



Politechnika Wroclawska

kw

INAUGURACJA ROKU AKADEMICKIEGO 2023/2024 NA WYDZIALE ELEKTRONIKI, FOTONIKI I MIKROSYSTEMÓW

11 października 2023 r.

Aula Politechniki Wroclawskiej, godz. 12:00

IMMATRYKULOWANI STUDENCI 2023/2024

- **AUTOMATYKA I ROBOTYKA – Szymon Witkowski**
- **ELECTRONICS AND COMPUTER ENGINEERING – Konrad Szewczyk**
 - **ELEKTRONIKA – Bartłomiej Czerwiński**
 - **ELEKTRONIKA I FOTONIKA – Grzegorz Wojtalczyk**
 - **INTELIĞENTNA ELEKTRONIKA – Rafał Wasiecki**
- **INŻYNIERIA MIKROSYSTEMÓW MECHATRONICZNYCH – Jakub Kołcz**

ŚLUBOWANIE

**Wstępując do wspólnoty akademickiej Politechniki Wrocławskiej,
ślubuję uroczyście:**

- **dążyć do prawdy i zdobywać wiedzę i umiejętności,**
- **rozwijać umysł i charakter do twórczego i odpowiedzialnego życia,**
 - **szanować godność każdego człowieka,**
- **postępować uczciwie, w zgodzie z prawem, tradycją i obyczajami akademickimi,**
 - **dbać o dobre imię Politechniki Wrocławskiej.**

GAUDEAMUS IGITUR

Gaudeamus igitur, iuvenes dum sumus!

Gaudeamus igitur, iuvenes dum sumus!

**Post iucundam iuventutem,
post molestam senectutem,
nos habebit humus,
nos habebit humus.**

Vivat Academia, vivant professores!

Vivat Academia, vivant professores!

**Vivat membrum quodlibet,
vivant membra quaelibet,
semper sint in flore,
semper sint in flore!**

WYRAZY UZNANIA

Prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrucki

Prof. dr hab. inż. Ryszard Makowski



Politechnika Wroclawska

kw

INAUGURACJA
ROKU AKADEMICKIEGO
2023/2024

NAGRODA DZIEKANA 2022/2023

- 1. Wojciech Bohdan**
- 2. Krzysztof Gliwiński**
- 3. Rafał Mikołajczyk**
- 4. Ignacy Pochodyła**
- 5. Mateusz Preizner**
- 6. Igor Rak**
- 7. Miłosz Rogaliński**
- 8. Jakub Siuda**
- 9. Adrianna Zimoch**

WYRÓŻNIENIE DZIEKANA 2022/2023

- 1. Maciej Choiński**
- 2. Bartłomiej Jędrusik**
- 3. Gabriela Kaczmarek**
- 4. Michał Kos**
- 5. Kacper Kubacki**
- 6. Maria Ławniczak**
- 7. Aleksandra Parka**
- 8. Jędrzej Szymczyk**

NAJLEPSZY ABSOLWENT WYDZIAŁU 2022/2023

Studia I stopnia

inż. Igor Rak

NAJLEPSZY ABSOLWENT WYDZIAŁU 2022/2023

Studia II stopnia

mgr inż. Wiktoria Weichbrodt

LAUREACI KONKURSU

Najlepsza praca dyplomowa inżynierska 2022/2023

I miejsce

"Rozproszony system IoT monitorujący poziom sygnału w połączeniu z siecią Wi-Fi."
– inż. Andrzej Małolepszy, Opiekun pracy: *Dr hab. inż. Grzegorz Świrniak, prof. uczelni*

II miejsce

"Bio-druk 3D organów, jako modeli edukacyjnych do celów zabiegowych w onkologii spersonalizowanej."
- inż. Oliwia Bujczyk, Opiekun pracy: *Dr inż. Agnieszka Krakos*

III miejsce

"ASMR - analiza sygnałów."
- inż. Krzysztof Gumiński, Opiekun pracy: *Dr inż. Agnieszka Wielgus*

LAUREACI KONKURSU

Najlepsza praca dyplomowa magisterska 2022/2023

I miejsce

"Analiza wpływu wygrzewania na właściwości powierzchni i gazochromowe cienkich warstw tlenku wolframu."

– mgr inż. Wiktoria Weichbrodt, Opiekun pracy: dr hab. inż. Michał Mazur, prof. uczelni

"Analiza metod uczenia przez wzmacnianie dla środowiska symulacyjnego w technologii Unity."

– mgr inż. Piotr Kupczyk, Opiekun pracy: dr inż. Bartłomiej Golenko

NAGRODY ODDZIAŁU WROCLAWSKIEGO STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Laureaci konkursu – prace dyplomowe inżynierskie

I nagroda

„Waga analityczna do precyzyjnych pomiarów w zakresie mikrogramowym.”

– inż. Damian Walczyk, Opiekun pracy: dr hab. inż. Grzegorz Świrniak, prof. uczelni

II nagroda równorzędna

„Moduł LTCC do ochrony przeciwprzepięciowej zintegrowany z filtrem przeciwzakłóceń.”

– inż. Kamil Kajdas, Opiekun pracy: dr inż. Arkadiusz Dąbrowski

„Sterowanie dronem za pomocą gestów dłoni z wykorzystaniem przetwarzania obrazów.”

– inż. Maciej Kaniewski, Opiekun pracy: dr inż. Wojciech Domski

„Budowa małego mobilnego robota laboratoryjnego klasy (1,2).”

– inż. Tomasz Lubelski, Opiekun pracy: dr inż. Robert Muszyński

NAGRODY ODDZIAŁU WROCŁAWSKIEGO STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Laureaci konkursu – prace dyplomowe magisterskie

I nagroda

„Analiza wpływu wygrzewania na właściwości powierzchni i gazochromowe cienkich warstw tlenku wolframu.”

- mgr inż. Wiktoria Weichbrodt, Opiekun pracy: dr hab. inż. Michał Mazur, prof. uczelni

II nagroda

„Zastosowanie metody bezczujnikowej w układzie monitorowania prędkości obrotowej wirnika silnika szczotkowego.”

- mgr inż. Przemysław Wiewiór, Opiekun pracy: dr inż. Grzegorz Głomb

III nagroda

„Analiza systemów typu Bin picking dla optymalizacji zastosowań w robotach współpracujących.”

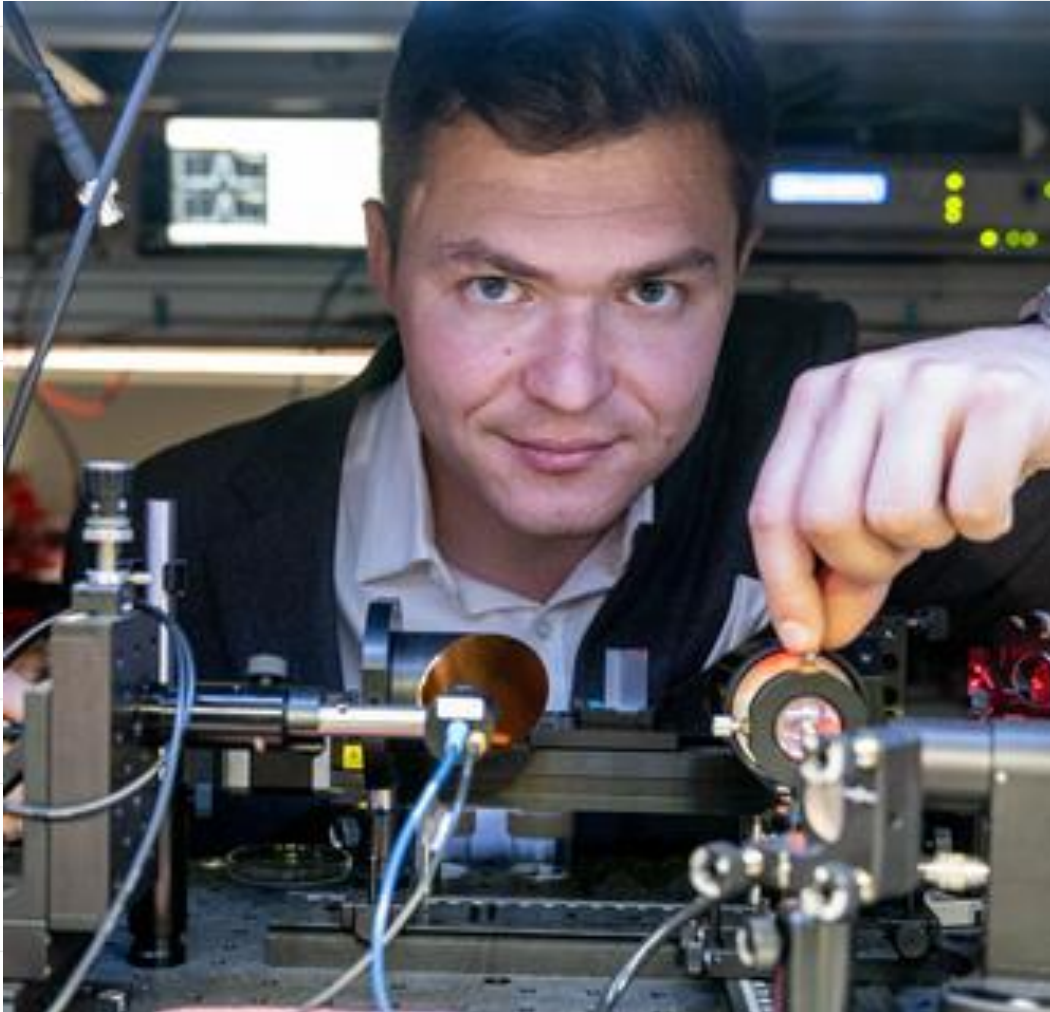
- mgr inż. Dawid Grajoszek, Opiekun pracy: dr inż. Andrzej Jabłoński

SAMORZĄD STUDENCKI

MARTYNA KORZENIECKA



WYKŁAD INAUGURACYJNY



**Lasery półprzewodnikowe jako
grzebień częstotliwości optycznych.**

dr inż. Łukasz Sterczewski

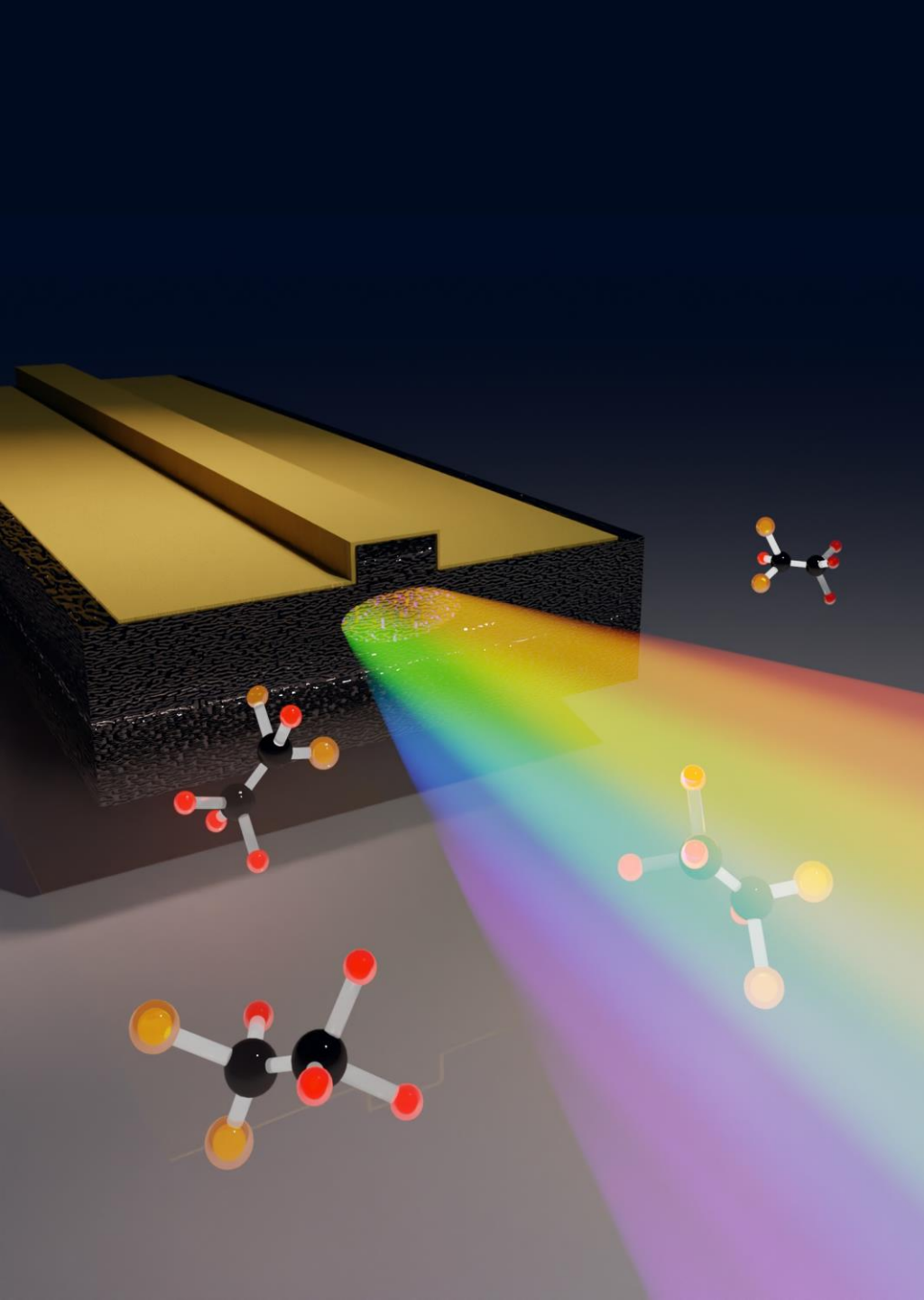
Inauguracja roku akademickiego 2023/2024

11 października 2023

Lasery półprzewodnikowe jako grzebienie częstotliwości optycznych

Łukasz A. Sterczewski

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów,
Politechnika Wroclawska
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław




Współpracownicy



Caltech



 Division of Chemistry and Chemical Engineering, California Institute of Technology, Pasadena, CA, 91125, USA

 Mitchio Okumura et al.



 Optical Sciences Division, Naval Research Laboratory, Washington, DC 20375, USA

 Jerry R. Meyer et al.



Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

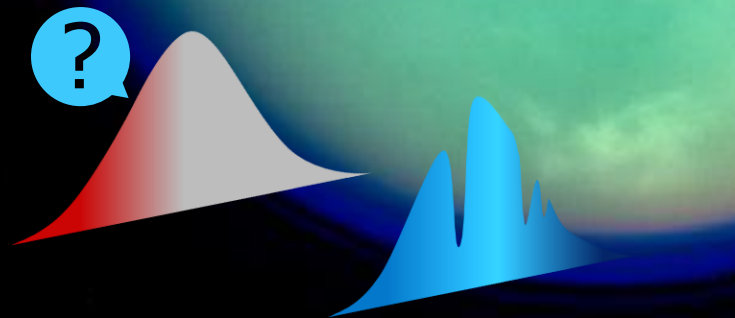


 Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109, USA

 Mahmood Bagheri, Clifford Frez.

Dlaczego potrzebujemy spektroskopii i nowych źródeł światła?

Laserowa spektroskopia optyczna jest nieinwazyjną techniką pomiarów widma absorpcyjnego substancji kompatybilną ze zdalną detekcją (bez fizycznego dostępu do badanego obiektu). Jest ona chętnie wykorzystywana do badań kosmicznych.



Wybrane cele agencji kosmicznych

Zrozumienie jak działa Ziemia jako system i jak się zmienia (np. wpływ gazów atmosferycznych).

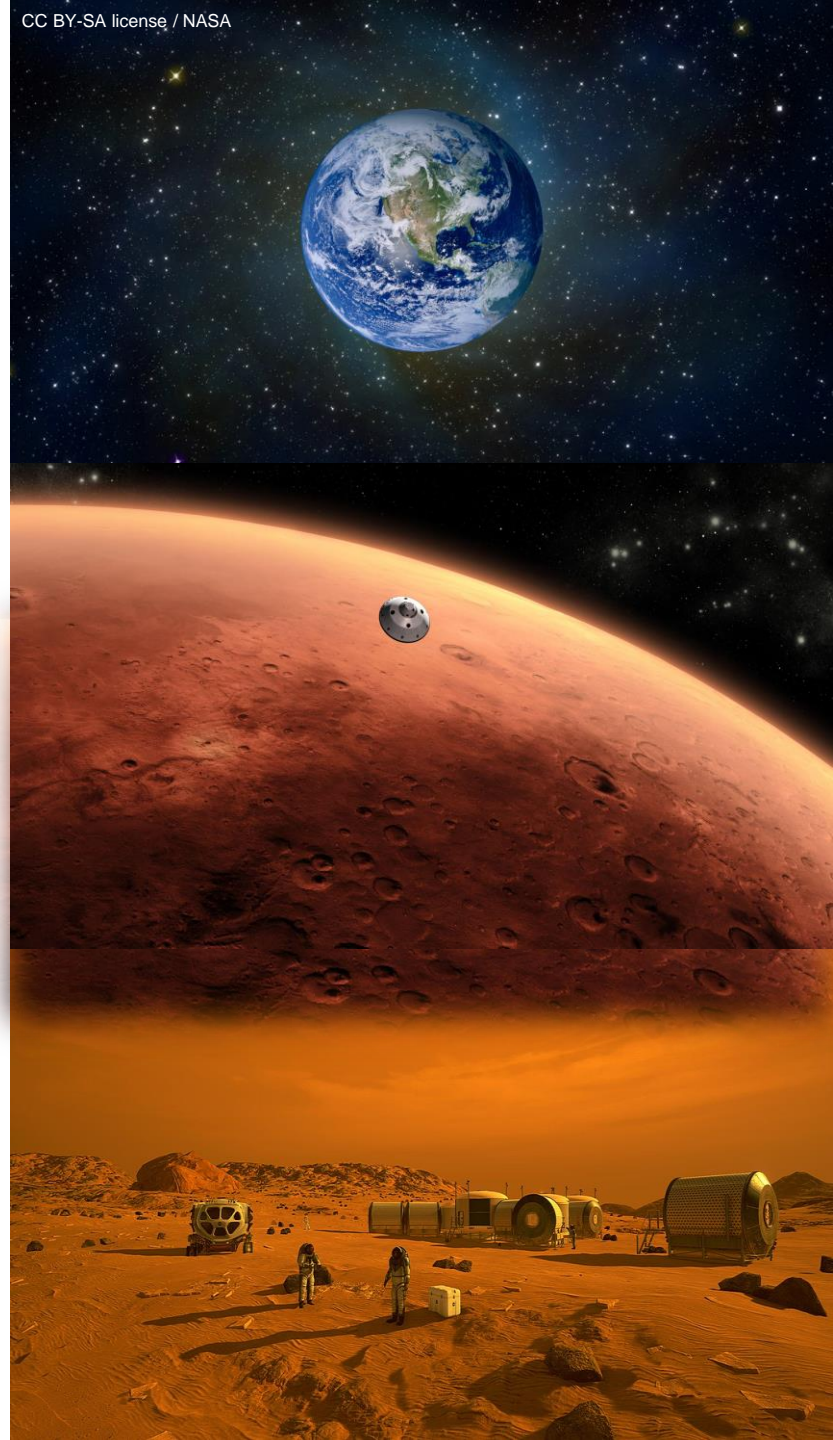
Zrozumienie jak powstało życie na Ziemi i (możliwie) w innych regionach Układu Słonecznego - szukanie substancji organicznych.

Przygotowanie na eksplorację kosmosu (np. badania możliwości zamieszkania na innych planetach).



