boogert, A. C. A., Schutte, W. A., Helmich, F. P. et al., 1997, *A&A*, 317, 929–941
- Boogert, A. C. A., Ehrenfreund, P., Gerakines, P. A. et al., 2000, *A&A*, 353, 349–362
- Boogert, A. C. A., Pontoppidan, K. M., Knez, C. et al., 2008, *ApJ*, 678, 2, 985–1004
- Boogert, A. C. A., Gerakines, P. A. & Whittet, D. C. B., 2015, *ARA&A*, 53, 541–581
- Booth, A. S., Walsh, C., Terwisscha van Scheltinga, J. et al., 2021, *Nature Astronomy*, 5, 684–690
- Booth, A. S., Law, C. J., Temmink, M. et al., 2023, *A&A*, 678, A146
- Booth, A. S., Leemker, M., van Dishoeck, E. F. et al., 2024a, *AJ*, 167, 4, 164
- Booth, A. S., Temmink, M., van Dishoeck, E. F. et al., 2024b, *AJ*, 167, 4, 165
- Booth, A. S., Wölfer, L., Temmink, M. et al., 2025, *ApJ*, 986, 1, L9
- Bottinelli, S., Ceccarelli, C., Lefloch, B. et al., 2004, *ApJ*, 615, 1, 354–358
- Bottinelli, S., Boogert, A. C. A., Bouwman, J. et al., 2010, *ApJ*, 718, 2, 1100–1117
- Boudin, N., Schutte, W. A. & Greenberg, J. M., 1998, *A&A*, 331, 749–759
- Bouilloud, M., Fray, N., Bénilan, Y. et al., 2015, *MNRAS*, 451, 2, 2145–2160
- Bouvier, M., Ceccarelli, C., López-Sepulcre, A. et al., 2022, *ApJ*, 929, 1, 10
- Brogan, C. L., Hunter, T. R. & Fomalont, E. B., 2018, arXiv e-prints, arXiv:1805.05266
- Brown, R. D., Crofts, J. G., Gardner, F. F. et al., 1975, *ApJ*, 197, L29–L31
- Brown, R. D., Godfrey, P. D., McNaughton, D. et al., 1990, *Journal of Molecular Spectroscopy*, 140, 2, 340–352
- Brunken, N. G. C., Booth, A. S., Leemker, M. et al., 2022, *A&A*, 659, A29
- Brunken, N. G. C., Rocha, W. R. M., van Dishoeck, E. F. et al., 2024a, *A&A*, 685, A27
- Brunken, N. G. C., van Dishoeck, E. F., Slavicinska, K. et al., 2024b, *A&A*, 692, A163
- Brunken, N. G. C., van Dishoeck, E. F., Slavicinska, K. et al., 2024c, *A&A*, 692, A163
- Brunken, N. G. C., Boogert, A. C. A., van Dishoeck, E. F. et al., 2025, *ACS Earth and Space Chemistry*, 9, 8, 1992–2003
- Burbidge, E. M., Burbidge, G. R., Fowler, W. A. & Hoyle, F., 1957, *Reviews of Modern Physics*, 29, 4, 547–650
- Busch, L. A., Belloche, A., Garrod, R. T. et al., 2024, *A&A*, 681, A104
- Bushouse, H., Eisenhamer, J., Dencheva, N. et al., 2023, *JWST Calibration Pipeline*, doi: 10.5281/zenodo.10022973
- Calcutt, H., Jørgensen, J. K., Müller, H. S. P. et al., 2018, *A&A*, 616, A90
- Calcutt, H., Willis, E. R., Jørgensen, J. K. et al., 2019, *A&A*, 631, A137
- Carr, J. S., 1989, *ApJ*, 345, 522–535
- Caselli, P. & Ceccarelli, C., 2012, *A&A Rev.*, 20, 56
- Caselli, P., Walmsley, C. M., Tafalla, M. et al., 1999, *ApJ*, 523, 2, L165–L169
- Cazaux, S., Tielens, A. G. G. M., Ceccarelli, C. et al., 2003, *ApJ*, 593, 1, L51–L55
- Cazzoli, G. & Puzzarini, C., 2008, *A&A*, 487, 3, 1197–1202
- Ceccarelli, C., Caselli, P., Bockelée-Morvan, D. et al., 2014, H. Beuther, R. S. Klessen, C. P. Dullemond & T. Henning, editors, *Protostars and Planets VI*, 859–882
- Ceccarelli, C., Codella, C., Balucani, N. et al., 2023, S. Inutsuka, Y. Aikawa, T. Muto, K. Tomida & M. Tamura, editors, *Protostars and Planets VII*, volume 534 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 379

- Cernicharo, J., Agúndez, M., Cabezas, C. et al., 2021, *A&A*, 649, L15
- Cernicharo, J., Agúndez, M., Cabezas, C. et al., 2022, *European Physical Journal Web of Conferences*, volume 265 of *European Physical Journal Web of Conferences*, 00041
- Chahine, L., López-Sepulcre, A., Neri, R. et al., 2022, *A&A*, 657, A78
- Charnley, S. B., Tielens, A. G. G. M. & Millar, T. J., 1992, *ApJ*, 399, L71
- Charnley, S. B., Kress, M. E., Tielens, A. G. G. M. & Millar, T. J., 1995, *ApJ*, 448, 232
- Chibueze, J. O., Omodaka, T., Handa, T. et al., 2014, *ApJ*, 784, 2, 114
