

Spektroskopowe pomiary temperatury i koncentracji gazu z natężeń linii tlenku węgla

D. Lisak^{1,†}, V. D'Agostino^{1,2}, S. Wójtewicz¹, Y.-R. Xu^{1,3}, G. Kowzan¹, A. Cygan¹, M. Gibas⁴, P. Wcisło¹, S.-M. Hu³, R. Ciuryło¹, P. Masłowski¹, K. Bielska¹

¹ Instytut Fizyki, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń

² Department of Mathematics and Physics, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Caserta, 81100, Italy

³ Hefei National Research Center of Physical Sciences at the Microscale, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

⁴ Główny Urząd Miar, Zakład Fizykochemii i Środowiska, Świętokrzyski Kampus Laboratoryjny Głównego Urzędu Miar
†email: dlistak@umk.pl

Po ustaleniu wartości stałej Boltzmanna, k , w układzie jednostek SI, dokładne metody stosowane wcześniej do pomiaru k z energii cieplnej, kT , mogą być wykorzystane do pierwotnej termometrii. Dwie optyczne metody spektroskopowe, termometria dopplerowska (DBT) i termometria stosunku natężeń linii rowibracyjnych (LRT), są intensywnie rozwijane. Podczas gdy DBT uzyskała do tej pory najwyższą dokładność, LRT może być stosowana w znacznie większym zakresie ciśnień gazu.

Przedstawiamy pomiary temperatury, bazujące na LRT, wykorzystujące pasmo (3-0) cząsteczki CO i spektroskopię we wnęce optycznej o wysokiej finezji, w której obie osie widma są otrzymywane z obserwowanych częstotliwości rezonansów węgli. Ta spektroskopia dyspersji modów węgli (CMDS) [1,2] w pełni łączy widmo z pierwotnym wzorcem częstotliwości. Używając LRT z natężeniami linii obliczonymi *ab initio* [3], uzyskaliśmy niepewność temperatury 296 K wynoszącą 24 mK [4].

Spektroskopowa temperatura i absolutne natężenia linii umożliwiły zademonstrowanie w pełni optycznego, bezkontaktowego pomiaru koncentracji cząsteczek gazu z niepewnościami na poziomie promila przy ciśnieniach gazu od 50 Pa do 20 kPa.

Wykorzystując szerokopasmową spektroskopię pasma (1-0) cząsteczki CO w zakresie średniej podczerwieni, bazującą na grzebieniu częstotliwości optycznej i spektrometrze fourierowskim (FTS) o rozdzielczości subnominalnej [5], zademonstrowaliśmy pomiar temperatury w zakresie 290 – 333 K z niepewnością 0,1 K.

Dyskutujemy również obecne ograniczenia i perspektywy poprawy dokładności metod spektroskopii [6] jak i danych referencyjnych [7] dla optycznej termometrii i pomiaru ilości substancji.

Podziękowania i źródła finansowania

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez Ministra Edukacji i Nauki w ramach programu Polska Metrologia II, projekt nr PM-II/SP/0011/2024/02. Badania dofinansowywane przez: Narodowe Centrum Nauki, projekty nr 2023/51/B/ST2/00427 i 2021/42/E/ST2/00152; projekt Europejskiego Partnerstwa w zakresie Metrologii „22IEM03 PriSpecTemp”.

Literatura

- [1] A. Cygan, P. Wcisło, S. Wójtewicz, P. Masłowski, J. T. Hodges, R. Ciuryło, D. Lisak, Opt. Express **23**, 14472 (2015).
- [2] A. Cygan, P. Wcisło, S. Wójtewicz, G. Kowzan, M. Zaborowski, D. Charczun, K. Bielska, R. S. Trawiński, R. Ciuryło, P. Masłowski, D. Lisak, Opt. Express **27**, 21810 (2019).
- [3] K. Bielska, A. A. Kyuberis, Z. D. Reed, G. Li, A. Cygan, R. Ciuryło, E. M. Adkins, L. Lodi, N. F. Zobov, V. Ebert, D. Lisak, J. T. Hodges, J. Tennyson, and O. L. Polyansky, Phys. Rev. Lett. **129**, 043002 (2022).
- [4] D. Lisak, V. D'Agostino, S. Wójtewicz, A. Cygan, M. Gibas, P. Wcisło, R. Ciuryło, K. Bielska, arXiv:2502.17660 [physics.optics] (2025).
- [5] A. Nishiyama, G. Kowzan, D. Charczun, R. Ciuryło, N. Coluccelli, P. Masłowski, Measurement **227**, 114273 (2024).
- [6] A. Cygan, S. Wójtewicz, H. Jóźwiak, G. Kowzan, N. Stolarczyk, K. Bielska, P. Wcisło, R. Ciuryło, D. Lisak, Sci. Adv. **11**, eadp8556 (2025).
- [7] J. T. Hodges, K. Bielska, M. Birk, R. Ciuryło, A. Cygan, V. D'Agostino, R. Guo, G. Li, J. S. Lim, D. Lisak, Z. Reed, G. Wagner, S. Wójtewicz, Metrologia, **62**, 08006 (2025).