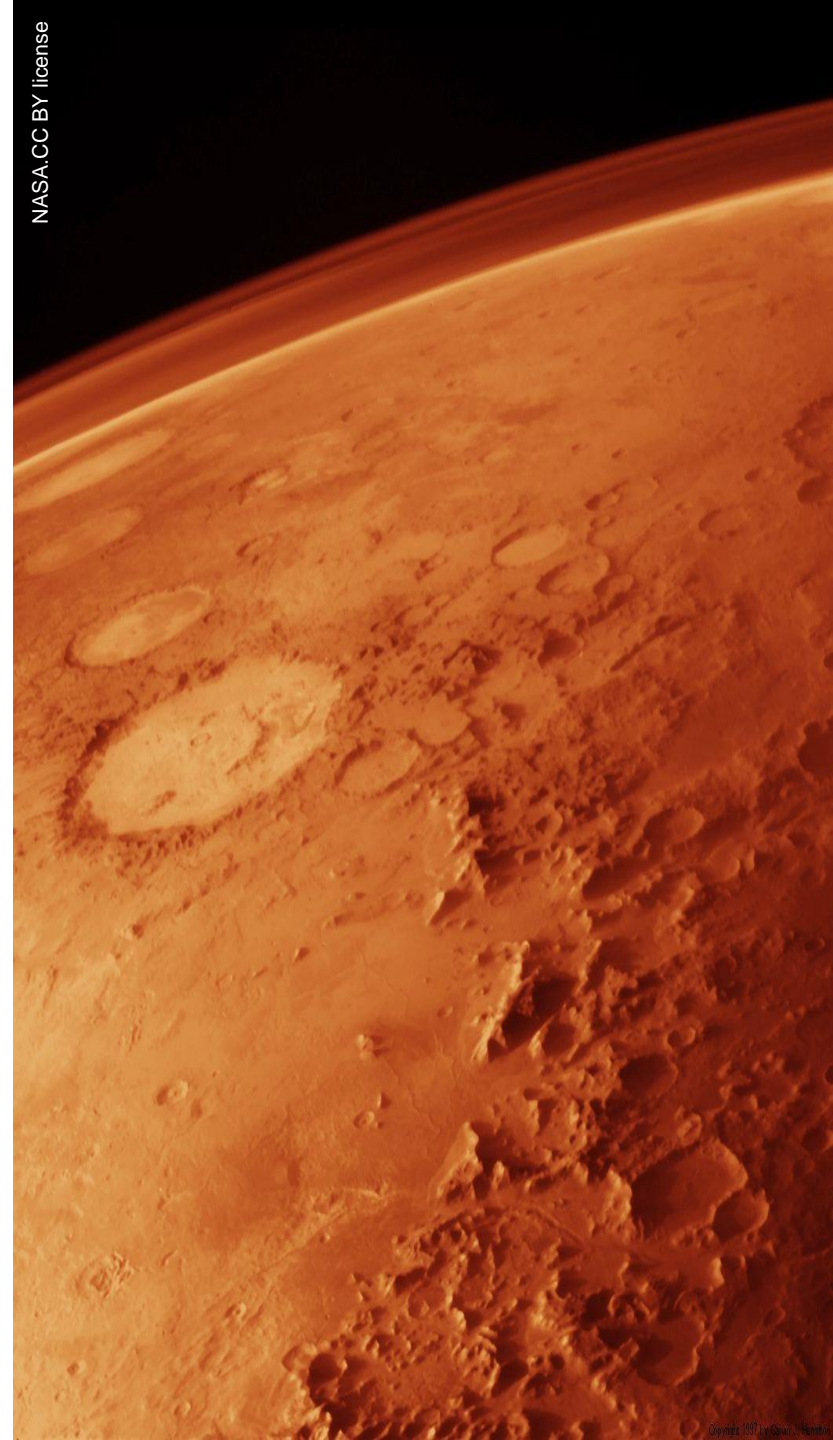
Wymóg czujników in-situ

do badań substancji we wszystkich stanach skupienia



Ambicje

Detekcja metanu na Marsie wywołała burzliwą dyskusję na temat jego pochodzenia biotycznego albo abiotycznego. To stawia przed nami fundamentalne pytanie: **czy istnieje życie w kosmosie?**

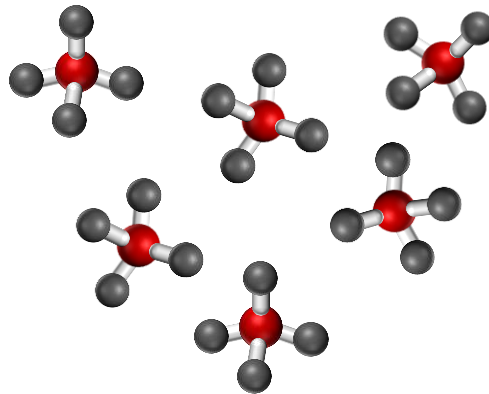


Laserowa spektroskopia absorpcyjna

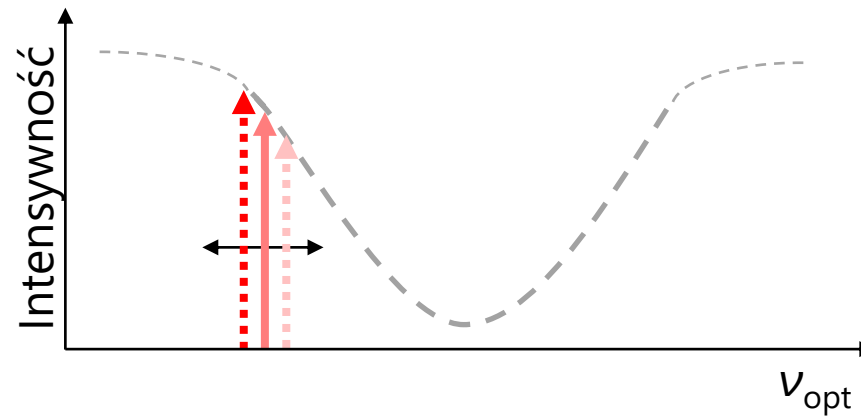
Światło laserowe
(monochromatyczne)



Absorber

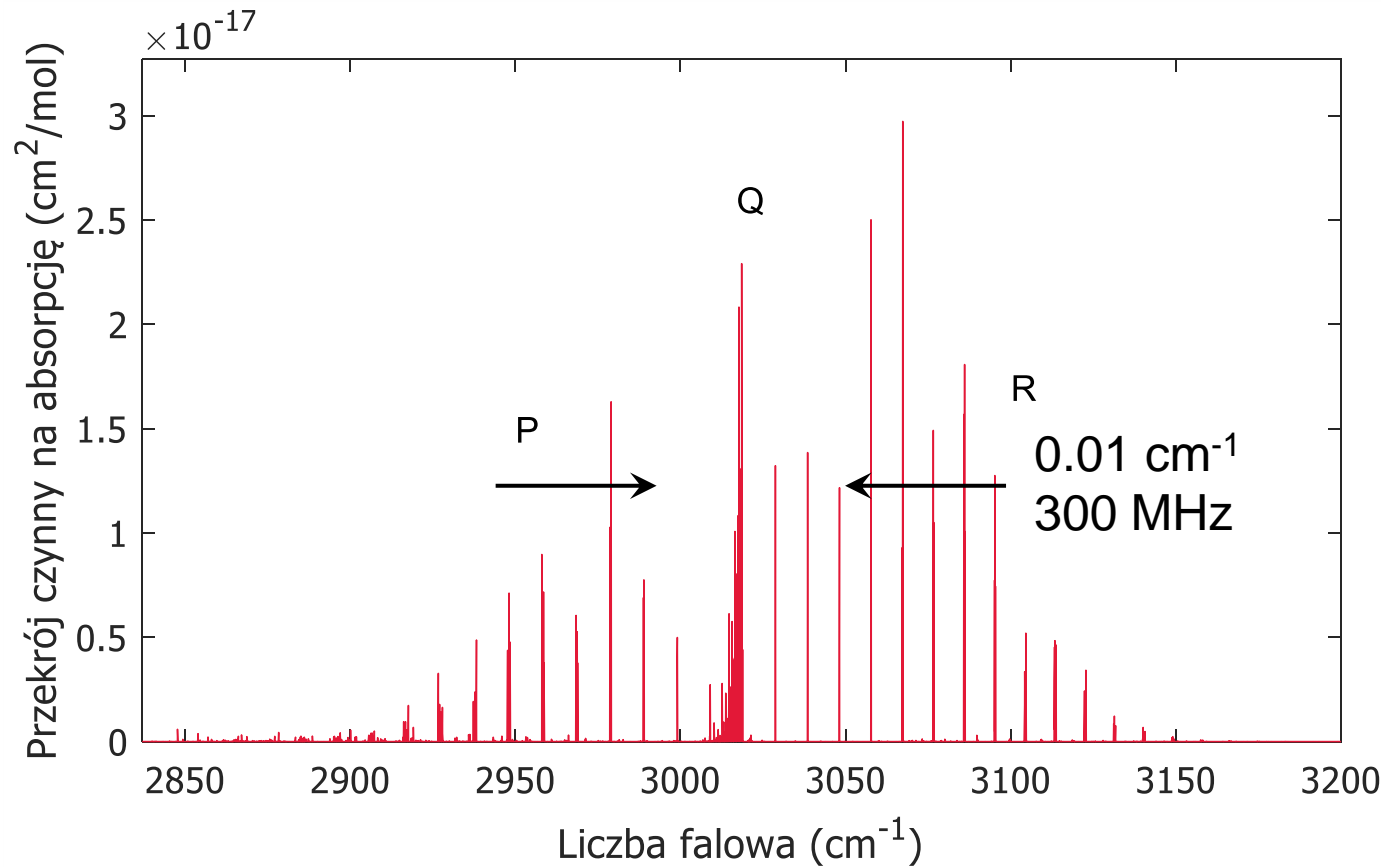


Światło o zmniejszonej
intensywności



Przykładowe widmo – metan na Marsie

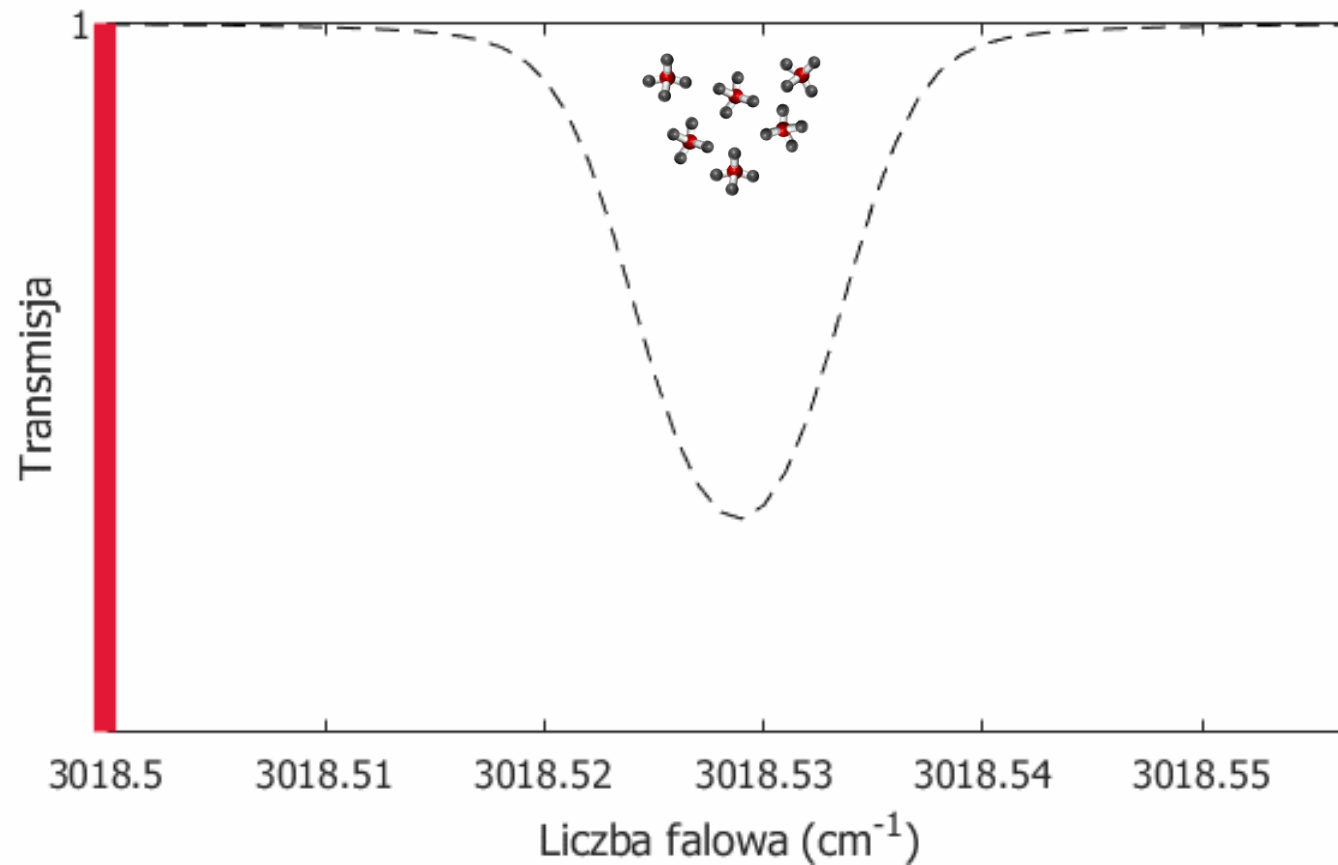
Długie fale
(bardziej
czerwone)



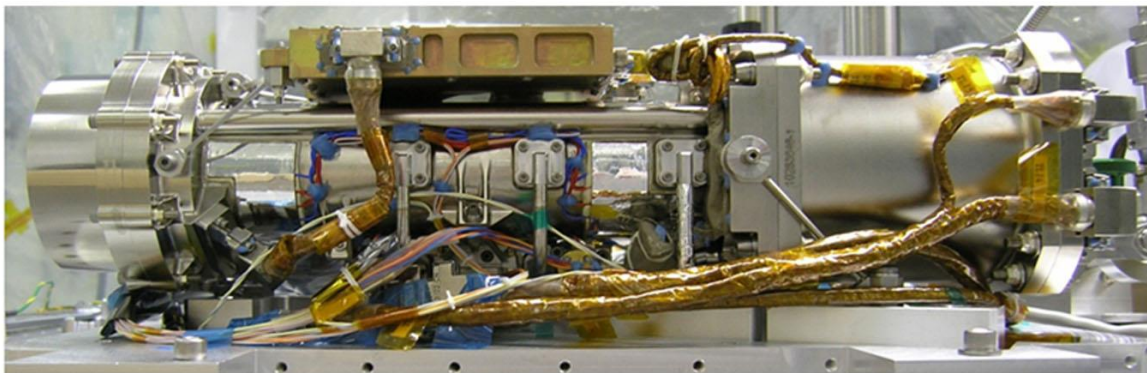
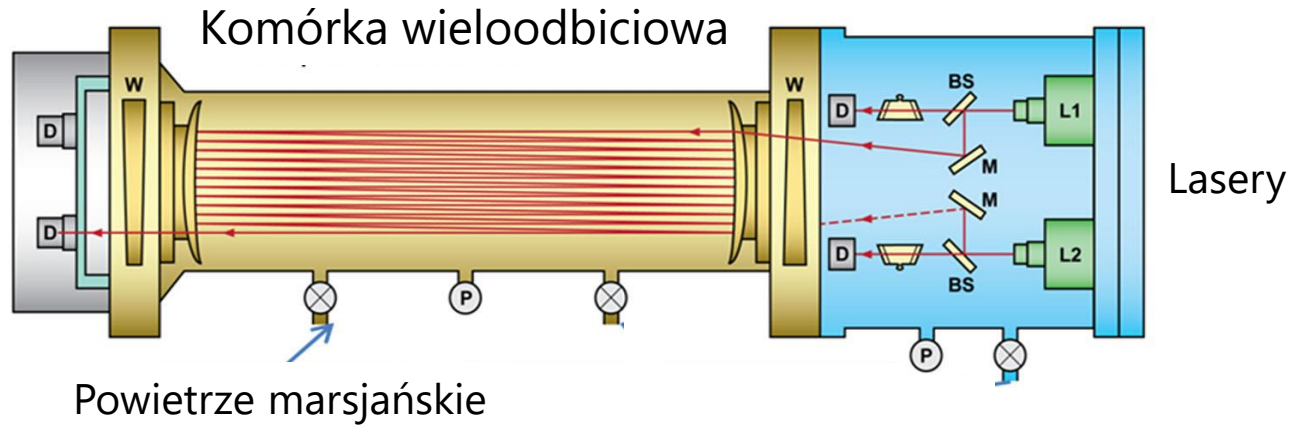
Krótsze fale
(bardziej
niebieskie)

Symulacja HITRAN T : 210 K, P : 0.006 atm (4.56 Torr)

Laserowa spektroskopia optyczna (TLAS)

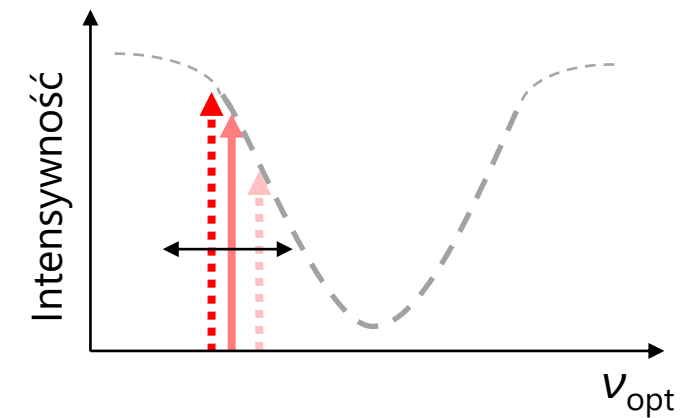


Spektrometr z przestrajającym laserem (TLS)