- Christiaens, V., Gonzalez, C., Farkas, R. et al., 2023, *The Journal of Open Source Software*, 8, 81, 4774
- Chuang, K. J., Fedoseev, G., Ioppolo, S. et al., 2016, *MNRAS*, 455, 2, 1702–1712
- Chuang, K. J., Fedoseev, G., Qasim, D. et al., 2017, *MNRAS*, 467, 3, 2552–2565
- Chuang, K. J., Fedoseev, G., Qasim, D. et al., 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 635, A199
- Chuang, K. J., Fedoseev, G., Scirè, C. et al., 2021, *A&A*, 650, A85
- Codella, C., López-Sepulcre, A., Ohashi, S. et al., 2022, *MNRAS*, 515, 1, 543–554
- Coletta, A., Fontani, F., Rivilla, V. M. et al., 2020, *A&A*, 641, A54
- Collings, M. P., Anderson, M. A., Chen, R. et al., 2004, *MNRAS*, 354, 4, 1133–1140
- Colzi, L., Rivilla, V. M., Beltrán, M. T. et al., 2021, *A&A*, 653, A129
- Coutens, A., Jørgensen, J. K., van der Wiel, M. H. D. et al., 2016, *A&A*, 590, L6
- Crapsi, A., van Dishoeck, E. F., Hogerheijde, M. R. et al., 2008, *A&A*, 486, 1, 245–254
- Crouzet, N., Mueller, M., Sargent, B. et al., 2025, *A&A*, 698, A77
- Cruz-Díaz, G. A., Martín-Doménech, R., Muñoz Caro, G. M. & Chen, Y. J., 2016, *A&A*, 592, A68
- Csengeri, T., Belloche, A., Bontemps, S. et al., 2019, *A&A*, 632, A57
- Csengeri, T., Wyrowski, F., Menten, K. M. et al., 2022, *A&A*, 658, A193
- Cummins, S. E., Linke, R. A. & Thaddeus, P., 1986, *ApJS*, 60, 819
- Cuppen, H. M., van Dishoeck, E. F., Herbst, E. & Tielens, A. G. G. M., 2009, *A&A*, 508, 1, 275–287
- Cuppen, H. M., Linnartz, H. & Ioppolo, S., 2024, *ARA&A*, 62, 1, 243–286
- Cyganowski, C. J., Brogan, C. L., Hunter, T. R. et al., 2011, *ApJ*, 729, 2, 124
- Danielson, R. E., Woolf, N. J. & Gaustad, J. E., 1965, *ApJ*, 141, 116
- Dartois, E., Noble, J. A., Ysard, N. et al., 2022, *A&A*, 666, A153
- Dartois, E., Noble, J. A., Caselli, P. et al., 2024, *Nature Astronomy*
- de Graauw, T., Whittet, D. C. B., Gerakines, P. A. et al., 1996, *A&A*, 315, L345–L348
- De Simone, M., Ceccarelli, C., Codella, C. et al., 2020, *ApJ*, 896, 1, L3
- D’Hendecourt, L. B. & Jourdain de Muizon, M., 1989, *A&A*, 223, L5–L8
- Dominik, C., Min, M. & Tazaki, R., 2021, *OpTool: Command-line driven tool for creating complex dust opacities*, *Astrophysics Source Code Library*, record ascl:2104.010
- Dorschner, J., Begemann, B., Henning, T. et al., 1995, *A&A*, 300, 503
- Drozdovskaya, M. N., van Dishoeck, E. F., Rubin, M. et al., 2019, *MNRAS*, 490, 1, 50–79

- Drozdovskaya, M. N., Coudert, L. H., Margulès, L. et al., 2022, *A&A*, 659, A69
- Dulieu, F., Amiaud, L., Congiu, E. et al., 2010, *A&A*, 512, A30
- Ehrenfreund, P., Gerakines, P. A., Schutte, W. A. et al., 1996, *A&A*, 312, 263–274
- Ehrenfreund, P., Boogert, A. C. A., Gerakines, P. A. et al., 1997, *A&A*, 328, 649–669
- El-Abd, S. J., Brogan, C. L., Hunter, T. R. et al., 2019, *ApJ*, 883, 2, 129
- Endres, C. P., Schlemmer, S., Schilke, P. et al., 2016, *Journal of Molecular Spectroscopy*, 327, 95–104
- Enoch, M. L., Evans, N. J., II, Sargent, A. I. & Glenn, J., 2009, *ApJ*, 692, 2, 973–997
- Evans, N. J., II, Allen, L. E., Blake, G. A. et al., 2003, *PASP*, 115, 810, 965–980
- Evans, N. J., II, Dunham, M. M., Jørgensen, J. K. et al., 2009, *ApJS*, 181, 2, 321–350
- Fabricant, B., Krieger, D. & Muentert, J. S., 1977, *J. Chem. Phys.*, 67, 4, 1576–1586
- Faúndez, S., Bronfman, L., Garay, G. et al., 2004, *A&A*, 426, 97–103
- Fayolle, E. C., Öberg, K. I., Cuppen, H. M. et al., 2011, *A&A*, 529, A74
- Fayolle, E. C., Öberg, K. I., Jørgensen, J. K. et al., 2017, *Nature Astronomy*, 1, 703–708
- Fedele, D., van den Ancker, M. E., Henning, T. et al., 2010, *A&A*, 510, A72
- Federman, S. A., Megeath, S. T., Rubinstein, A. E. et al., 2024, *ApJ*, 966, 1, 41
- Fedoseev, G., Cuppen, H. M., Ioppolo, S. et al., 2015, *MNRAS*, 448, 2, 1288–1297
- Fedoseev, G., Chuang, K. J., Ioppolo, S. et al., 2017, *ApJ*, 842, 1, 52
- Fedoseev, G., Qasim, D., Chuang, K.-J. et al., 2022, *ApJ*, 924, 2, 110
- Ferrer Asensio, J., Spezzano, S., Coudert, L. H. et al., 2023, *A&A*, 670, A177
- Foreman-Mackey, D., Hogg, D. W., Lang, D. & Goodman, J., 2013, *PASP*, 125, 925, 306
- Francis, L., van Gelder, M. L., van Dishoeck, E. F. et al., 2024, *A&A*, 683, A249
- Francis, L., van Dishoeck, E. F., Caratti o Garatti, A. et al., 2025, *A&A*, 694, A174
- Fuchs, G. W., Cuppen, H. M., Ioppolo, S. et al., 2009, *A&A*, 505, 2, 629–639
- Fuente, A., Cernicharo, J., Caselli, P. et al., 2014, *A&A*, 568, A65
- Garrod, R. T., 2013, *ApJ*, 765, 1, 60
- Garrod, R. T. & Herbst, E., 2006, *A&A*, 457, 3, 927–936
- Garrod, R. T. & Pauly, T., 2011, *ApJ*, 735, 1, 15
- Garrod, R. T., Jin, M., Matis, K. A. et al., 2022, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 259, 1, 1
- Ge, J. X., He, J. H., Chen, X. & Takahashi, S., 2014, *MNRAS*, 445, 2, 1170–1185
- Geballe, T. R., 1986, *A&A*, 162, 248–252
- Gerakines, P., Yarnall, Y. & Hudson, R., 2022, *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, volume 54 of *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, 134.02
- Gerakines, P. A., Schutte, W. A., Greenberg, J. M. & van Dishoeck, E. F., 1995, *A&A*, 296, 810
- Gibb, E. L., Whittet, D. C. B., Boogert, A. C. A. & Tielens, A. G. G. M., 2004, *ApJS*, 151, 1, 35–73
- Gieser, C., Semenov, D., Beuther, H. et al., 2019, *A&A*, 631, A142
- Gillet, F. C. & Forrest, W. J., 1973, *ApJ*, 179, 483
- Goldsmith, P. F., 2001, *ApJ*, 557, 2, 736–746

- Grant, S. L., van Dishoeck, E. F., Tabone, B. et al., 2023, *ApJ*, 947, 1, L6
- GRAVITY Collaboration, Caratti o Garatti, A., Fedriani, R. et al., 2020, *A&A*, 635, L12
- Greene, T. P., Wilking, B. A., Andre, P. et al., 1994, *ApJ*, 434, 614
- Greenfield, P. & Miller, T., 2016, *Astronomy and Computing*, 16, 41–53
- Grim, R. J. A. & Greenberg, J. M., 1987, *ApJ*, 321, L91
- Grim, R. J. A., Baas, F., Geballe, T. R. et al., 1991, *A&A*, 243, 473
- Groner, P., Albert, S., Herbst, E. et al., 2002, *ApJS*, 142, 1, 145–151
- Hagen, W., Tielens, A. G. G. M. & Greenberg, J. M., 1983, *A&AS*, 51, 389–416
- Haisch, K. E., Jr., Lada, E. A. & Lada, C. J., 2001, *ApJ*, 553, 2, L153–L156
- Henning, T. K. & Krasnokutski, S. A., 2019, *Nature Astronomy*, 3, 568–573
- Herbst, E. & Klemperer, W., 1973, *ApJ*, 185, 505–534
- Herbst, E. & van Dishoeck, E. F., 2009, *ARA&A*, 47, 1, 427–480
- Hernández, J., Hartmann, L., Megeath, T. et al., 2007, *ApJ*, 662, 2, 1067–1081
- Hidaka, H., Watanabe, M., Kouchi, A. & Watanabe, N., 2011, *Physical Chemistry Chemical Physics (Incorporating Faraday Transactions)*, 13, 35, 15798
- Hiraoka, K., Miyagoshi, T., Takayama, T. et al., 1998, *ApJ*, 498, 2, 710–715
- Hollis, J. M., Lovas, F. J. & Jewell, P. R., 2000, *ApJ*, 540, 2, L107–L110
- Hollis, J. M., Lovas, F. J., Jewell, P. R. & Coudert, L. H., 2002, *ApJ*, 571, 1, L59–L62
- Horn, A., Møllendal, H., Sekiguchi, O. et al., 2004, *ApJ*, 611, 1, 605–614
- Hsieh, T.-H., Murillo, N. M., Belloche, A. et al., 2019, *ApJ*, 884, 2, 149
- Hsu, S.-Y., Liu, S.-Y., Liu, T. et al., 2022, *ApJ*, 927, 2, 218
- Hudgins, D. M., Sandford, S. A., Allamandola, L. J. & Tielens, A. G. G. M., 1993, *ApJS*, 86, 713
- Hudson, R. L. & Ferrante, R. F., 2020, *MNRAS*, 492, 1, 283–293
- Hudson, R. L. & Gerakines, P. A., 2019, *MNRAS*, 485, 1, 861–871
- Hudson, R. L. & Yarnall, Y. Y., 2022, *ICARUS*, 377, 114899
- Hudson, R. L., Gerakines, P. A. & Moore, M. H., 2014, *ICARUS*, 243, 148–157
- Hudson, R. L., Loeffler, M. J. & Yocum, K. M., 2017, *ApJ*, 835, 2, 225
- Hudson, R. L., Gerakines, P. A. & Ferrante, R. F., 2018, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 193, 33–39