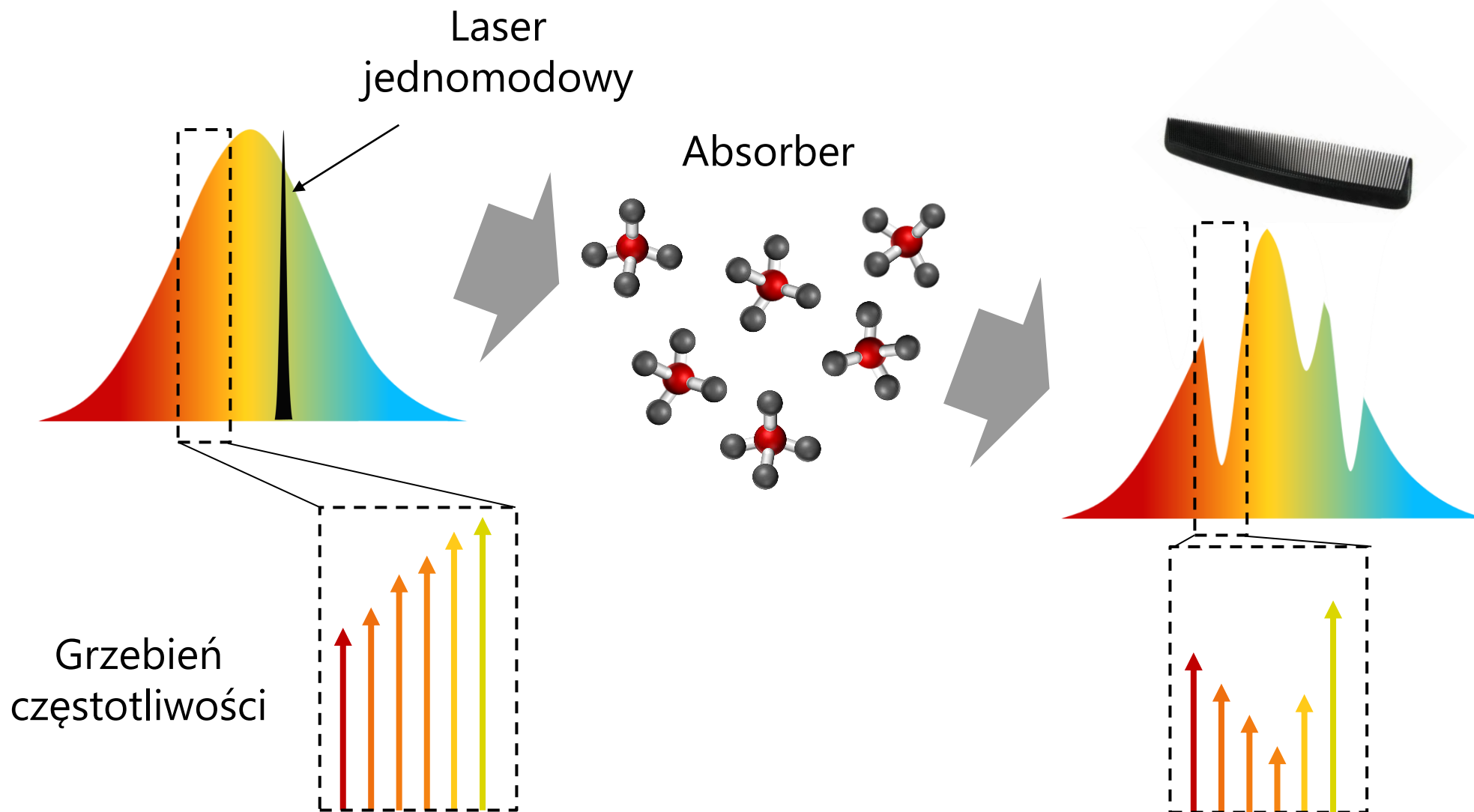


Źródło: NASA/JPL, PI: Chris Webster

Mars Curiosity (2012)

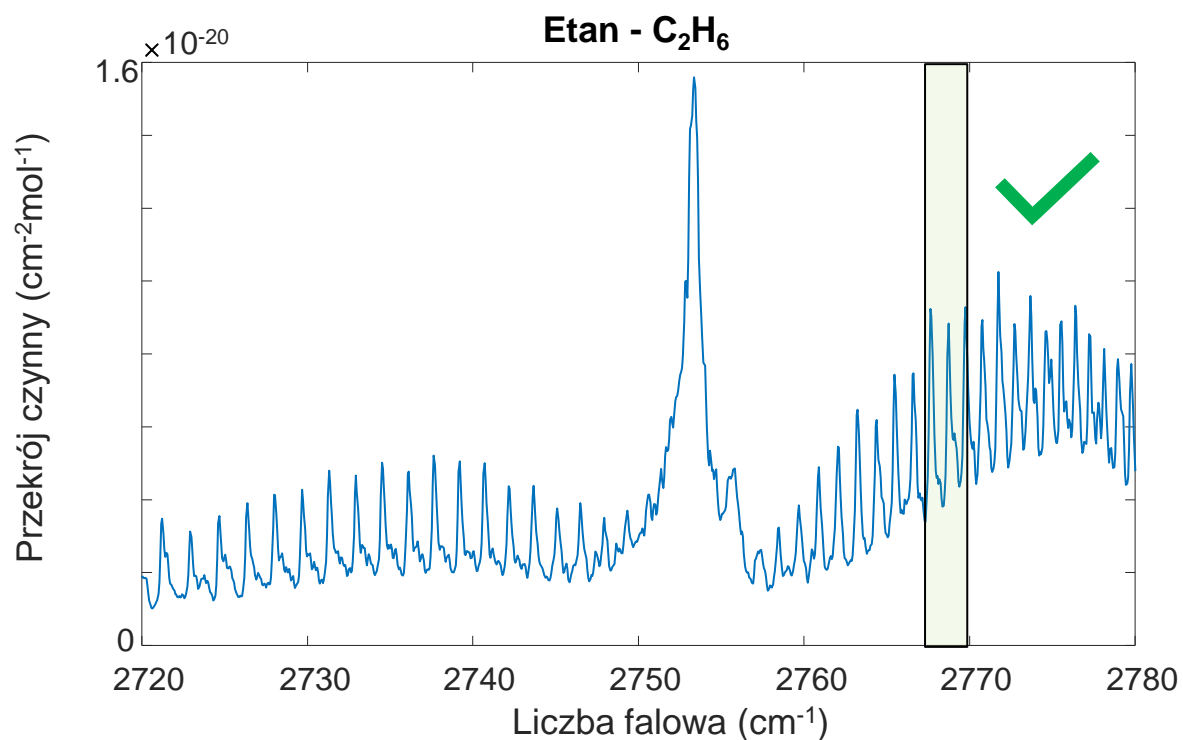


Szerokie pasmo czyli setki laserów w jednym

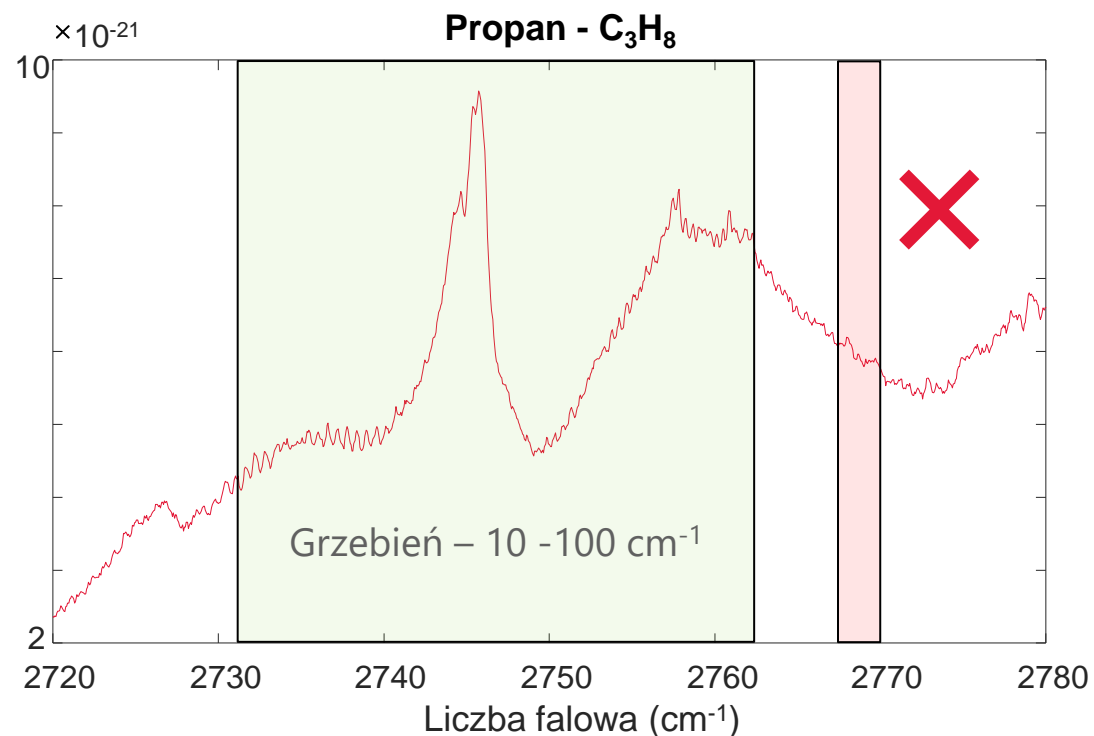


Dlaczego potrzebujemy grzebieni?

Laser jednoczęstotliwościowy wystarcza – można wyizolować pojedynczą linię (strojenie kilka cm^{-1})

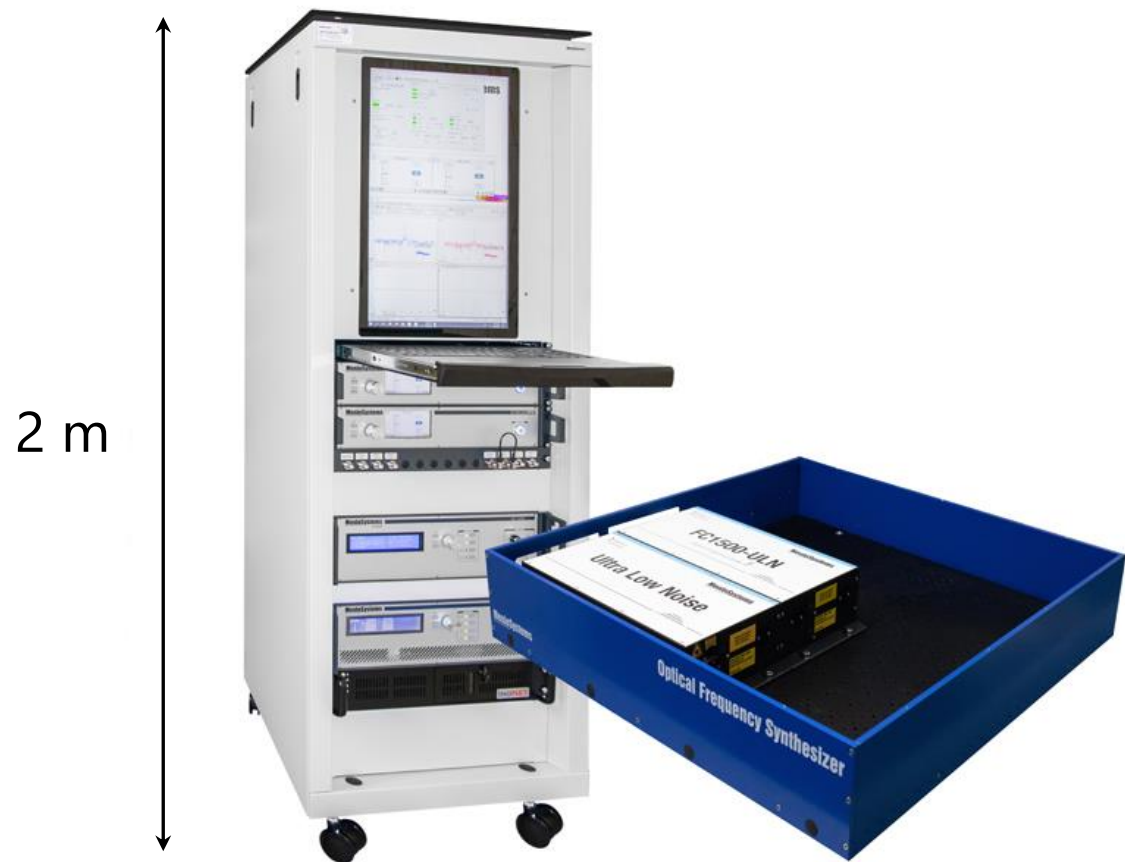


Wymagany jest grzebień – szerokie widmo wymaga większego pasma niż strojenie typowego lasera cw



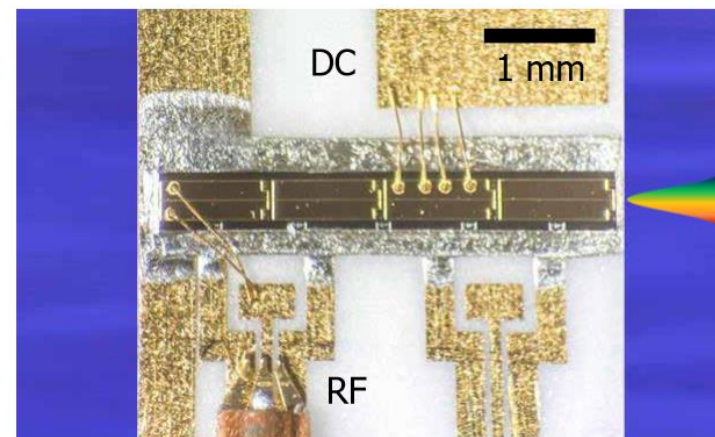
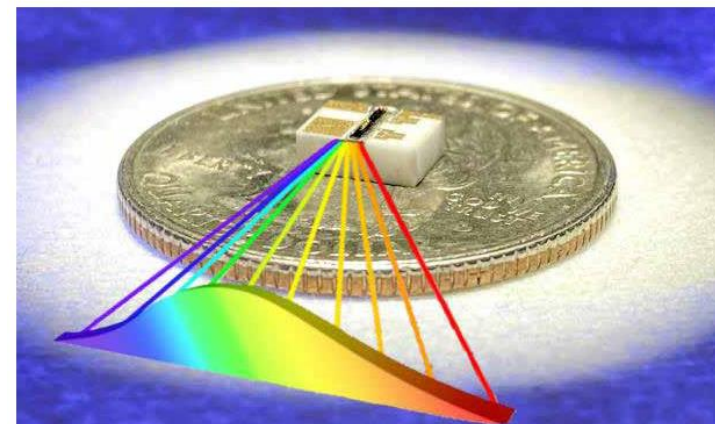
298.1 K, ciśnienie atmosferyczne, baza danych HITRAN ABS 2019

Grzebienie częstotliwości – miniaturyzacja



<https://www.menlosystems.com/products/optical-frequency-combs/fc1500-250-uln/>

VS.



4 mm

Porównanie wielkości



1 mm

100 mm



1 m

100 m

Rozmiar

$$\text{Waga} \propto (\text{wymiar})^3$$

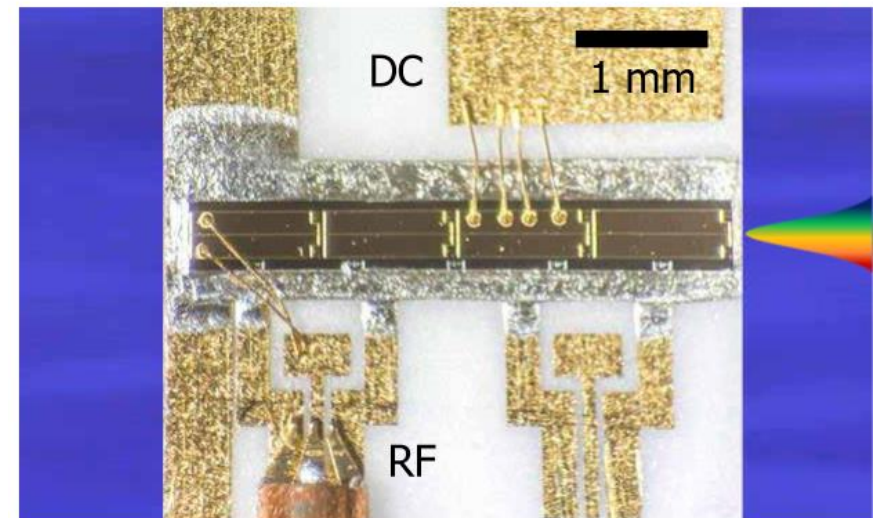
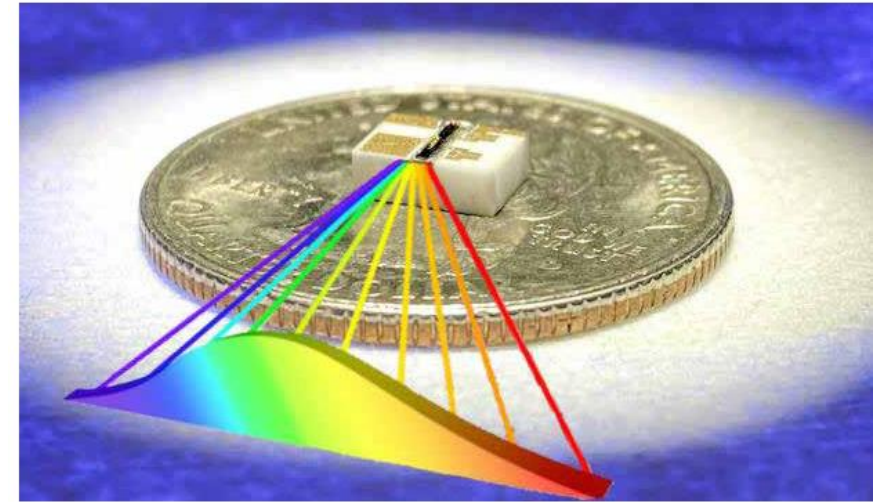
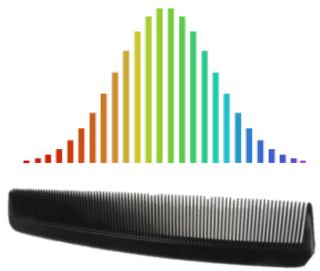
Nowe źródła laserowe o strukturze grzebienia częstotliwości

Międzypasmowe lasery kaskadowe i diodowe

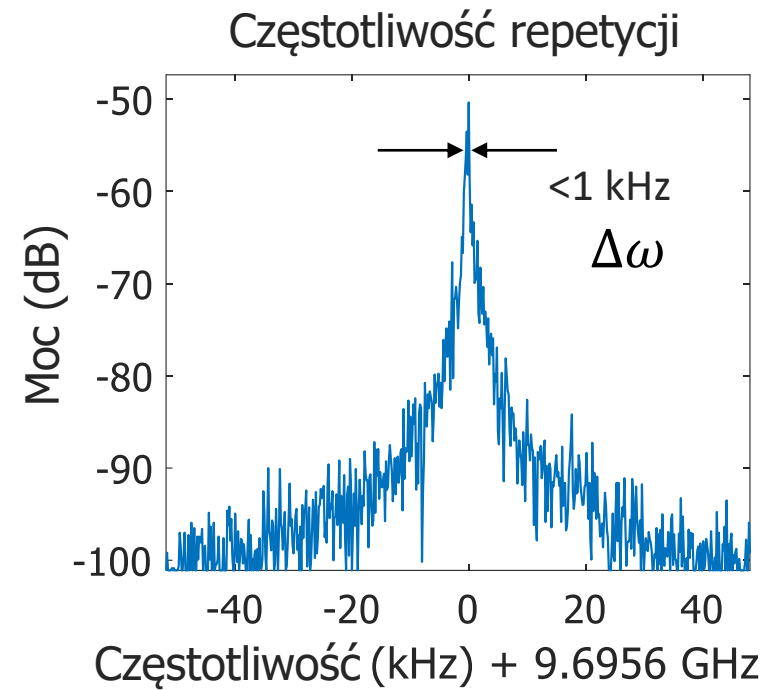
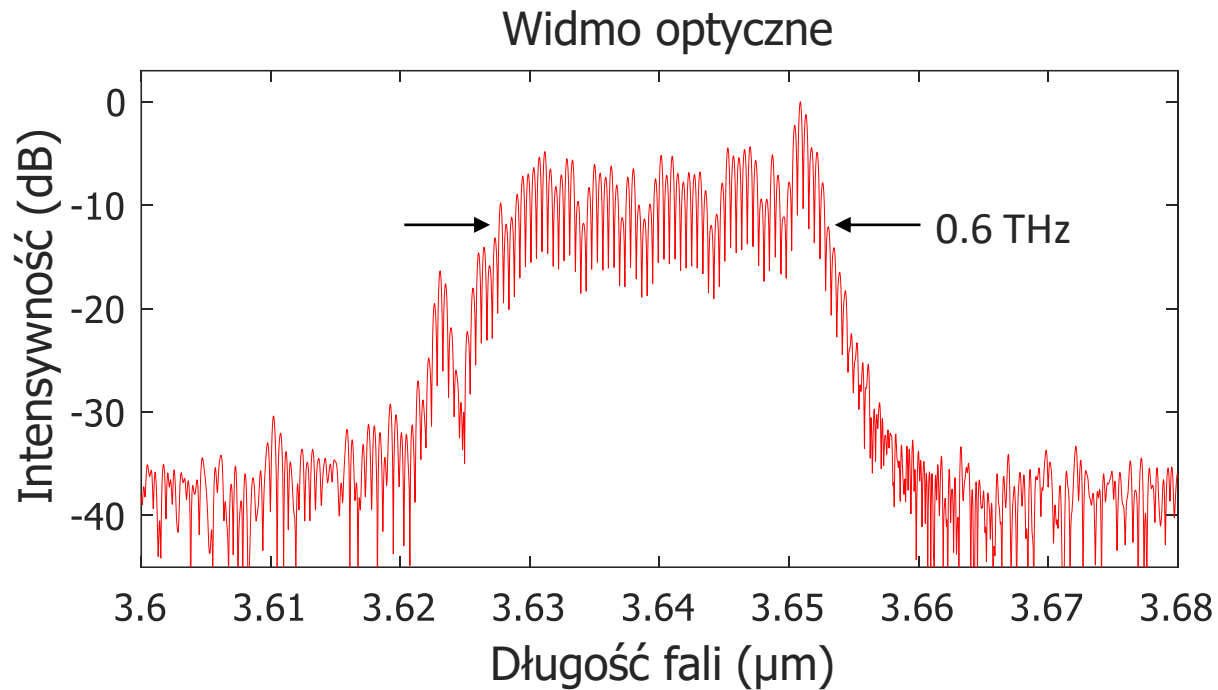
- ▶ Do **20 mW** mocy średniej przy <1 W mocy zasilania
- ▶ **~1 THz** pasma optycznego, 10 GHz repetycji, 3-5 μm długości fali
- ▶ Samo-startująca emisja grzebienia bez zewnętrznych generatorów
- ▶ Wysoka skala miniaturyzacji
- ▶ Technologia kosmiczna \rightarrow Curiosity rover

? Definicja grzebienia

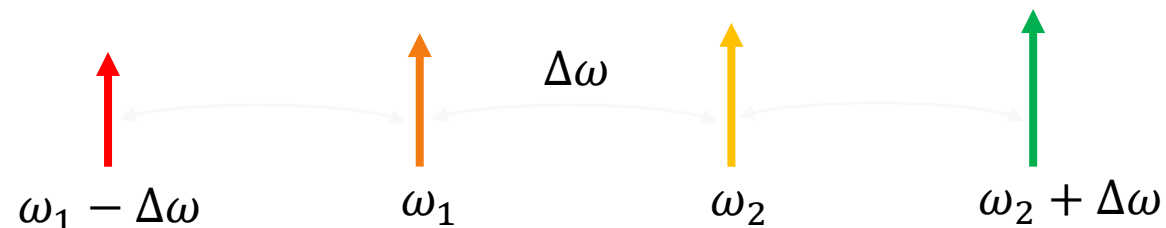
Częstotliwość optyczna każdej linii widmowej opisana dwoma częstotliwościami mikrofalowymi: przesunięcia (offsetu) oraz powtarzania (repetycji).



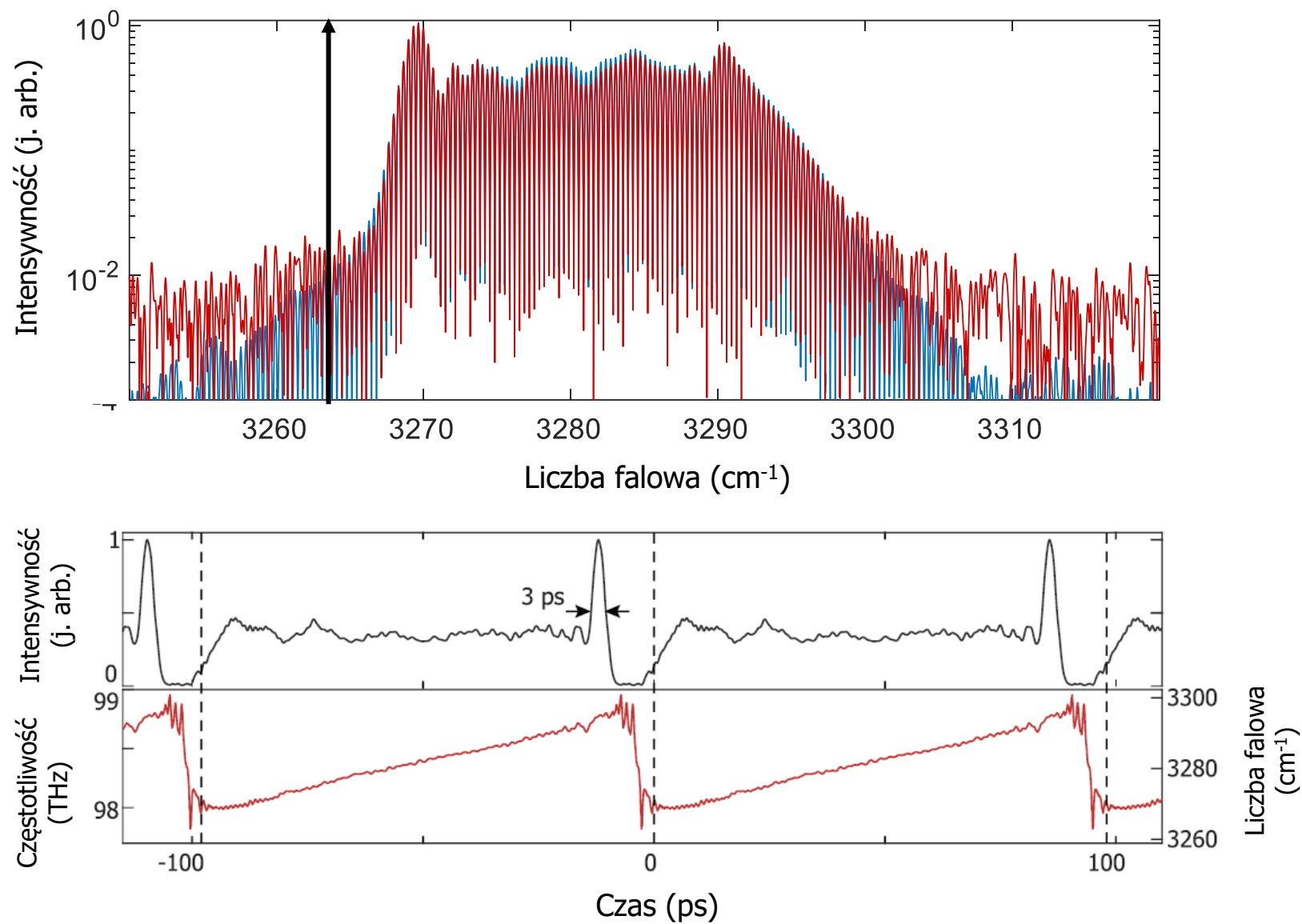
Grzebienie częstotliwości optycznej w laserach ICL



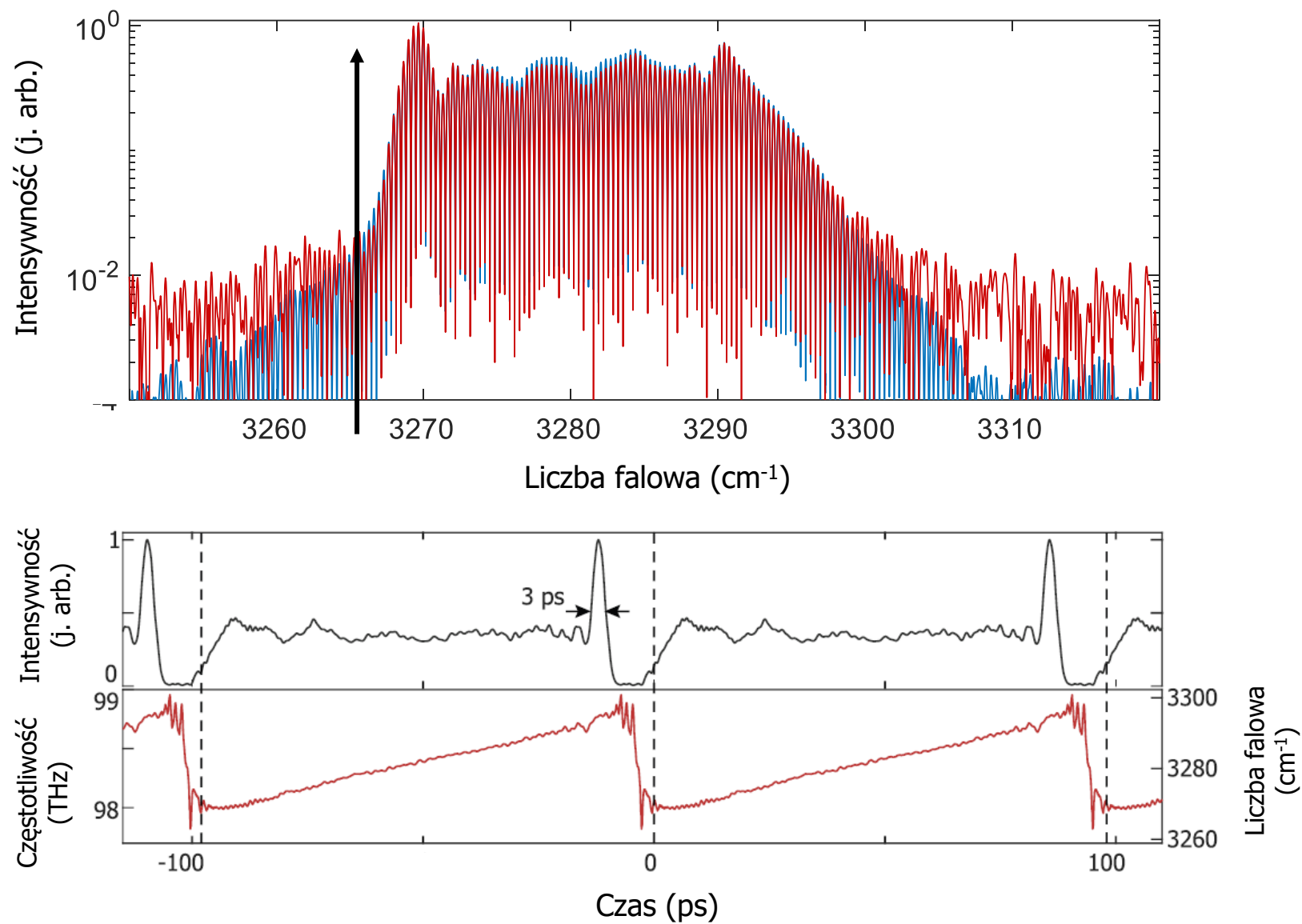
Emisja grzebienia wynika z połączenia pracy wielomodowej (przestrzenne wypalanie dziur)
+ nieliniowość (mieszanie czterofalowe, FWM)



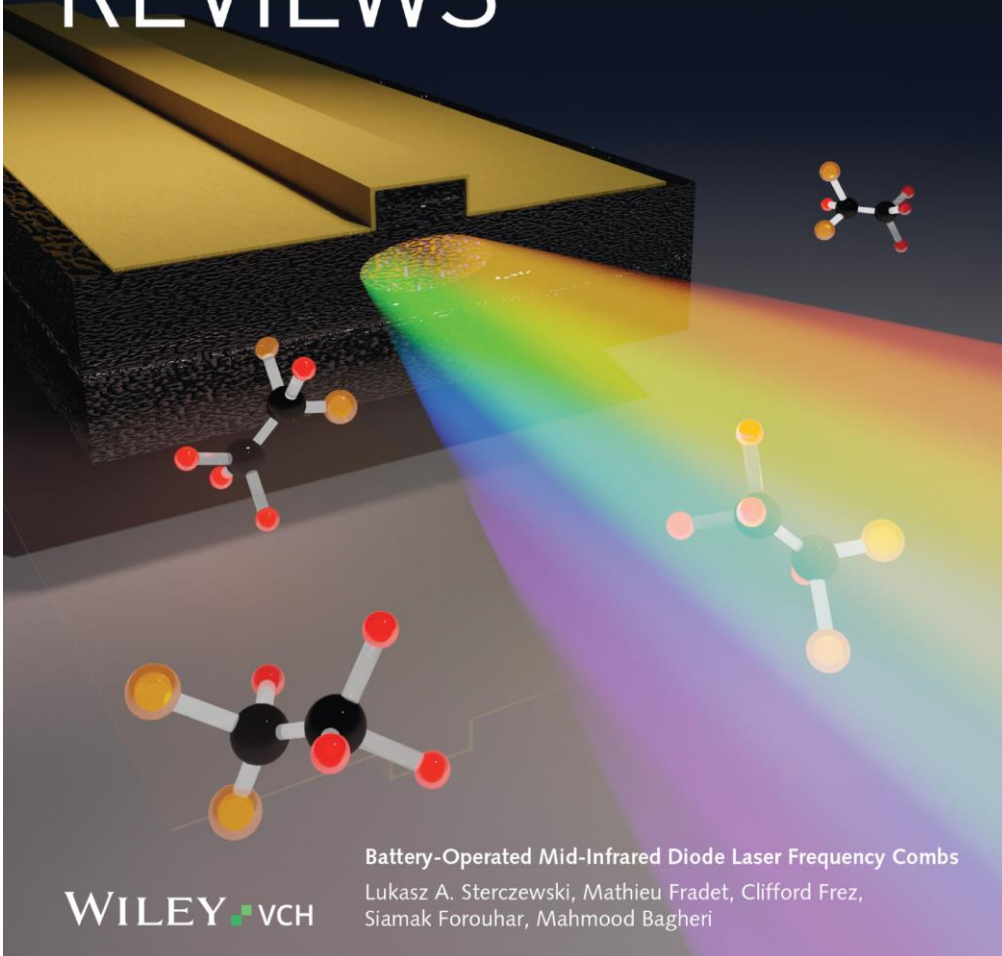
Liniowo-przemiatane źródło – aproksymacja



Liniowo-przemiatane źródło – obraz bliższy prawdy



LASER & PHOTONICS REVIEWS



Battery-Operated Mid-Infrared Diode Laser Frequency Combs

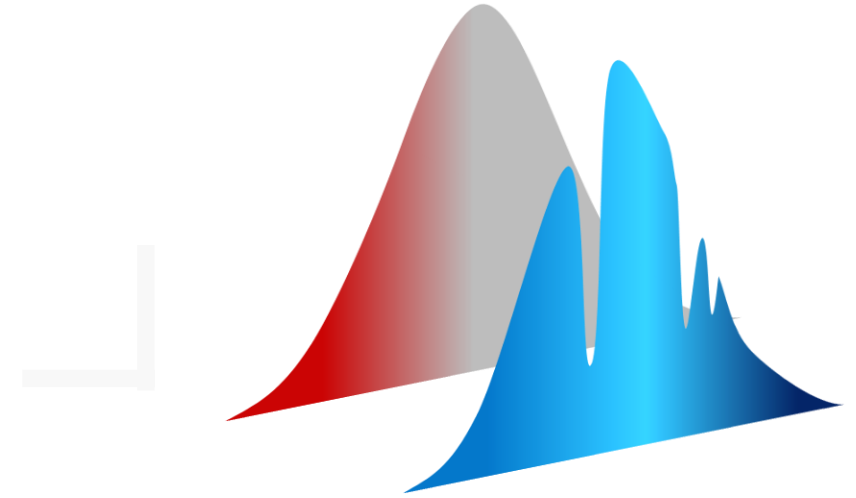
Lukasz A. Sterczewski, Mathieu Fradet, Clifford Frez,
Siamak Forouhar, Mahmood Bagheri

WILEY-VCH

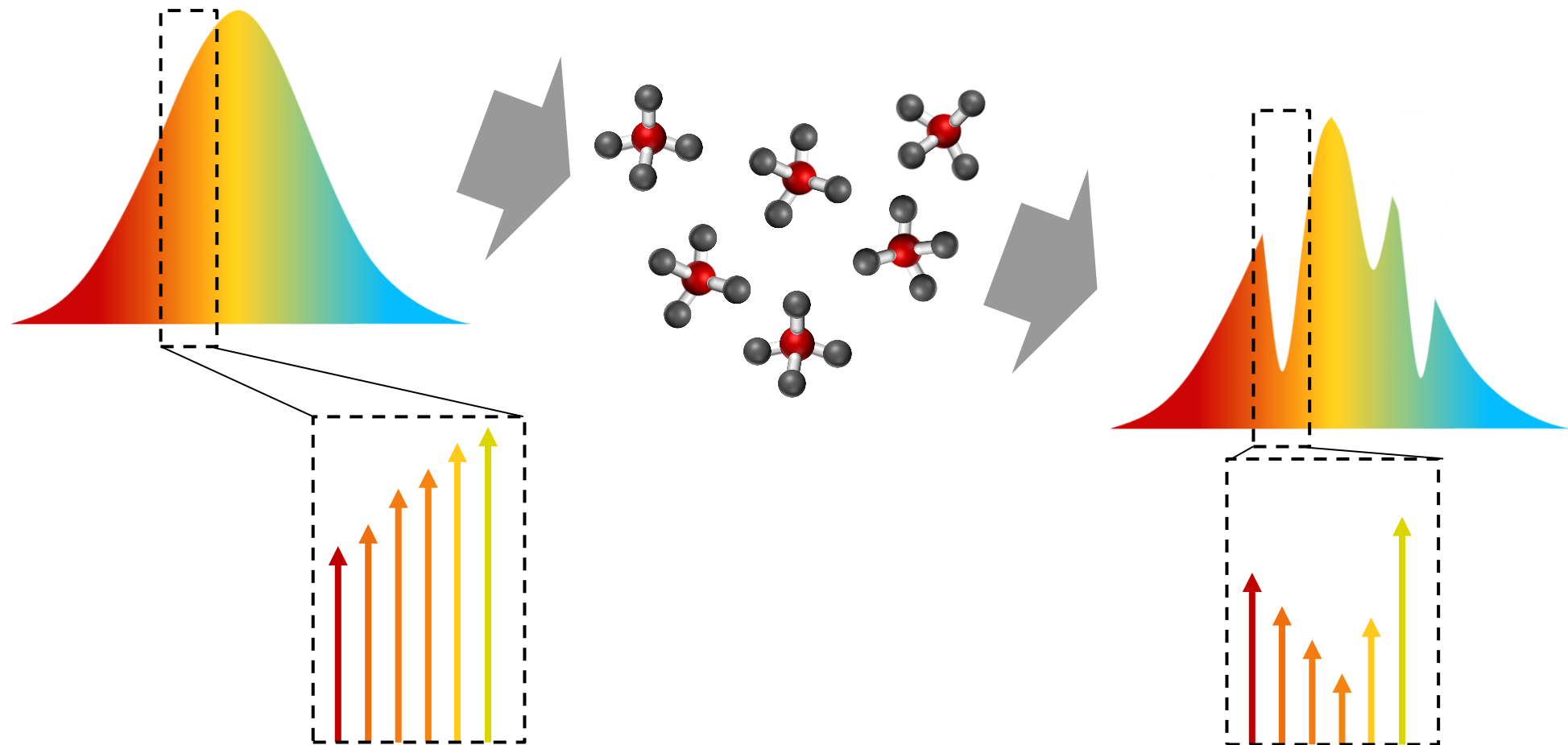
L. A. Sterczewski, et al., "Battery-operated mid-infrared diode laser frequency combs," *Laser & Photonics Reviews* **17**, 2200224 (2023).

Pierwsze źródło do spektroskopii dwugrzebieniowej w średniej podczerwieni zasilane bezpośrednio z baterii.