- Hudson, R. L., Gerakines, P. A., Yarnall, Y. Y. & Coones, R. T., 2021, *ICARUS*, 354, 114033
- Ilyushin, V. V., Müller, H. S. P., Jørgensen, J. K. et al., 2022, *A&A*, 658, A127
- Imai, M., Oya, Y., Svoboda, B. et al., 2022, *ApJ*, 934, 1, 70
- Ioppolo, S., van Boheemen, Y., Cuppen, H. M. et al., 2011, *MNRAS*, 413, 3, 2281–2287
- Ioppolo, S., Fedoseev, G., Chuang, K. J. et al., 2021, *Nature Astronomy*, 5, 197–205
- Ishibashi, A., Molpeceres, G., Hidaka, H. et al., 2024, *ApJ*, 976, 2, 162
- Isokoski, K., Bottinelli, S. & van Dishoeck, E. F., 2013, *A&A*, 554, A100
- Issac, N., Tej, A., Liu, T. et al., 2020, *MNRAS*, 497, 4, 5454–5472
- Jeans, J. H., 1902, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A*, 199, 1–53
- Jiménez-Serra, I., Vasyunin, A. I., Caselli, P. et al., 2016a, *ApJ*, 830, 1, L6
- Jiménez-Serra, I., Vasyunin, A. I., Caselli, P. et al., 2016b, *ApJ*, 830, 1, L6

- Jiménez-Serra, I., Rodríguez-Almeida, L. F., Martín-Pintado, J. et al., 2022, *A&A*, 663, A181
- Jin, M. & Garrod, R. T., 2020, *ApJS*, 249, 2, 26
- Johnson, H. R. & Strandberg, M. W. P., 1952, *J. Chem. Phys.*, 20, 4, 687–695
- Johnstone, D., Boonman, A. M. S. & van Dishoeck, E. F., 2003, *A&A*, 412, 157–174
- Jørgensen, J. K., Bourke, T. L., Myers, P. C. et al., 2005, *ApJ*, 632, 2, 973–981
- Jørgensen, J. K., van der Wiel, M. H. D., Coutens, A. et al., 2016, *A&A*, 595, A117
- Jørgensen, J. K., Müller, H. S. P., Calcutt, H. et al., 2018, *A&A*, 620, A170
- Jørgensen, J. K., Belloche, A. & Garrod, R. T., 2020, *ARA&A*, 58, 727–778
- Keane, J. V., Boogert, A. C. A., Tielens, A. G. G. M. et al., 2001, *A&A*, 375, L43–L46
- Kemper, F., Vriend, W. J. & Tielens, A. G. G. M., 2004, *ApJ*, 609, 2, 826–837
- Kennicutt, R. C. & Evans, N. J., 2012, *ARA&A*, 50, 531–608
- Kessler, M. F., Steinz, J. A., Anderegg, M. E. et al., 1996, *A&A*, 315, 2, L27–L31
- Knacke, R. F., Cudaback, D. D. & Gaustad, J. E., 1969, *ApJ*, 158, 151
- Knacke, R. F., McCorkle, S., Puetter, R. C. et al., 1982, *ApJ*, 260, 141–146
- König, C., Urquhart, J. S., Csengeri, T. et al., 2017, *A&A*, 599, A139
- Krasnokutski, S. A., Kuhn, M., Renzler, M. et al., 2016, *ApJ*, 818, 2, L31
- Kristensen, L. E., van Dishoeck, E. F., Bergin, E. A. et al., 2012, *A&A*, 542, A8
- Kruczkiewicz, F., Dulieu, F., Ivlev, A. V. et al., 2024, *A&A*, 686, A236
- Labiano, A., Argyriou, I., Álvarez-Márquez, J. et al., 2021, *A&A*, 656, A57
- Lacy, J. H., Baas, F., Allamandola, L. J. et al., 1984, *ApJ*, 276, 533–543
- Lada, C. J., 1987, M. Peimbert & J. Jugaku, editors, *Star Forming Regions*, volume 115 of *IAU Symposium*, 1
- Lamberts, T., Fedoseev, G., van Hemert, M. C. et al., 2022, *ApJ*, 928, 1, 48
- Larson, R. B., 1969, *MNRAS*, 145, 271
- Law, D. R., E. Morrison, J., Argyriou, I. et al., 2023, *AJ*, 166, 2, 45
- Lee, C.-F., Codella, C., Li, Z.-Y. & Liu, S.-Y., 2019a, *ApJ*, 876, 1, 63
- Lee, J.-E., Lee, S., Baek, G. et al., 2019b, *Nature Astronomy*, 3, 314–319
- Leger, A., Gauthier, S., Defourneau, D. & Rouan, D., 1983, *A&A*, 117, 1, 164–169
- Leung, C. M., Herbst, E. & Huebner, W. F., 1984, *ApJS*, 56, 231–256
- Li, C., Qin, S.-L., Liu, T. et al., 2024, *MNRAS*, 533, 2, 1583–1617
- Li, Z.-Y., Liu, X., Liu, T. et al., 2025, *A&A*, 697, A190
- Ligterink, N. F. W., Tenenbaum, E. D. & van Dishoeck, E. F., 2015, *A&A*, 576, A35
- Ligterink, N. F. W., El-Abd, S. J., Brogan, C. L. et al., 2020, *ApJ*, 901, 1, 37
- Linnartz, H., Ioppolo, S. & Fedoseev, G., 2015, *International Reviews in Physical Chemistry*, 34, 2, 205–237
- Liu, T., Evans, N. J., Kim, K.-T. et al., 2020, *MNRAS*, 496, 3, 2790–2820
- Liu, X., Liu, T., Zhu, L. et al., 2024, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 24, 2, 025009