Rozdzielenie zębów



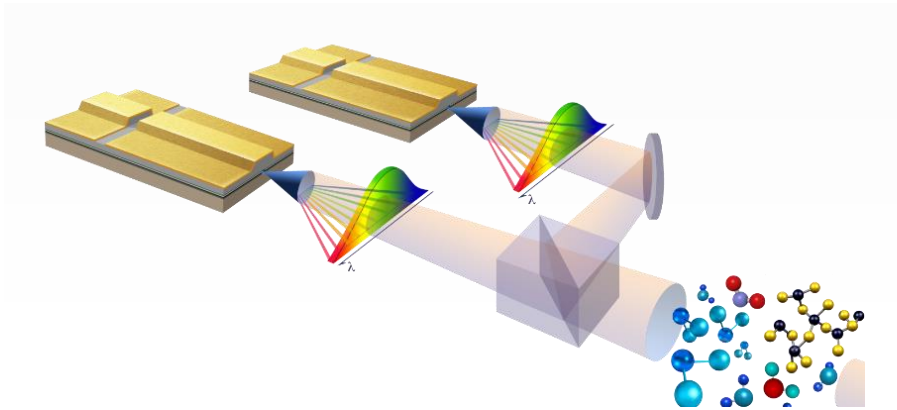
Problem rozdzielania zębów



Rozdzielenie zębów grzebienia

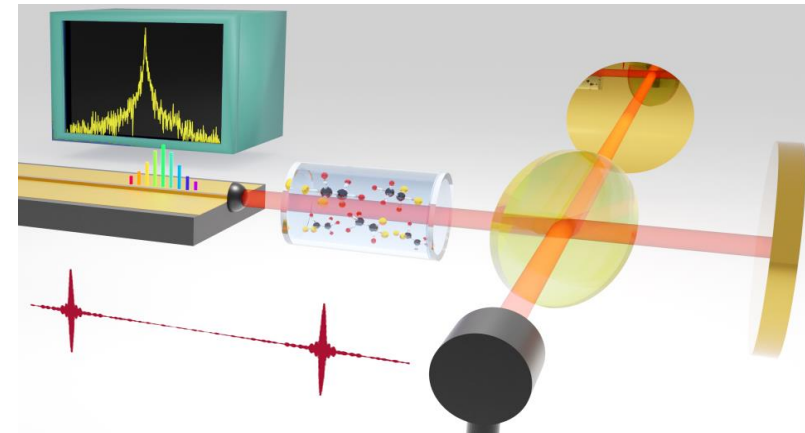
Spektroskopia dwugrzebieniowa

- ▶ Korelacja krzyżowa pól elektrycznych między dwoma źródłami
- ▶ Szybki detektor na bazie lasera
- ▶ Odpowiedź mierzona w mikrosekundach



Spektrometr Fourierowski

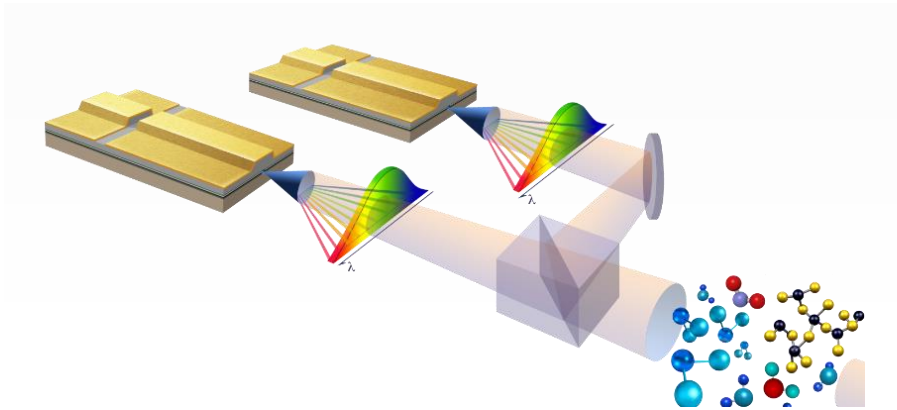
- ▶ Mechaniczny skan zwierciadła (\sim s)
- ▶ Osiągalna rozdzielczość widmowa rzędu MHz przy mm przesuwu
- ▶ Wolny detektor (kHz)



Rozdzielenie zębów grzebienia

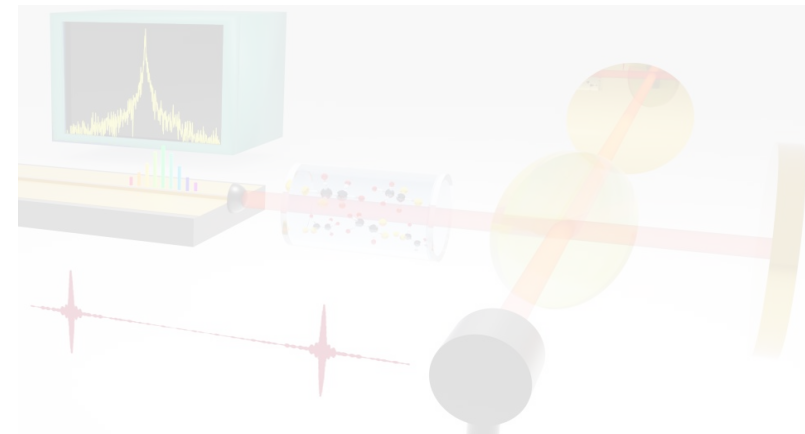
Spektroskopia dwugrzebieniowa

- ▶ Korelacja krzyżowa pól elektrycznych między dwoma źródłami
- ▶ Szybki detektor na bazie lasera
- ▶ Odpowiedź mierzona w mikrosekundach

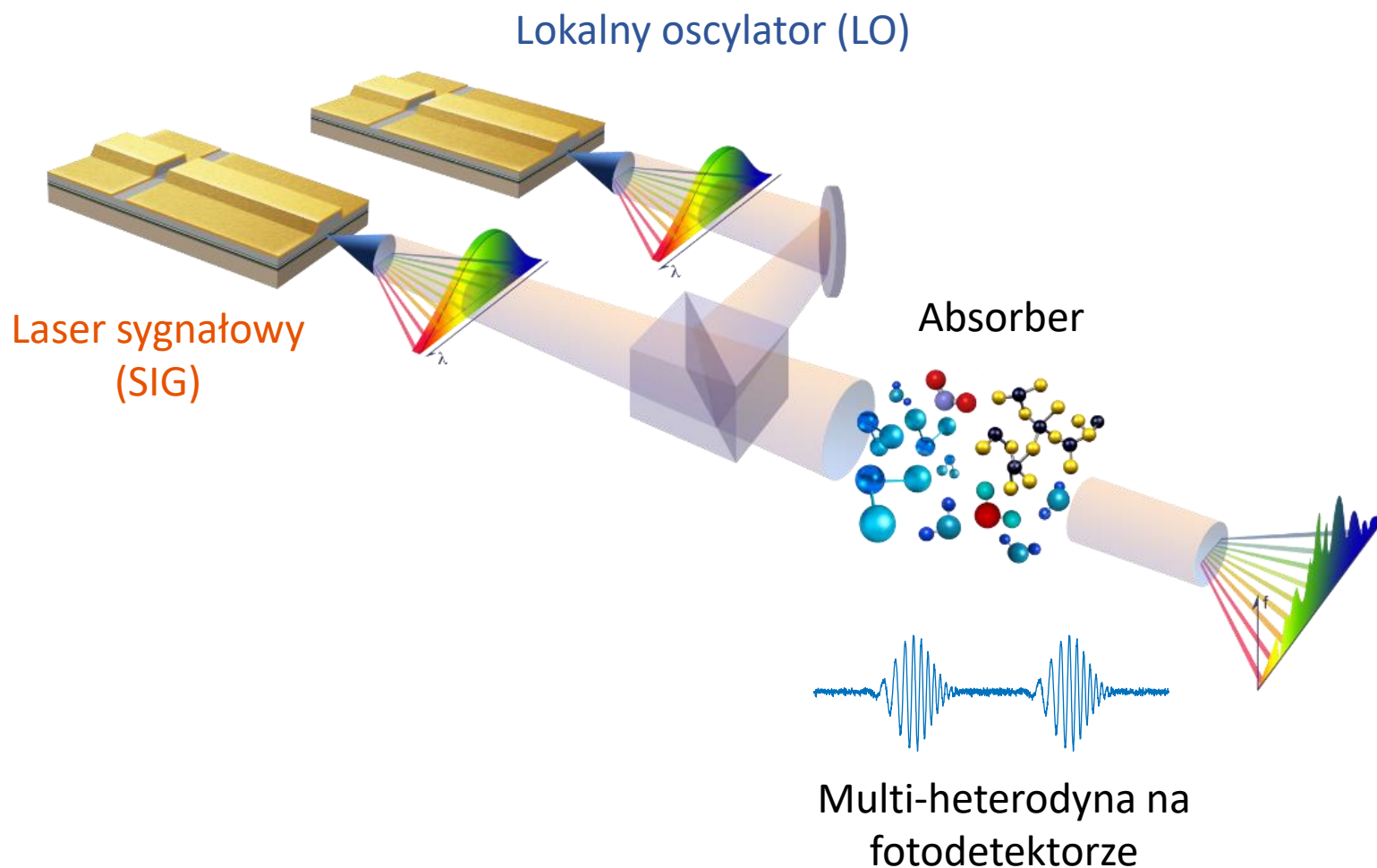


Spektrometr Fourierowski

- ▶ Mechaniczny skan zwierciadła ($\sim s$)
- ▶ Osiągalna rozdzielczość widmowa rzędu MHz przy mm przesuwu
- ▶ Wolny detektor (kHz)



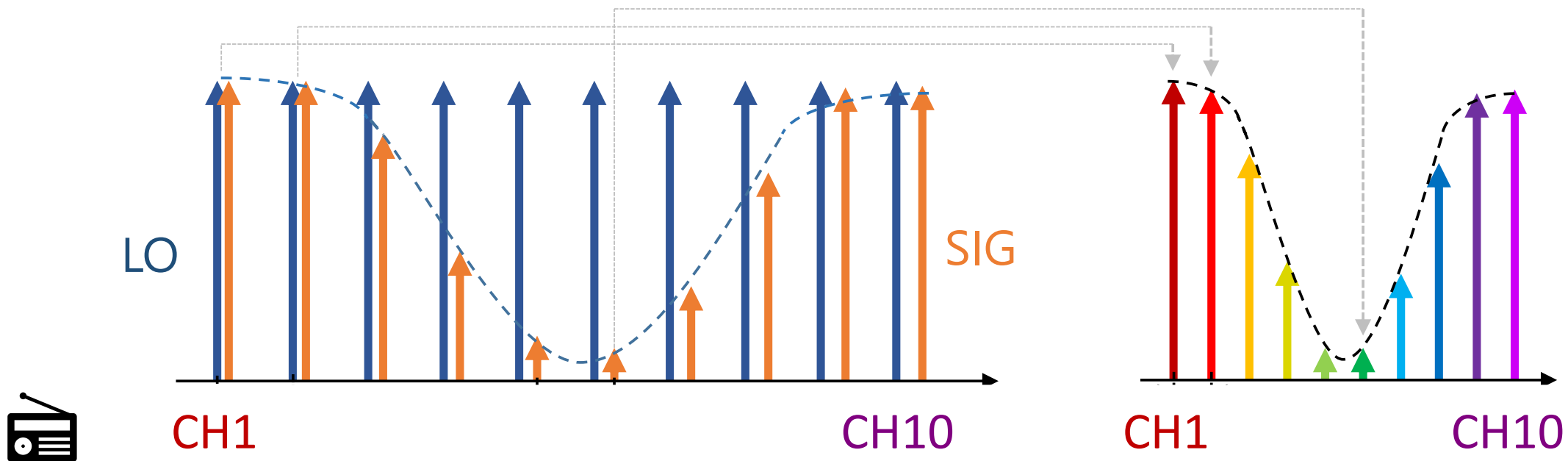
Spektroskopia dwu-grzebieniowa (dual-comb)