- Luna, R., Molpeceres, G., Ortigoso, J. et al., 2018, *A&A*, 617, A116
- Lykke, J. M., Coutens, A., Jørgensen, J. K. et al., 2017, *A&A*, 597, A53
- Léger, A., Klein, J., de Cheveigne, S. et al., 1979, *A&A*, 79, 1-2, 256–259
- Maity, S., Kaiser, R. I. & Jones, B. M., 2015, *Physical Chemistry Chemical Physics (Incorporating Faraday Transactions)*, 17, 5, 3081–3114

- Manigand, S., Calcutt, H., Jørgensen, J. K. et al., 2019, A&A, 623, A69
- Manigand, S., Jørgensen, J. K., Calcutt, H. et al., 2020, A&A, 635, A48
- Mastrapa, R. M., Sandford, S. A., Roush, T. L. et al., 2009, ApJ, 701, 2, 1347–1356
- Masunaga, H. & Inutsuka, S.-i., 2000, ApJ, 531, 1, 350–365
- Masunaga, H., Miyama, S. M. & Inutsuka, S.-i., 1998, ApJ, 495, 1, 346–369
- Maud, L. T., Moore, T. J. T., Lumsden, S. L. et al., 2015, MNRAS, 453, 1, 645–665
- Maury, A. J., Belloche, A., André, P. et al., 2014, A&A, 563, L2
- McClure, M. K., Rocha, W. R. M., Pontoppidan, K. M. et al., 2023, Nature Astronomy, 7, 431–443
- McGuire, B. A., 2018, ApJS, 239, 2, 17
- McGuire, B. A., 2022, ApJS, 259, 2, 30
- McGuire, B. A., Burkhardt, A. M., Loomis, R. A. et al., 2020, ApJ, 900, 1, L10
- McKee, C. F. & Tan, J. C., 2003, ApJ, 585, 2, 850–871
- McLean, I. S., Becklin, E. E., Bendiksen, O. et al., 1998, A. M. Fowler, editor, *Infrared Astronomical Instrumentation*, volume 3354 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, 566–578
- McMullin, J. P., Waters, B., Schiebel, D. et al., 2007, R. A. Shaw, F. Hill & D. J. Bell, editors, *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVI*, volume 376 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 127
- Merrill, K. M., Russell, R. W. & Soifer, B. T., 1976, ApJ, 207, 763–769
- Milam, S. N., Savage, C., Brewster, M. A. et al., 2005, ApJ, 634, 2, 1126–1132
- Mininni, C., Beltrán, M. T., Rivilla, V. M. et al., 2020, A&A, 644, A84
- Mininni, C., Beltrán, M. T., Colzi, L. et al., 2023, A&A, 677, A15
- Minissale, M., Congiu, E., Manicò, G. et al., 2013, A&A, 559, A49
- Minissale, M., Aikawa, Y., Bergin, E. et al., 2022, ACS Earth and Space Chemistry, 6, 3, 597–630
- Molinari, S., Schilke, P., Battersby, C. et al., 2025, A&A, 696, A149
- Molpeceres, G., Enrique-Romero, J. & Aikawa, Y., 2023, A&A, 677, A39
- Motte, F., Bontemps, S. & Louvet, F., 2018, ARA&A, 56, 41–82
- Müller, H. S. P., Thorwirth, S., Roth, D. A. & Winnewisser, G., 2001, A&A, 370, L49–L52
- Müller, H. S. P., Schlöder, F., Stutzki, J. & Winnewisser, G., 2005, Journal of Molecular Structure, 742, 1-3, 215–227
- Murakami, H., Baba, H., Barthel, P. et al., 2007, PASJ, 59, S369–S376
- Nazari, P., 2025, Life Sciences in Space Research
- Nazari, P., van Gelder, M. L., van Dishoeck, E. F. et al., 2021, A&A, 650, A150
- Nazari, P., Meijerhof, J. D., van Gelder, M. L. et al., 2022a, A&A, 668, A109
- Nazari, P., Tabone, B., Rosotti, G. P. et al., 2022b, A&A, 663, A58
- Nazari, P., Tabone, B. & Rosotti, G. P., 2023a, A&A, 671, A107
- Nazari, P., Tabone, B., van’t Hoff, M. L. R. et al., 2023b, ApJ, 951, 2, L38
- Nazari, P., Rocha, W. R. M., Rubinstein, A. E. et al., 2024a, A&A, 686, A71
- Nazari, P., Rocha, W. R. M., Rubinstein, A. E. et al., 2024b, A&A, 686, A71
- Nazari, P., Tabone, B., Ahmadi, A. et al., 2024c, A&A, 686, A201
- Neugebauer, G., Habing, H. J., van Duinen, R. et al., 1984, ApJ, 278, L1–L6

- Newville, M., Stensitzki, T., Allen, D. B. & Ingargiola, A., 2014, LMFIT: Non-Linear Least-Square Minimization and Curve-Fitting for Python, doi: 10.5281/zenodo.11813
- Noble, J. A., Fraser, H. J., Pontoppidan, K. M. & Craigon, A. M., 2017, *MNRAS*, 467, 4, 4753–4762
- Noble, J. A., Fraser, H. J., Smith, Z. L. et al., 2024, *Nature Astronomy*, 8, 1169–1180