Spektroskopia dwu-grzebieniowa

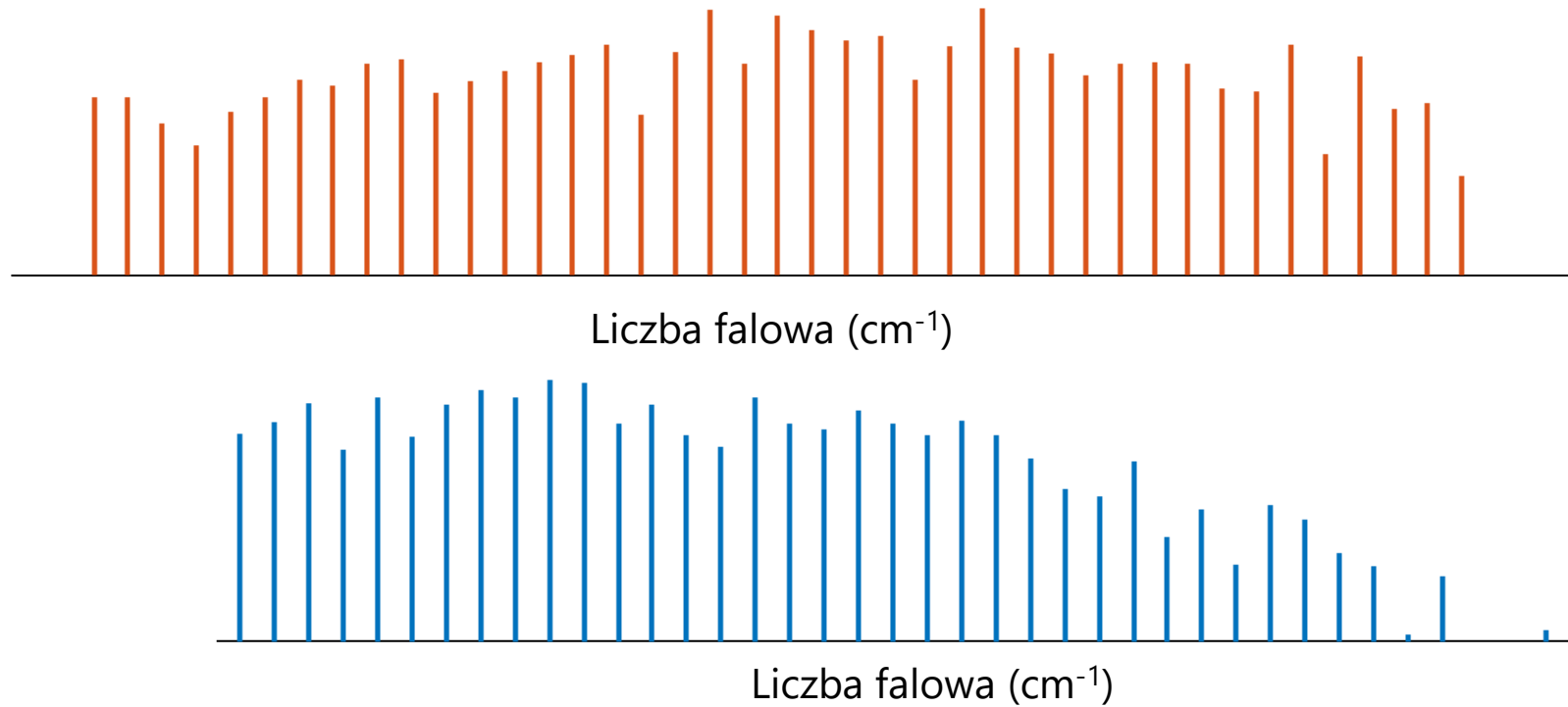
Dziedzina optyczna

Dziedzina radiowa



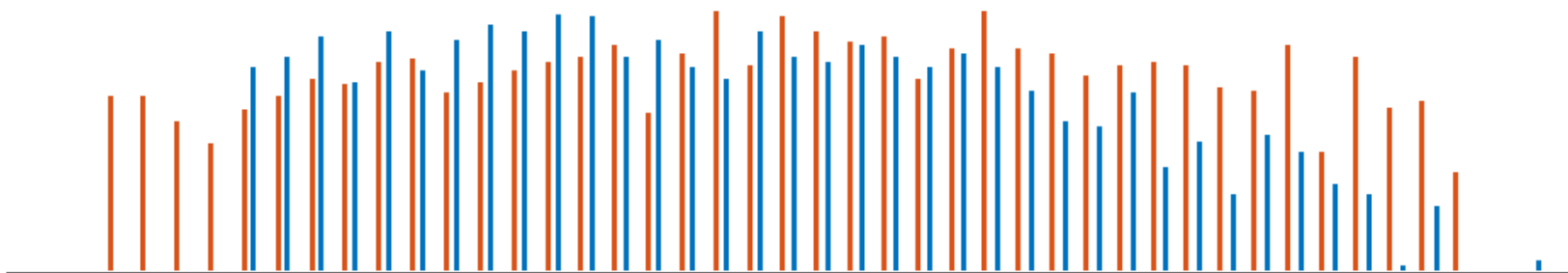
Optyczna multi-heterodyna

Widmo optyczne



Optyczna multi-heterodyna

Widmo optyczne



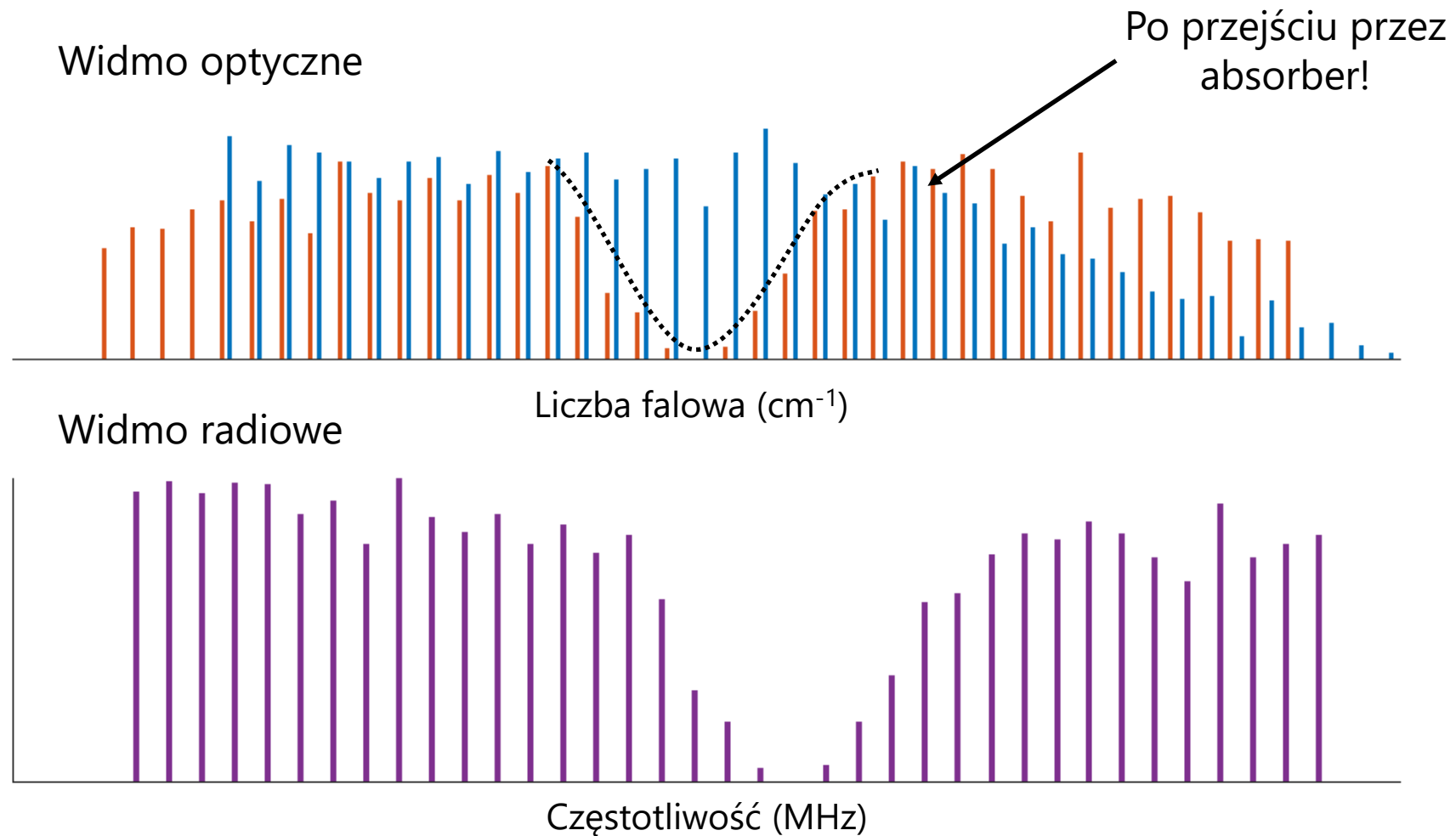
Widmo radiowe



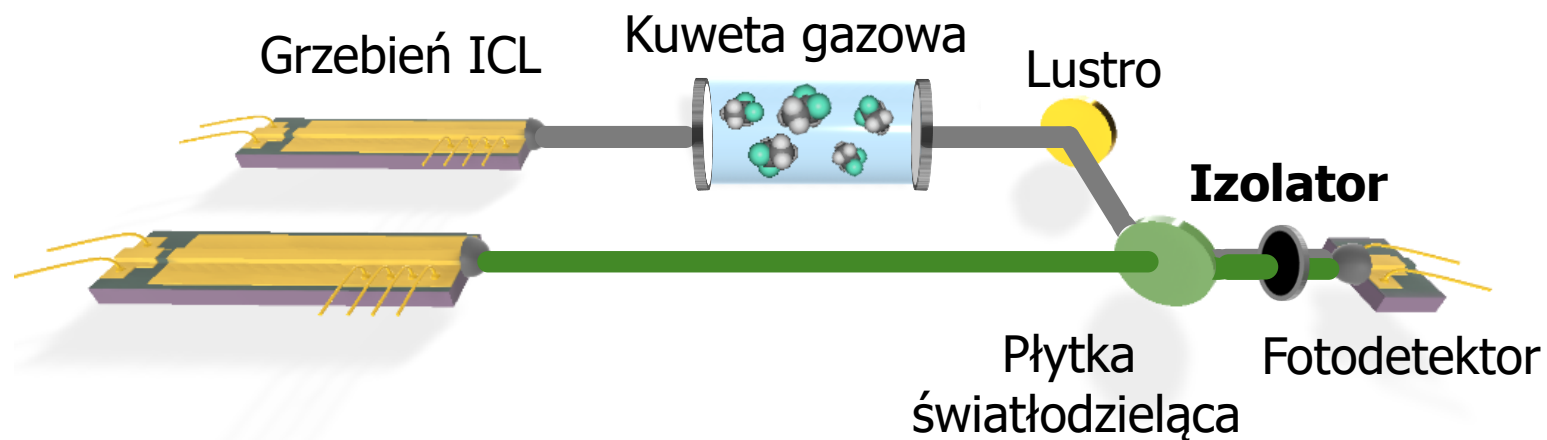
Liczba falowa (cm^{-1})

Częstotliwość (MHz)

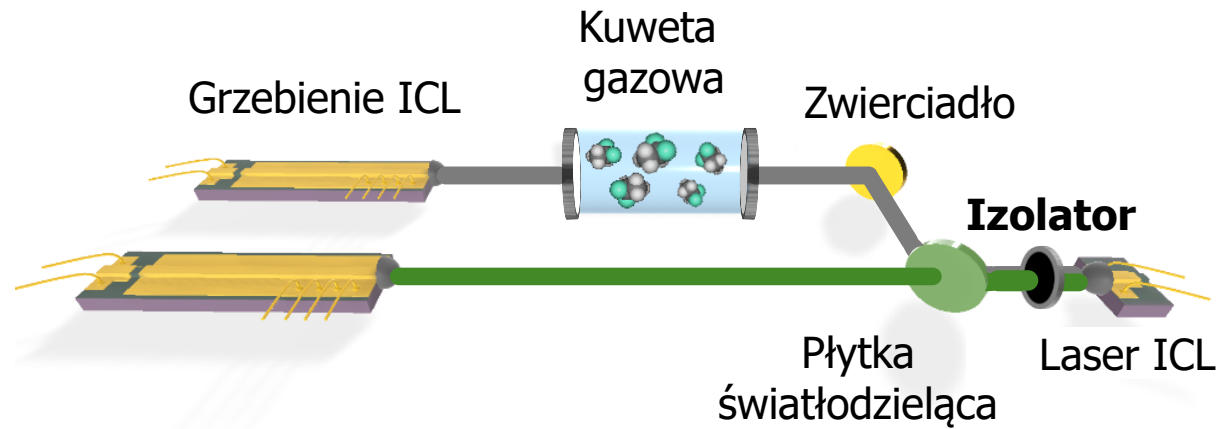
Optyczna multi-heterodyna



Spektroskopia dwugrzebieniowa w średniej podczerwieni



Autonomiczny spektrometr dwugrzebieniowy

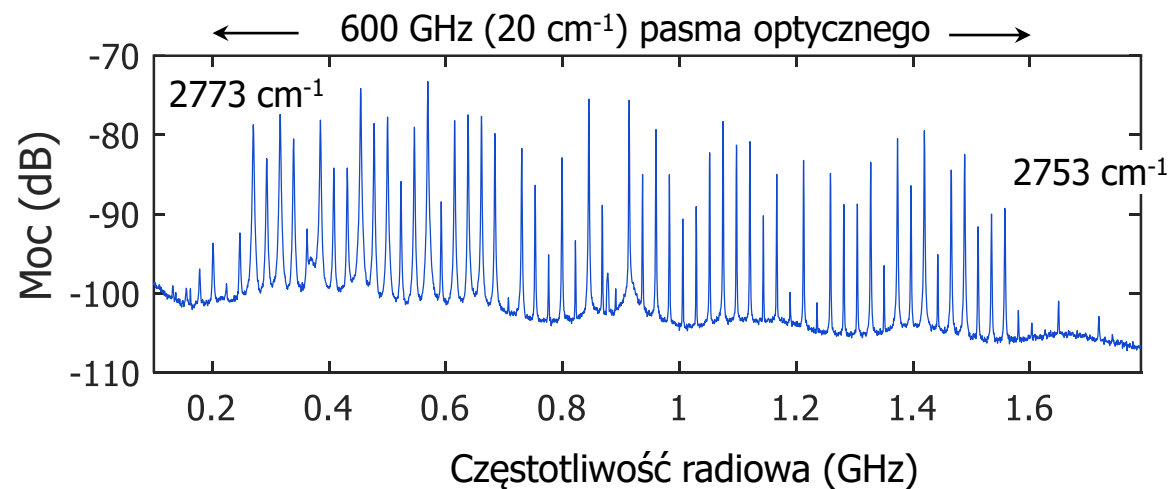
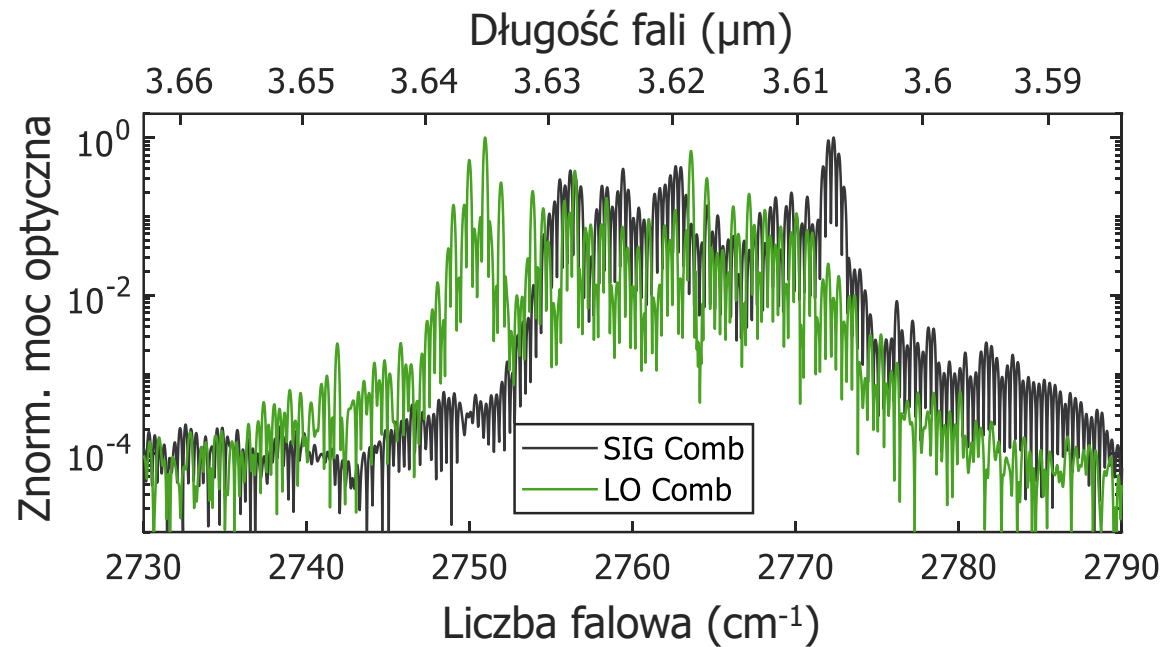


Aspekt nowości

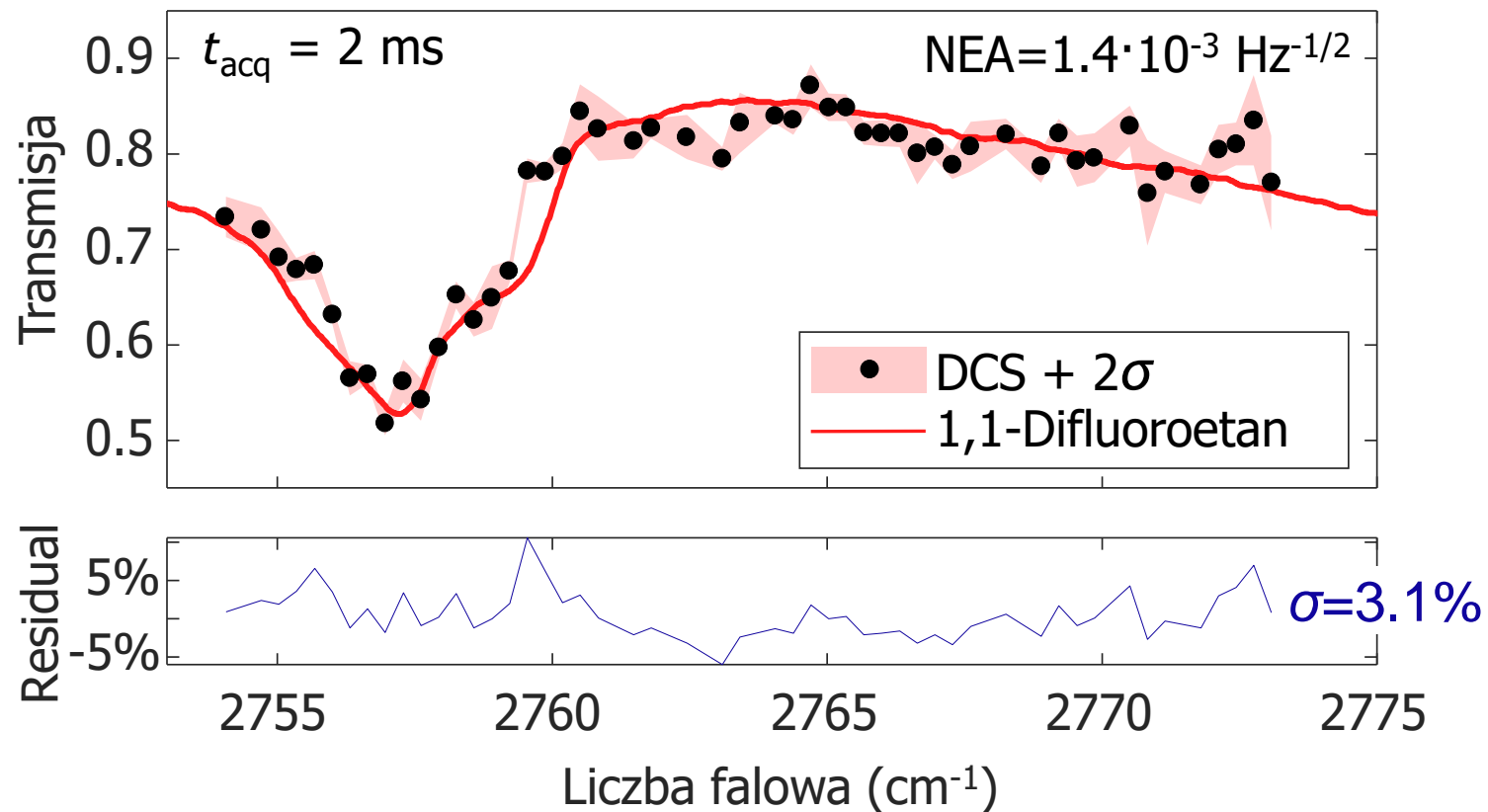
- ▶ **Pierwszy autonomiczny spektrometr dwugrzebieniowy.** Źródła i fotodetektory z tego samego wafla – potencjał dla spektrometrów on-chip.
- ▶ Praca w temperaturze pokojowej dzięki zastąpieniu detektora HgCdTe bi-funkcyjnym laserem ICL z GHz szybkością detekcji.

Bi-funkcyjność laserów ICL pozwala na wykorzystanie ich jako źródła i szybkie detektory

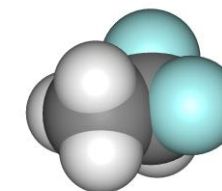
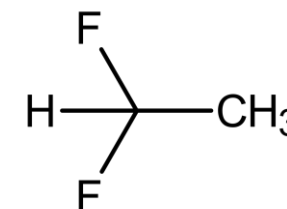
Spektroskopia dwugrzebieniowa z wykorzystaniem ICL



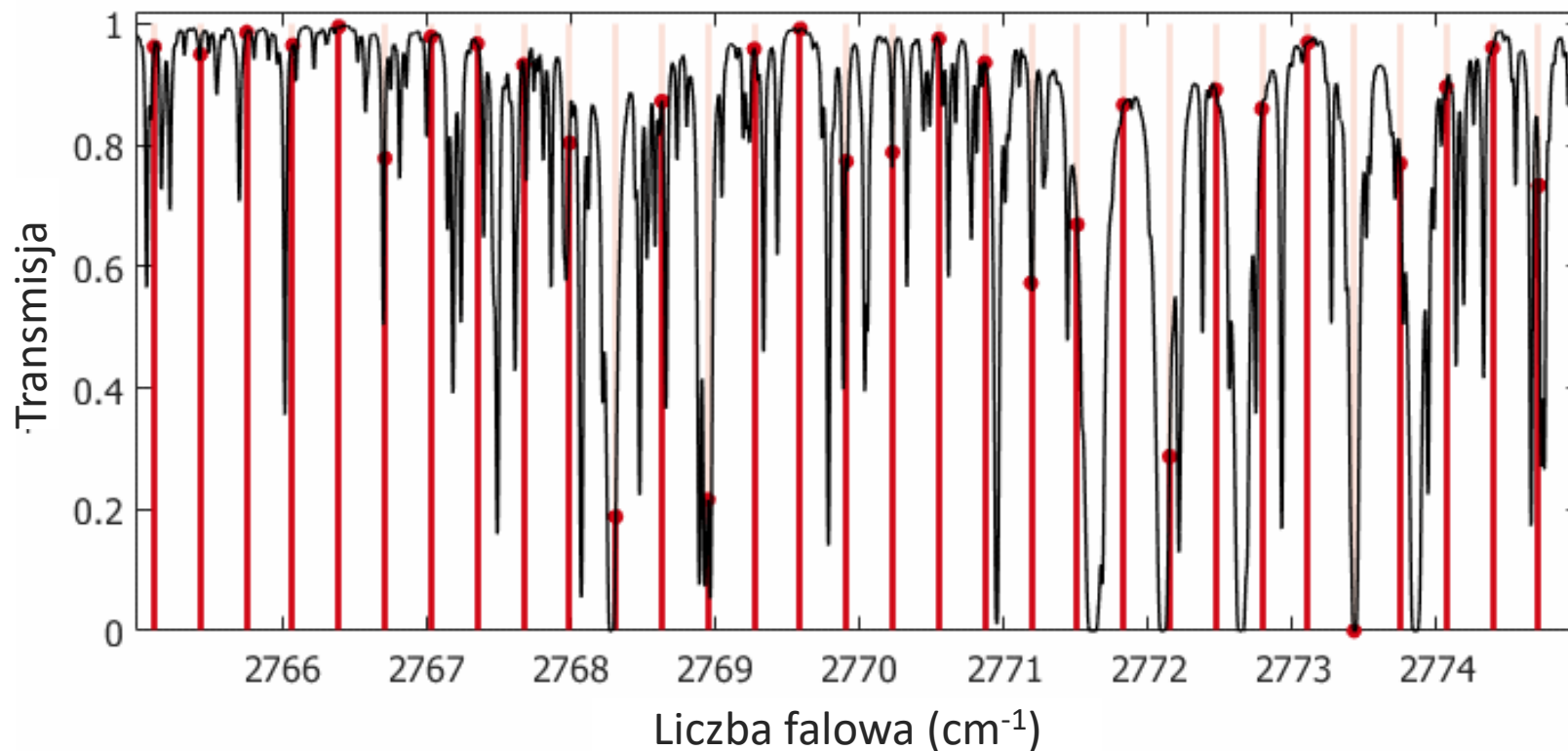
Przykładowy pomiar szerokopasmowego absorbera



Freon-152a,
czynnik chłodniczy
(1,1-difluoroetan)



Metoda TDLAS na wielu częstotliwościach jednocześnie

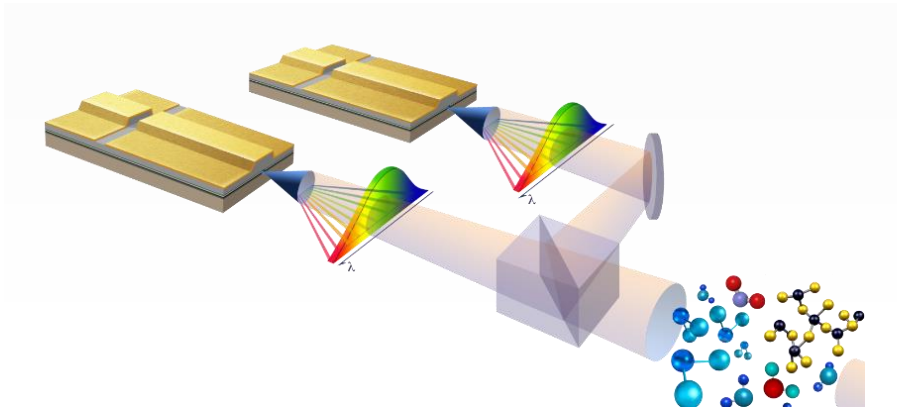


Czysty CH₄, parametry HITRAN T : 293 K, P : 0.1 atm (76 Torr) – na potrzeby wizualizacji