- Öberg, K. I., Boogert, A. C. A., Pontoppidan, K. M. et al., 2008, *ApJ*, 678, 2, 1032–1041
- Öberg, K. I., Fayolle, E. C., Cuppen, H. M. et al., 2009a, *A&A*, 505, 1, 183–194
- Öberg, K. I., Garrod, R. T., van Dishoeck, E. F. & Linnartz, H., 2009b, *A&A*, 504, 3, 891–913
- Öberg, K. I., Boogert, A. C. A., Pontoppidan, K. M. et al., 2011, *ApJ*, 740, 2, 109
- Öberg, K. I., Guzmán, V. V., Furuya, K. et al., 2015, *Nature*, 520, 7546, 198–201
- Öberg, K. I., Facchini, S. & Anderson, D. E., 2023, *ARA&A*, 61, 287–328
- Oort, J. H. & van de Hulst, H. C., 1946, *Bulletin of The Astronomical Institutes of the Netherlands*, 10, 187
- Paardekooper, D. M., Bossa, J. B. & Linnartz, H., 2016, *A&A*, 592, A67
- Palumbo, M. E., Tielens, A. G. G. M. & Tokunaga, A. T., 1995, *ApJ*, 449, 674
- Peebles, P. J. E., 1993, *Principles of Physical Cosmology*
- Perotti, G., Rocha, W. R. M., Jørgensen, J. K. et al., 2020, *A&A*, 643, A48
- Perotti, G., Jørgensen, J. K., Fraser, H. J. et al., 2021, *A&A*, 650, A168
- Perotti, G., Jørgensen, J. K., Rocha, W. R. M. et al., 2023, *A&A*, 678, A78
- Pickett, H. M., Poynter, R. L., Cohen, E. A. et al., 1998, *J. Quant. Spectr. Rad. Transf.*, 60, 5, 883–890
- Pilbratt, G. L., Riedinger, J. R., Passvogel, T. et al., 2010, *A&A*, 518, L1
- Pontoppidan, K. M., 2006, *A&A*, 453, 3, L47–L50
- Pontoppidan, K. M., Fraser, H. J., Dartois, E. et al., 2003, *A&A*, 408, 981–1007
- Pontoppidan, K. M., Boogert, A. C. A., Fraser, H. J. et al., 2008, *ApJ*, 678, 2, 1005–1031
- Potapov, A. & Garrod, R. T., 2024, *A&A*, 692, A252
- Qasim, D., Fedoseev, G., Chuang, K. J. et al., 2019, *A&A*, 627, A1
- Qasim, D., Fedoseev, G., Chuang, K. J. et al., 2020, *Nature Astronomy*, 4, 781–785
- Qin, S.-L., Liu, T., Liu, X. et al., 2022, *MNRAS*, 511, 3, 3463–3476
- Rachid, M. G., Terwisscha van Scheltinga, J., Koletski, D. & Linnartz, H., 2020, *A&A*, 639, A4
- Rachid, M. G., Brunken, N., de Boe, D. et al., 2021, *A&A*, 653, A116
- Rachid, M. G., Rocha, W. R. M. & Linnartz, H., 2022, *A&A*, 665, A89
- Raunier, S., Chiavassa, T., Marinelli, F. & Aycard, J.-P., 2004, *Chemical Physics*, 302, 1, 259–264
- Rayalacheruvu, P., Majumdar, L., Rocha, W. R. M. et al., 2025, *ApJS*, 281, 2, 51
- Regan, M., 2023, *Detection and Flagging of Showers and Snowballs in JWST*, Technical Report JWST-STScI-008545
- Ribas, Á., Merín, B., Bouy, H. & Maud, L. T., 2014, *A&A*, 561, A54
- Richard, C., Jørgensen, J. K., Margulès, L. et al., 2021, *A&A*, 651, A120
- Rieke, G. H., Ressler, M. E., Morrison, J. E. et al., 2015, *PASP*, 127, 953, 665

- Robitaille, T. P., Whitney, B. A., Indebetouw, R. et al., 2006, *ApJS*, 167, 2, 256–285
- Rocha, W. R. M., Rachid, M. G., Olsthoorn, B. et al., 2022, *A&A*, 668, A63
- Rocha, W. R. M., van Dishoeck, E. F., Ressler, M. E. et al., 2024, *A&A*, 683, A124
- Rodgers, S. D. & Charnley, S. B., 2001, *MNRAS*, 320, 4, L61–L64
- Rubin, M., Altwegg, K., Balsiger, H. et al., 2019a, *MNRAS*, 489, 1, 594–607
- Rubin, M., Bekaert, D. V., Broadley, M. W. et al., 2019b, *ACS Earth and Space Chemistry*, 3, 9, 1792–1811
- Sagan, C., 1972, *Nature*, 238, 5359, 77–80
- Saha, A., Tej, A., Liu, H.-L. et al., 2022, *MNRAS*, 516, 2, 1983–2005
- Sakai, N. & Yamamoto, S., 2013, *Chemical Reviews*, 113, 12, 8981–9015
- Sakai, N., Sakai, T., Hirota, T. & Yamamoto, S., 2008, *ApJ*, 672, 1, 371–381
- Sakai, N., Sakai, T., Hirota, T. et al., 2009, *ApJ*, 697, 1, 769–786
- Sánchez-Monge, Á., Cesaroni, R., Beltrán, M. T. et al., 2013, *A&A*, 552, L10
- Sandell, G., 2000, *A&A*, 358, 242–256
- Santos, J. C., Chuang, K.-J., Lamberts, T. et al., 2022, *ApJ*, 931, 2, L33
- Schilke, P., Groesbeck, T. D., Blake, G. A. et al., 1997, *ApJS*, 108, 1, 301–337
- Schutte, W. A., Gerakines, P. A., Geballe, T. R. et al., 1996, *A&A*, 309, 633–647
- Schutte, W. A., Boogert, A. C. A., Tielens, A. G. G. M. et al., 1999, *A&A*, 343, 966–976
- Scibelli, S., Shirley, Y., Vasyunin, A. & Launhardt, R., 2021, *MNRAS*, 504, 4, 5754–5767
- Segura-Cox, D. M., Looney, L. W., Tobin, J. J. et al., 2018, *ApJ*, 866, 2, 161
- Shalabiea, O. M. & Greenberg, J. M., 1994, *A&A*, 290, 266–278
- Shannon, R. J., Caravan, R. L., Blitz, M. A. & Heard, D. E., 2014, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 16, 3466–3478
- Shu, F. H., 1977, *ApJ*, 214, 488–497
- Shu, F. H., Adams, F. C. & Lizano, S., 1987, *ARA&A*, 25, 23–81
- Simons, M. A. J., Lamberts, T. & Cuppen, H. M., 2020, *A&A*, 634, A52
- Skouteris, D., Balucani, N., Ceccarelli, C. et al., 2018, *ApJ*, 854, 2, 135
- Skouteris, D., Balucani, N., Ceccarelli, C. et al., 2019, *MNRAS*, 482, 3, 3567–3575
- Slavicinska, K., Rachid, M. G., Rocha, W. R. M. et al., 2023, *A&A*, 677, A13
- Slavicinska, K., van Dishoeck, E. F., Tychoniec, Ł. et al., 2024, *A&A*, 688, A29
- Slavicinska, K., Boogert, A. C. A., Tychoniec, Ł. et al., 2025a, *A&A*, 693, A146
- Slavicinska, K., Tychoniec, Ł., Navarro, M. G. et al., 2025b, *ApJ*, 986, 2, L19
- Snow, T. P. & McCall, B. J., 2006, *ARA&A*, 44, 1, 367–414
- Snyder, L. E., Buhl, D., Schwartz, P. R. et al., 1974, *ApJ*, 191, L79
- Soifer, B. T., Puetter, R. C., Russell, R. W. et al., 1979, *ApJ*, 232, L53–L57
- Soma, T., Sakai, N., Watanabe, Y. & Yamamoto, S., 2018, *ApJ*, 854, 2, 116
- Spezzano, S., Caselli, P., Bizzocchi, L. et al., 2017, *A&A*, 606, A82
- Sung, K. & Tidwell, T. T., 1998, *The Journal of Organic Chemistry*, 63, 26, 9690–9697
- Sutton, E. C., Blake, G. A., Masson, C. R. & Phillips, T. G., 1985, *ApJS*, 58, 341–378
- Suutarinen, A., 2015, *omnifit: v0.2.1*, doi: 10.5281/zenodo.35536
- Tabone, B., Bettoni, G., van Dishoeck, E. F. et al., 2023, *Nature Astronomy*, 7, 805–814

- Tan, J. C., Beltrán, M. T., Caselli, P. et al., 2014, H. Beuther, R. S. Klessen, C. P. Dullemond & T. Henning, editors, *Protostars and Planets VI*, 149–172
- Tang, X. D., Henkel, C., Wyrowski, F. et al., 2018, *A&A*, 611, A6
- Taquet, V., López-Sepulcre, A., Ceccarelli, C. et al., 2015, *ApJ*, 804, 2, 81
- Taquet, V., Wiström, E. S. & Charnley, S. B., 2016, *ApJ*, 821, 1, 46
- Tercero, F., López-Pérez, J. A., Gallego, J. D. et al., 2021, *A&A*, 645, A37
- Terwisscha van Scheltinga, J., Ligterink, N. F. W., Boogert, A. C. A. et al., 2018, *A&A*, 611, A35
- Terwisscha van Scheltinga, J., Marcandalli, G., McClure, M. K. et al., 2021, *A&A*, 651, A95
- Tielens, A. G. G. M. & Hagen, W., 1982, *A&A*, 114, 2, 245–260
- Towner, A. P. M., Brogan, C. L., Hunter, T. R. & Cyganowski, C. J., 2021, *ApJ*, 923, 2, 263
- Tsang, W., 1988, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 17, 2, 887–951
- Tsang, W. & Hampson, R. F., 1986, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 15, 3, 1087–1279
- Tychoniec, Ł., van Dishoeck, E. F., van’t Hoff, M. L. R. et al., 2021, *A&A*, 655, A65
- van Broekhuizen, F. A., Keane, J. V. & Schutte, W. A., 2004, *A&A*, 415, 425–436
- van Broekhuizen, F. A., Pontoppidan, K. M., Fraser, H. J. & van Dishoeck, E. F., 2005, *A&A*, 441, 1, 249–260
- van de Hulst, H. C., 1946, *Recherches Astronomiques de l’Observatoire d’Utrecht*, 11, 2.i–2
- van der Marel, N., Booth, A. S., Leemker, M. et al., 2021, *A&A*, 651, L5
- van der Tak, F. F. S., van Dishoeck, E. F., Evans, I., Neal J. et al., 1999, *ApJ*, 522, 2, 991–1010
- van der Tak, F. F. S., van Dishoeck, E. F., Evans, I., Neal J. & Blake, G. A., 2000, *ApJ*, 537, 1, 283–303
- van der Tak, F. F. S., Chavarría, L., Herpin, F. et al., 2013, *A&A*, 554, A83