Rozdzielenie zębów grzebienia

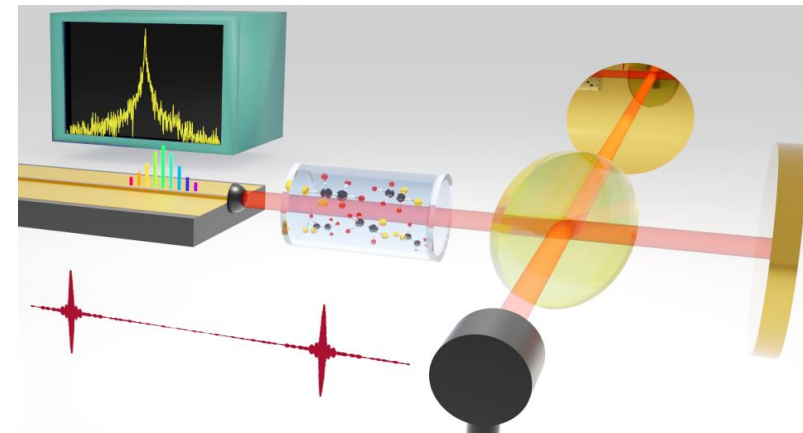
Spektroskopia dwugrzebieniowa

- ▶ Korelacja krzyżowa pól elektrycznych między dwoma źródłami
- ▶ Szybki detektor na bazie lasera
- ▶ Odpowiedź mierzona w mikrosekundach



Spektrometr Fourierowski

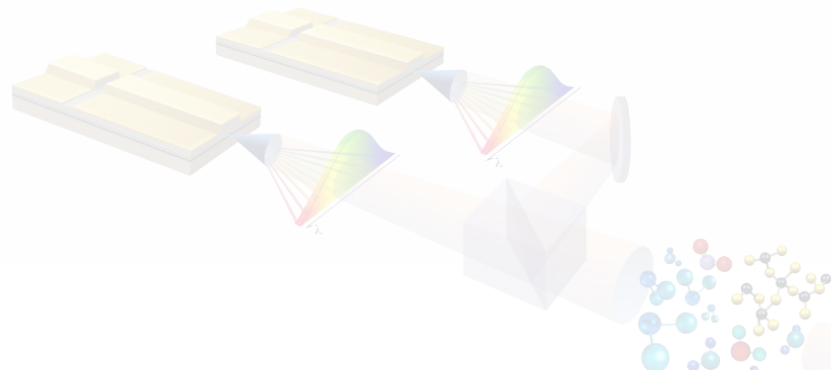
- ▶ Mechaniczny skan zwierciadła ($\sim s$)
- ▶ Osiągalna rozdzielczość widmowa rzędu MHz przy mm przesuwu
- ▶ Wolny detektor (kHz)



Rozdzielenie zębów grzebienia

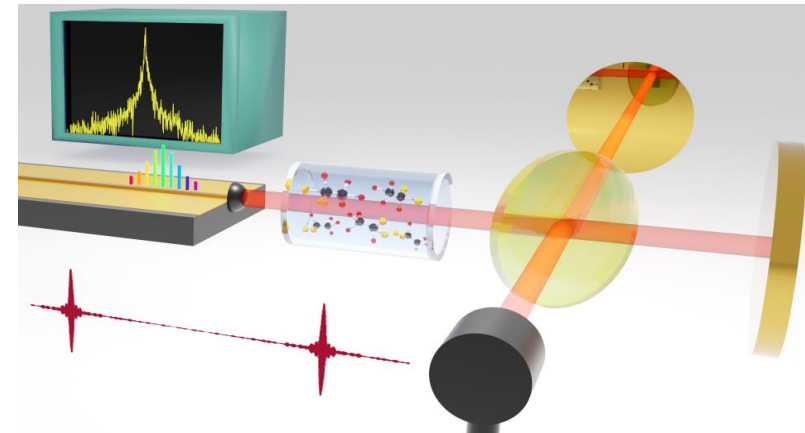
Spektroskopia dwugrzebieniowa

- ▶ Korelacja krzyżowa pól elektrycznych między dwoma źródłami
- ▶ Szybki detektor na bazie lasera
- ▶ Odpowiedź mierzona w mikrosekundach

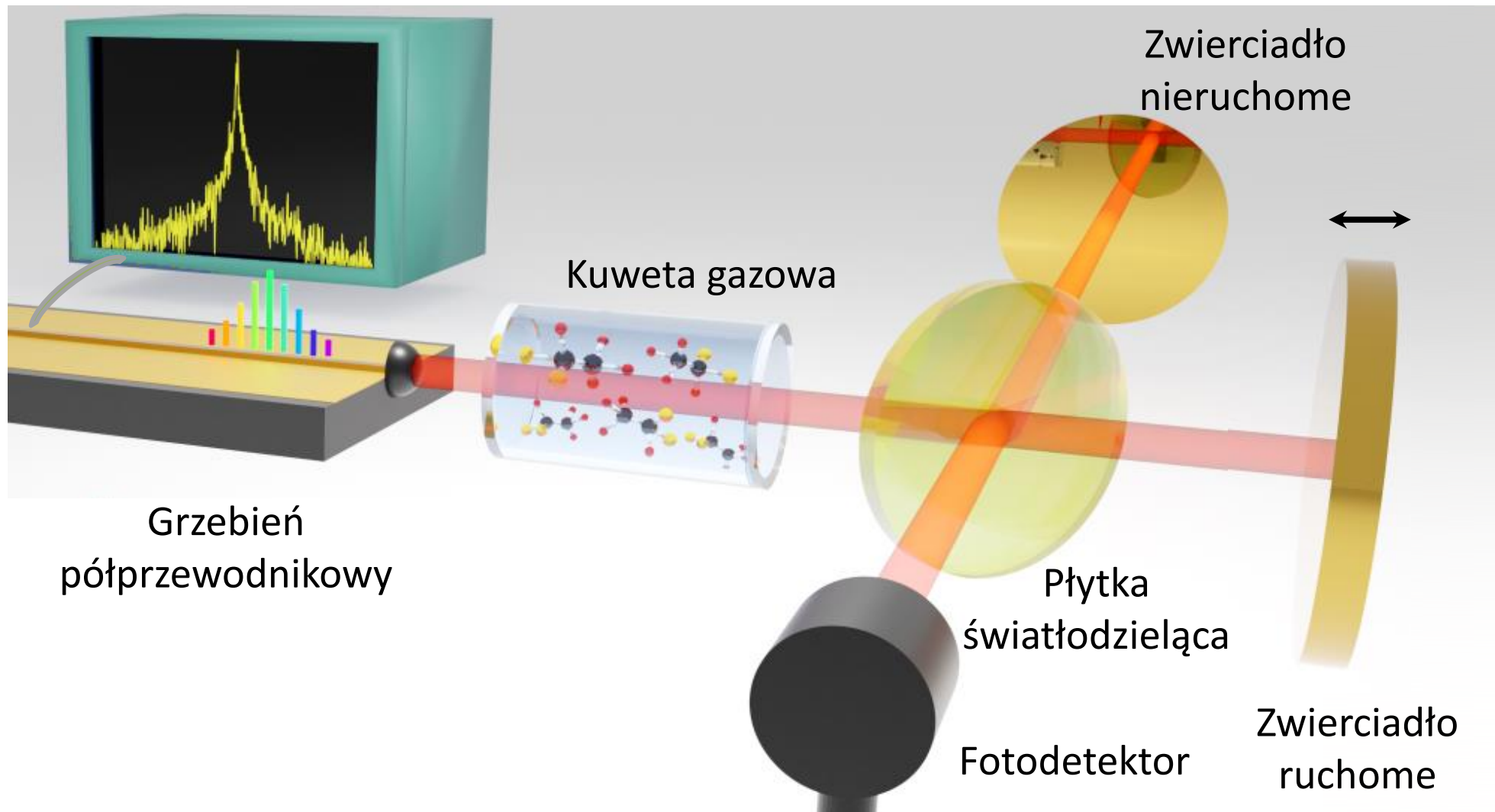


Spektrometr Fourierowski

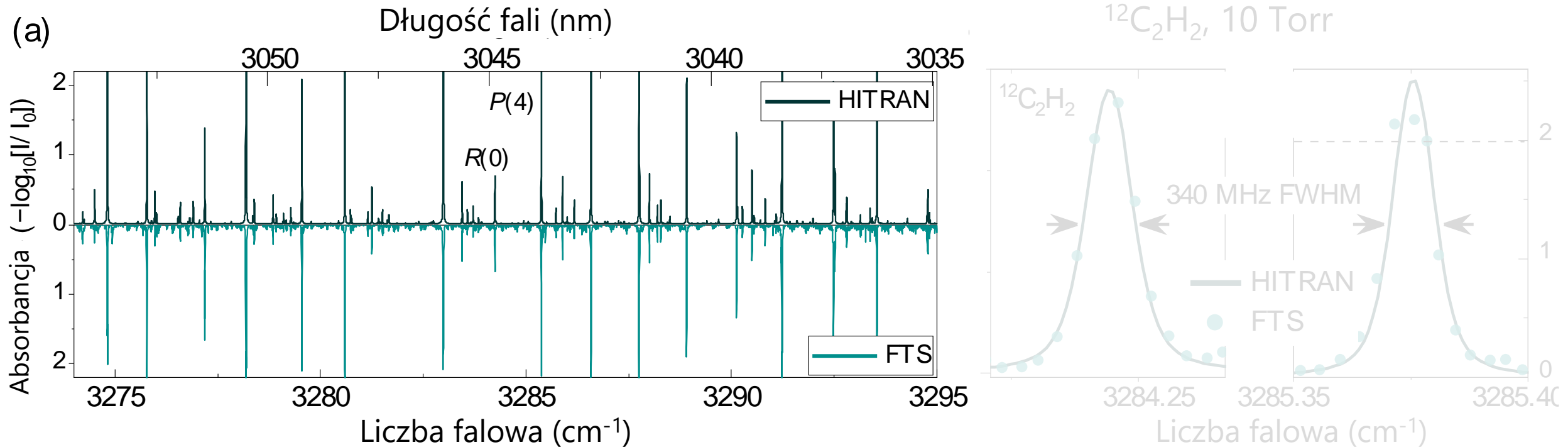
- ▶ Mechaniczny skan zwierciadła ($\sim s$)
- ▶ Osiągalna rozdzielczość widmowa rzędu MHz przy mm przesuwu
- ▶ Wolny detektor (kHz)



Układ eksperymentalny – interferometr Michelsona



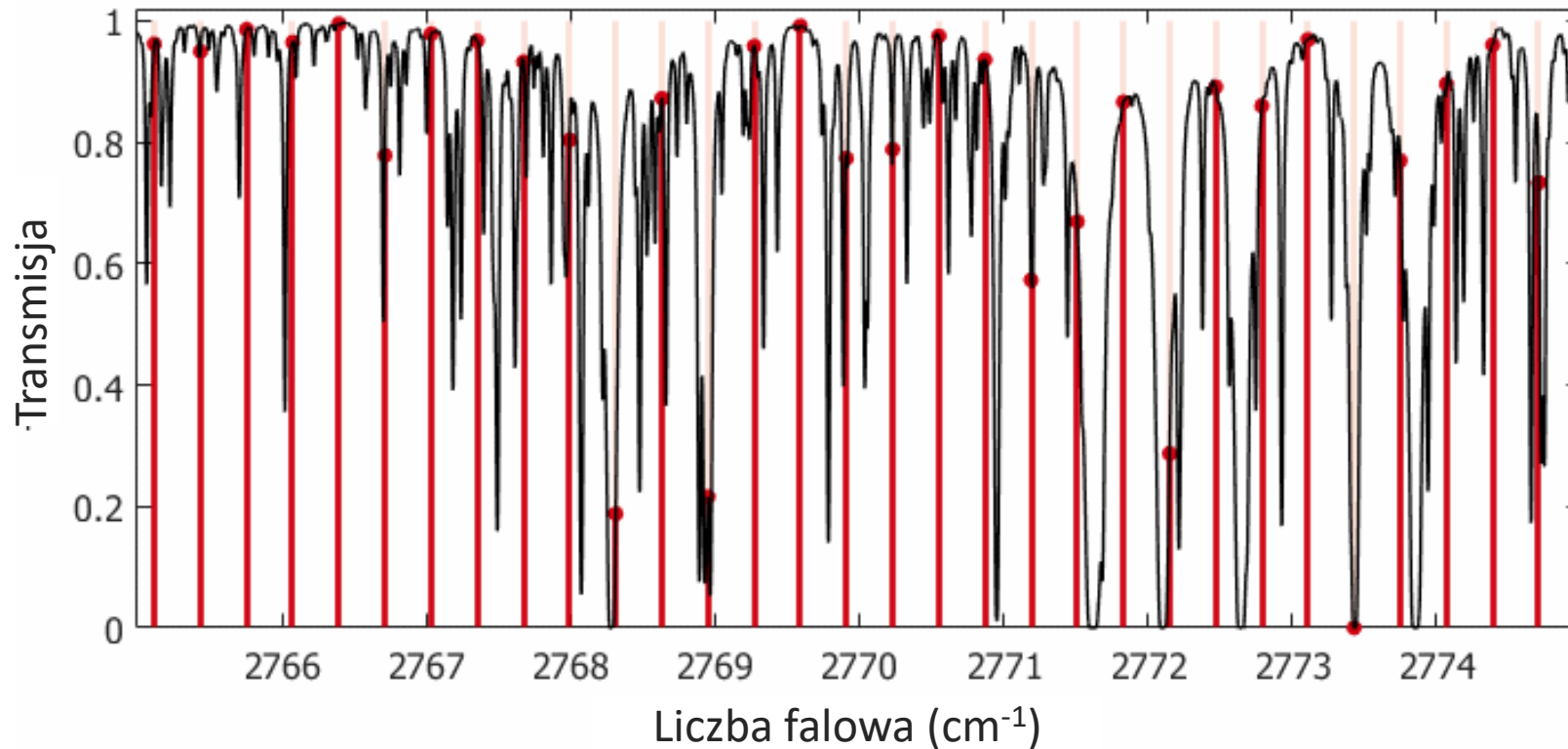
Spektroskopia Fourierowska z laserami diodowymi na 3 μm – C_2H_2



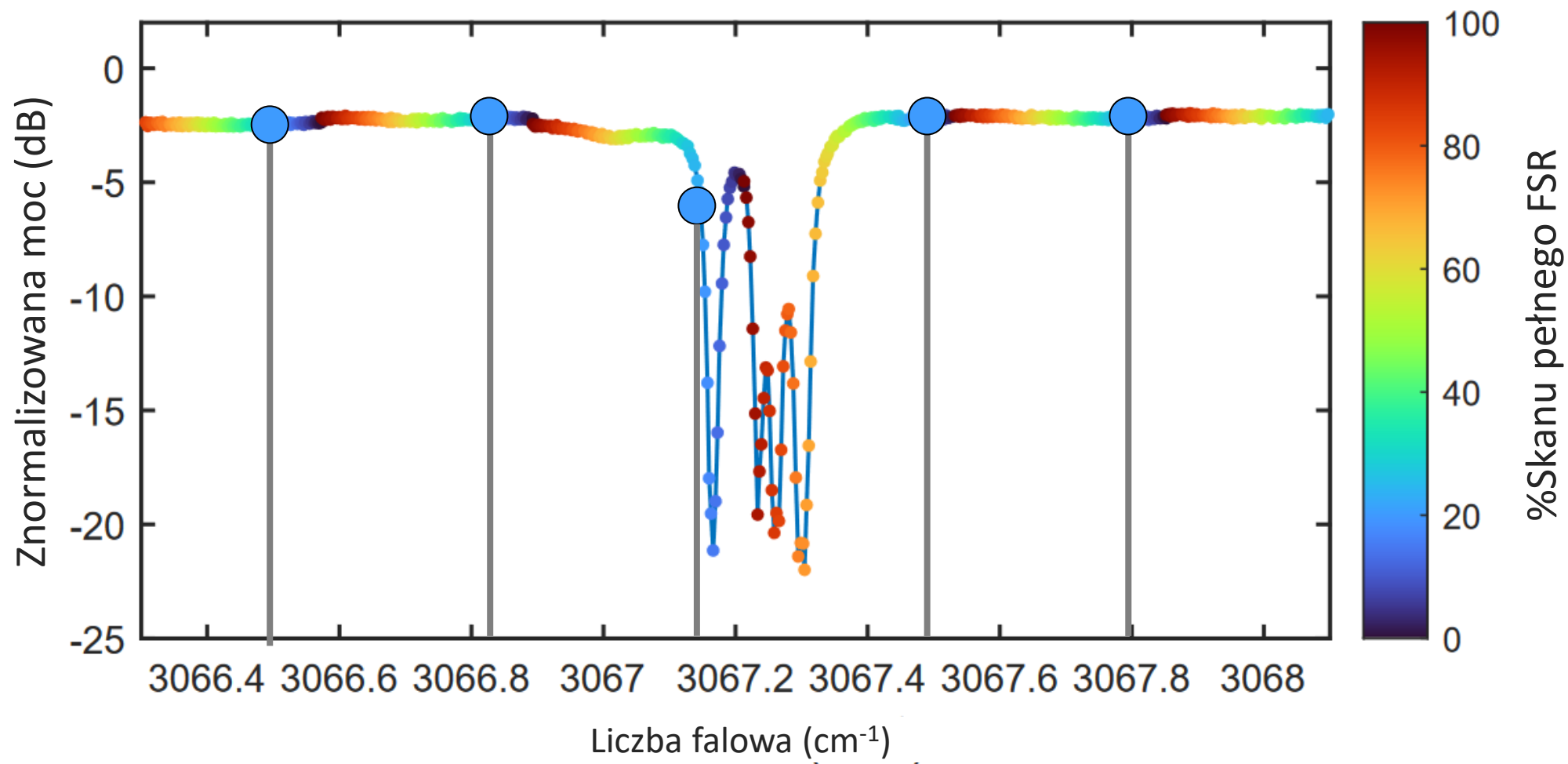
Nominalna rozdzielczość: ~ 10 GHz,
Poprawiona rozdzielczość: **30 MHz (0.001 cm^{-1})**