- van Dishoeck, E. F. & Black, J. H., 1986, *ApJS*, 62, 109
- van Dishoeck, E. F., Tychoniec, Ł., Rocha, W. R. M. et al., 2025, *A&A*, 699, A361
- van Gelder, M. L., Tabone, B., Tychoniec, Ł. et al., 2020, *A&A*, 639, A87
- van Gelder, M. L., Nazari, P., Tabone, B. et al., 2022, *A&A*, 662, A67
- van Gelder, M. L., Francis, L., van Dishoeck, E. F. et al., 2024a, *A&A*, 692, A197
- van Gelder, M. L., Ressler, M. E., van Dishoeck, E. F. et al., 2024b, *A&A*, 682, A78
- van ’t Hoff, M. L. R., 2019, Ph.D. thesis, University of Leiden, Netherlands
- van’t Hoff, M. L. R., Harsono, D., van Gelder, M. L. et al., 2022, *ApJ*, 924, 1, 5
- Varricatt, W. P., Davis, C. J., Ramsay, S. & Todd, S. P., 2010, *MNRAS*, 404, 2, 661–720
- Vastel, C., Ceccarelli, C., Lefloch, B. & Bachiller, R., 2014, *ApJ*, 795, 1, L2
- Vastel, C., Bottinelli, S., Caux, E. et al., 2015, *SF2A-2015: Proceedings of the Annual meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics*, 313–316
- Vazart, F., Ceccarelli, C., Balucani, N. et al., 2020, *MNRAS*, 499, 4, 5547–5561
- Vázquez-Semadeni, E., González-Samaniego, A. & Colín, P., 2017, *MNRAS*, 467, 2, 1313–1328
- Vázquez-Semadeni, E., Palau, A., Ballesteros-Paredes, J. et al., 2019, *MNRAS*, 490,

- 3, 3061–3097
- Walsh, C., Loomis, R. A., Öberg, K. I. et al., 2016, *ApJ*, 823, 1, L10
- Watanabe, N. & Kouchi, A., 2002, *ApJ*, 571, 2, L173–L176
- Watson, W. D., 1974, *ApJ*, 188, 35–42
- Wells, M., Pel, J. W., Glasse, A. et al., 2015, *PASP*, 127, 953, 646
- Wenzel, G., Cooke, I. R., Changala, P. B. et al., 2024, *Science*, 386, 6723, 810–813
- Wenzel, G., Speak, T. H., Changala, P. B. et al., 2025, *Nature Astronomy*, 9, 262–270
- Whitney, B. A., Wood, K., Bjorkman, J. E. & Cohen, M., 2003a, *ApJ*, 598, 2, 1079–1099
- Whitney, B. A., Wood, K., Bjorkman, J. E. & Wolff, M. J., 2003b, *ApJ*, 591, 2, 1049–1063
- Whittet, D. C. B., Gerakines, P. A., Hough, J. H. & Shenoy, S. S., 2001, *ApJ*, 547, 2, 872–884
- Widicus Weaver, S. L., Laas, J. C., Zou, L. et al., 2017, *ApJS*, 232, 1, 3
- Williams, G. M., Cyganowski, C. J., Brogan, C. L. et al., 2022, *MNRAS*, 509, 1, 748–762
- Williams, J. P. & Cieza, L. A., 2011, *ARA&A*, 49, 1, 67–117
- Willner, S. P., Gillett, F. C., Herter, T. L. et al., 1982, *ApJ*, 253, 174–187
- Wilson, R. W., Jefferts, K. B. & Penzias, A. A., 1970, *ApJ*, 161, L43
- Wilson, T. L. & Rood, R., 1994, *ARA&A*, 32, 191–226
- Woitke, P., Min, M., Pinte, C. et al., 2016, *A&A*, 586, A103
- Wright, E. L., Eisenhardt, P. R. M., Mainzer, A. K. et al., 2010, *AJ*, 140, 6, 1868–1881
- Wright, G. S., Wright, D., Goodson, G. B. et al., 2015, *PASP*, 127, 953, 595
- Wright, G. S., Rieke, G. H., Glasse, A. et al., 2023, *PASP*, 135, 1046, 048003
- Wu, Y. W., Sato, M., Reid, M. J. et al., 2014, *A&A*, 566, A17
- Xu, L.-H., Fisher, J., Lees, R. M. et al., 2008, *Journal of Molecular Spectroscopy*, 251, 1-2, 305–313
- Xue, C., Byrne, A. N., Morgan, L. et al., 2025, *ApJS*, 281, 1, 9
- Yamato, Y., Notsu, S., Aikawa, Y. et al., 2024, *AJ*, 167, 2, 66
- Yang, Y.-L., Sakai, N., Zhang, Y. et al., 2021, *ApJ*, 910, 1, 20
- Yang, Y.-L., Green, J. D., Pontoppidan, K. M. et al., 2022, *ApJ*, 941, 1, L13
- Yarnall, Y. Y. & Hudson, R. L., 2022, *ApJ*, 931, 1, L4
- Yocum, K. M., Milam, S. N., Gerakines, P. A. & Widicus Weaver, S. L., 2021, *ApJ*, 913, 1, 61
- Young, C. H. & Evans, N. J., II, 2005, *ApJ*, 627, 1, 293–309
- Zhang, B., Zheng, X. W., Reid, M. J. et al., 2009, *ApJ*, 693, 1, 419–423
- Zingsheim, O., Müller, H. S. P., Lewen, F. et al., 2017, *Journal of Molecular Spectroscopy*, 342, 125–131
- Zinnecker, H. & Yorke, H. W., 2007, *ARA&A*, 45, 1, 481–563
- Zubko, V. G., Mennella, V., Colangeli, L. & Bussoletti, E., 1996, *MNRAS*, 282, 4, 1321–1329