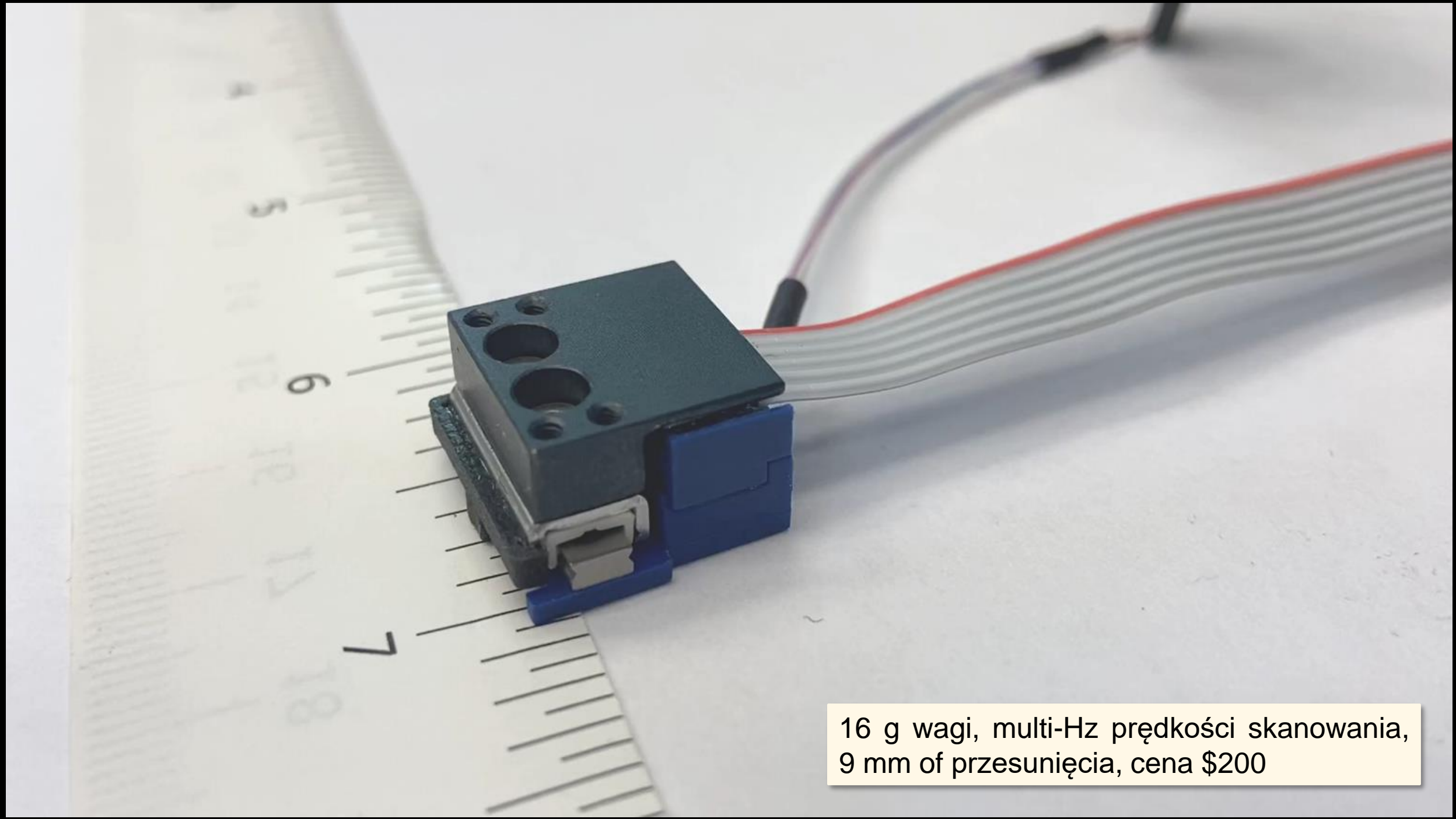
Co najmniej 100x zwiększenie rozdzielczości względem nominalnej. Równoważna droga lustra to 10 metrów (w rzeczywistości 2 x 15 mm)

Metoda TDLAS na wielu częstotliwościach jednocześnie



Źródłowe dane – przeplatane pomiary metanu

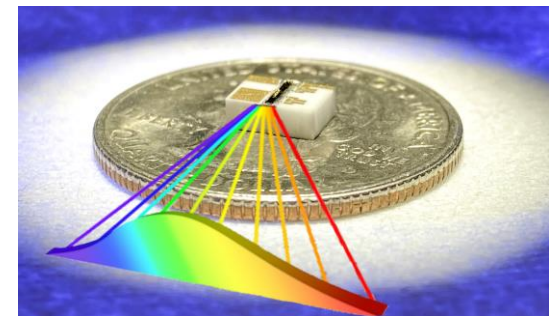
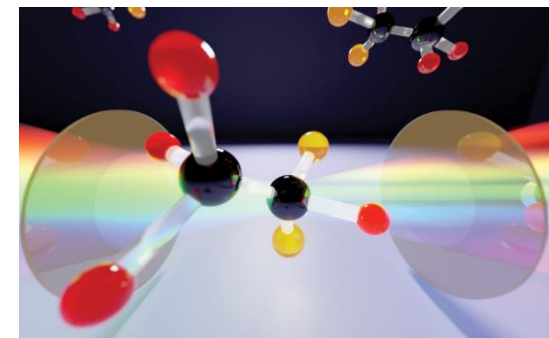
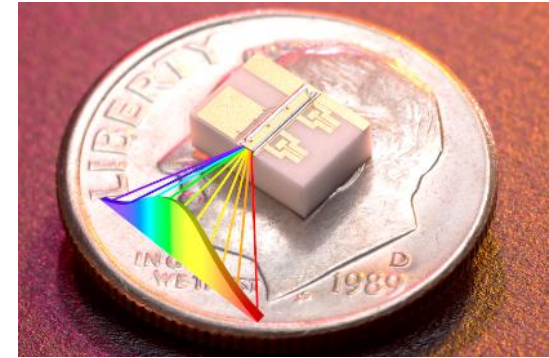




16 g wagi, multi-Hz prędkości skanowania,
9 mm of przesunięcia, cena \$200

Podsumowanie

- ▶ Niestabilizowana, szerokopasmowa wysokorozdzielcza spektroskopia w średniej podczerwieni z wykorzystaniem optycznych grzebieni częstotliwości pompowanych elektrycznie.
- ▶ Możliwość budowy spektrometrów Fouriera wielkości telefonu komórkowego z równoważną różnicą dróg optycznych rzędu dziesiątek metrów.
- ▶ Potencjał na wykorzystanie nieliniowej konwersji częstotliwości celem osiągnięcia krótszych lub dłuższych długości fal.



Podziękowania



Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

This work was supported under National Aeronautics and Space Agency's (NASA) PICASSO program & PDRDF program. It was in part performed at the Jet Propulsion Laboratory (JPL), California Institute of Technology, under contract with the NASA.

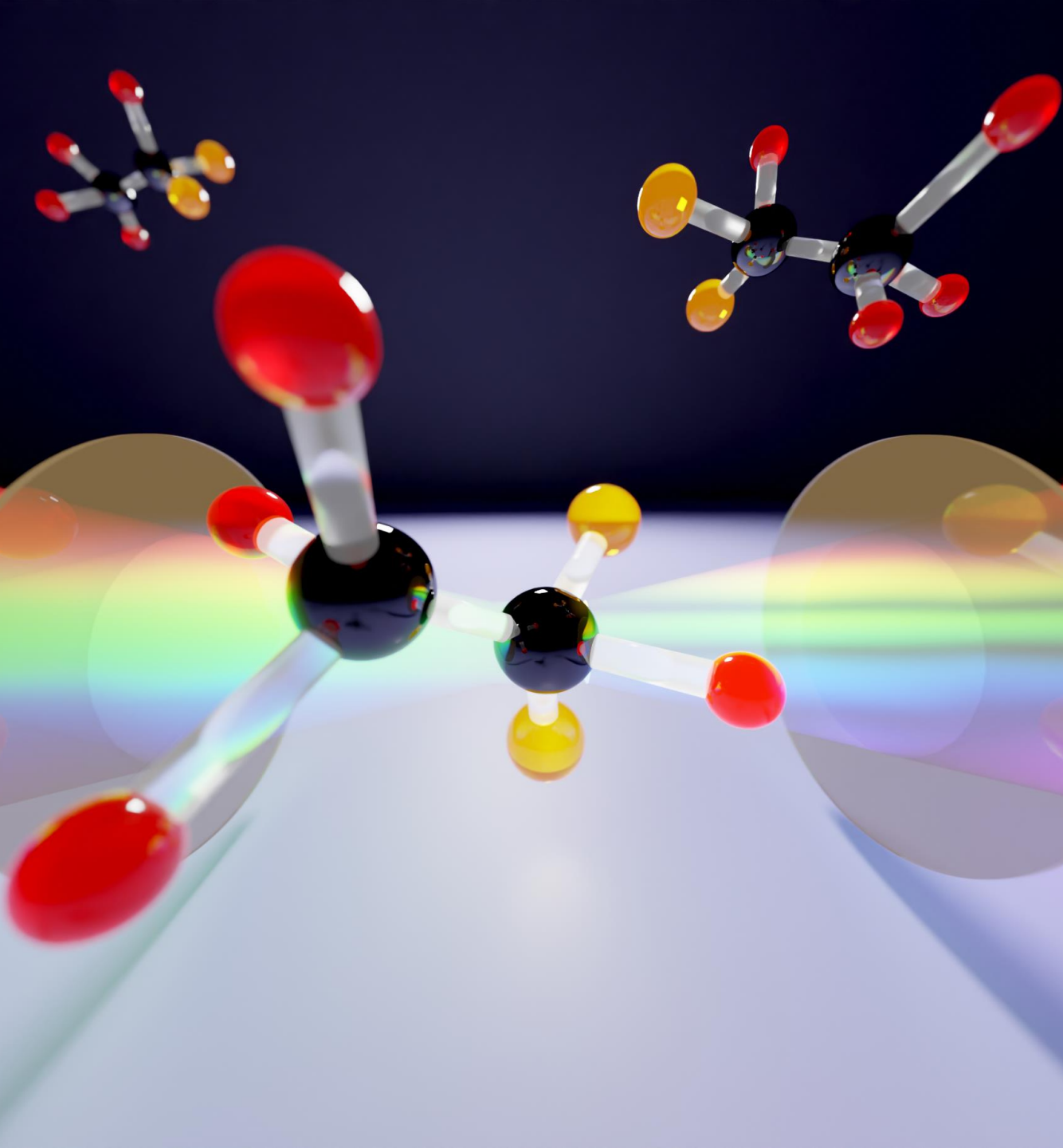


Universities Space Research Association

L. A. Sterczewski's research was supported by an appointment to the NASA Postdoctoral Program at JPL, administered by Universities Space Research Association under contract with NASA.



Projekt otrzymał dofinansowanie z programu Unii Europejskiej "Horyzont 2020" w zakresie badań i innowacji Marii Skłodowskiej-Curie w ramach umowy nr 101027721.



Politechnika Wrocławska



lukasz.sterczewski@pwr.edu.pl



sterczewski.com

Nowy rozdział



European Research Council

Established by the European Commission

Starting Grant 2023: TeraERC

Chip-based room-temperature terahertz frequency comb spectrometers (1 500 000 EUR).

Spektrometry terahercowe pracujące w temperaturze pokojowej na bazie zintegrowanych optycznych grzebieni częstotliwości.



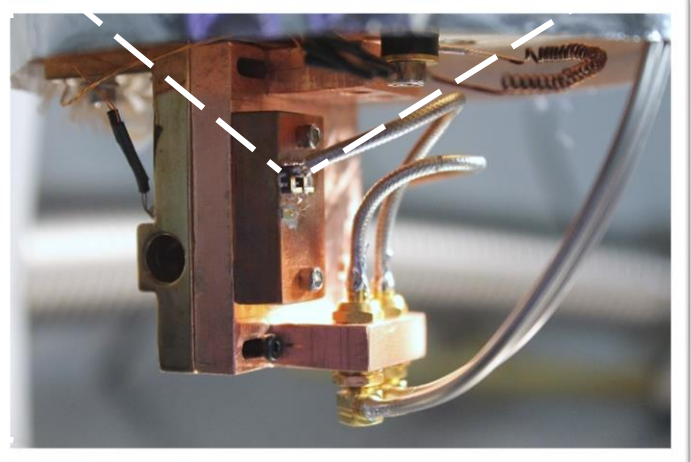
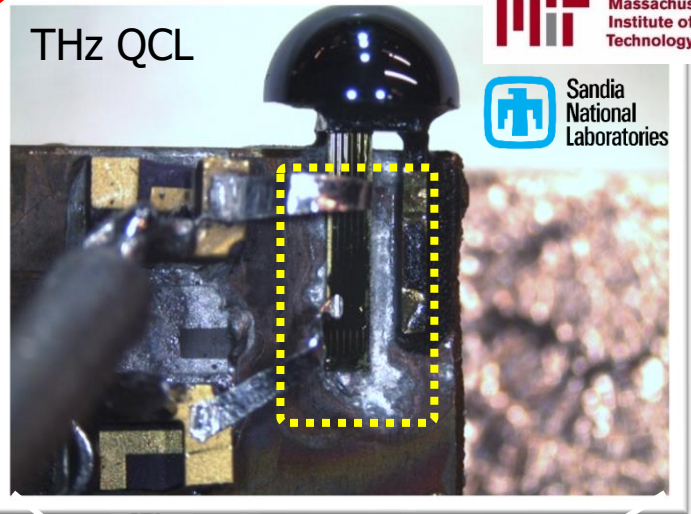
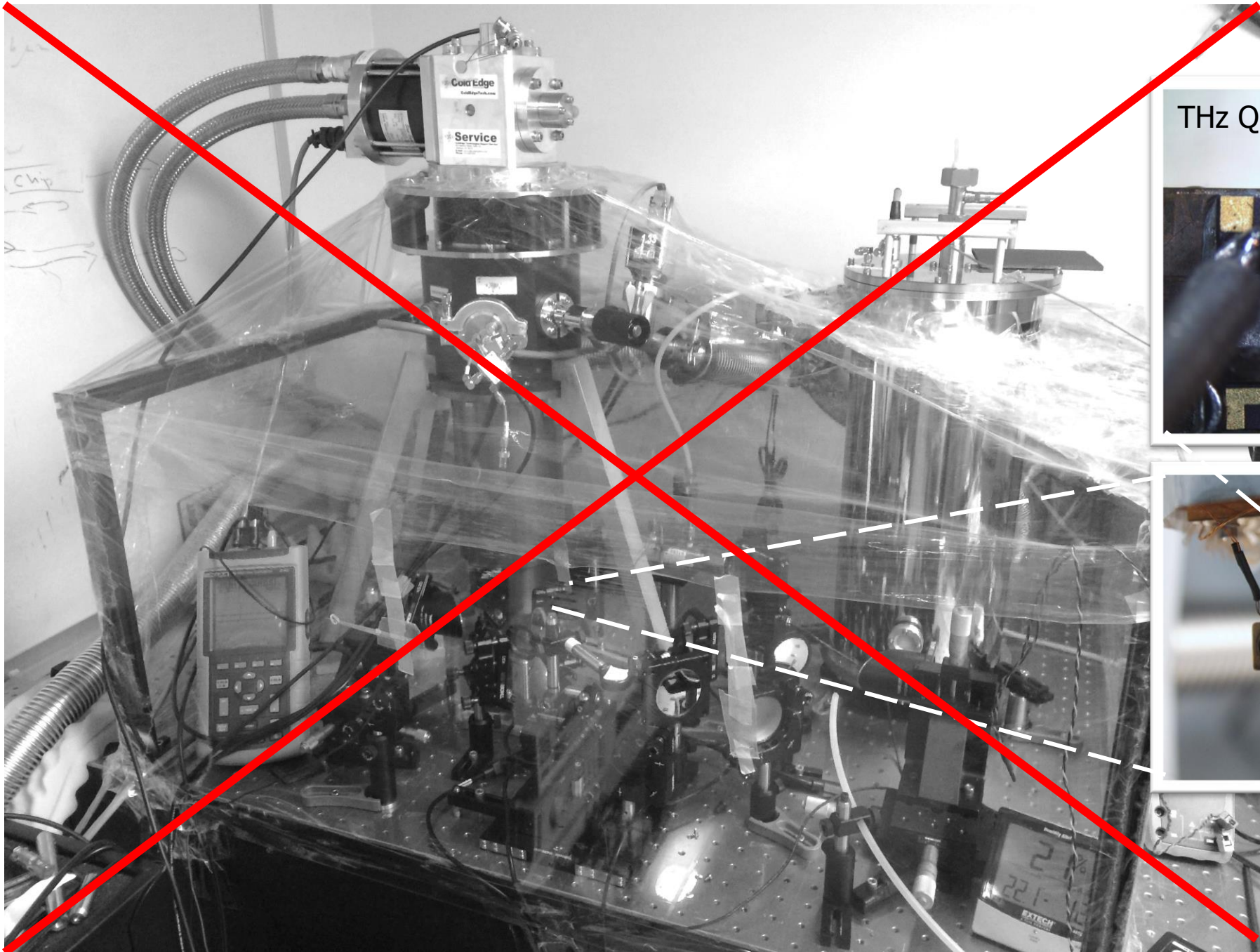
lukasz.sterczewski@pwr.edu.pl



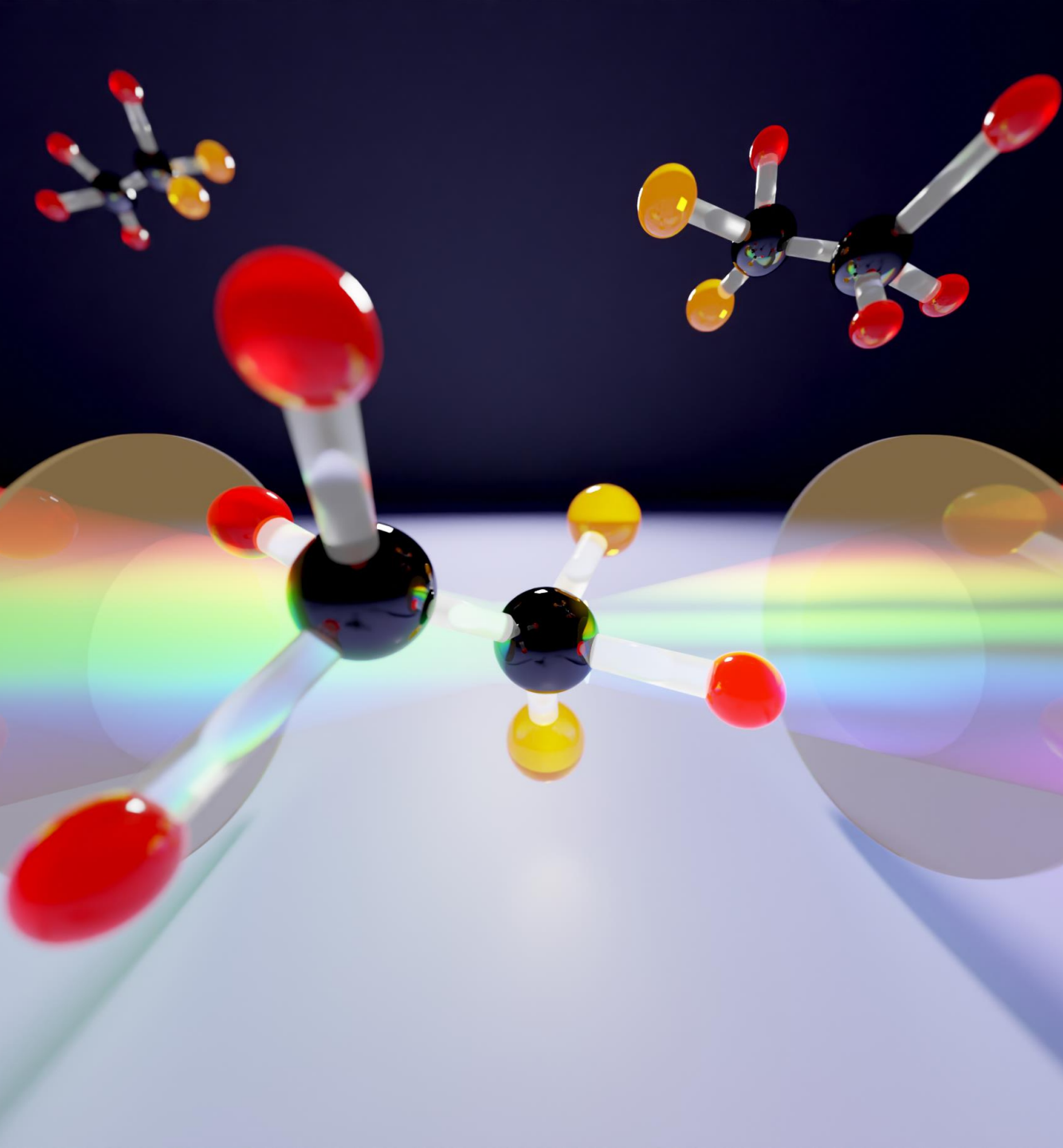
Szukamy nowych członków zespołu!



Laboratorium 131/C-4



Zimny palec



Politechnika Wrocławska



lukasz.sterczewski@pwr.edu.pl



sterczewski.com



Politechnika Wroclawska

kw

INAUGURACJA
ROKU AKADEMICKIEGO
2023/2024



Politechnika Wroclawska

kw

POWODZENIA NA STUDIACH!