

Нестационарная терагерцевая спектроскопия высокого разрешения

Аспирант I года А. Яблоков

Руководитель: к.ф.-м.н. В. Л. Вакс
ИФМ РАН

Нижний Новгород
2017



Актуальность

Газовая ТГц спектроскопия:

- высокое разрешение
- сильные линии поглощения
- не разрушает молекулы

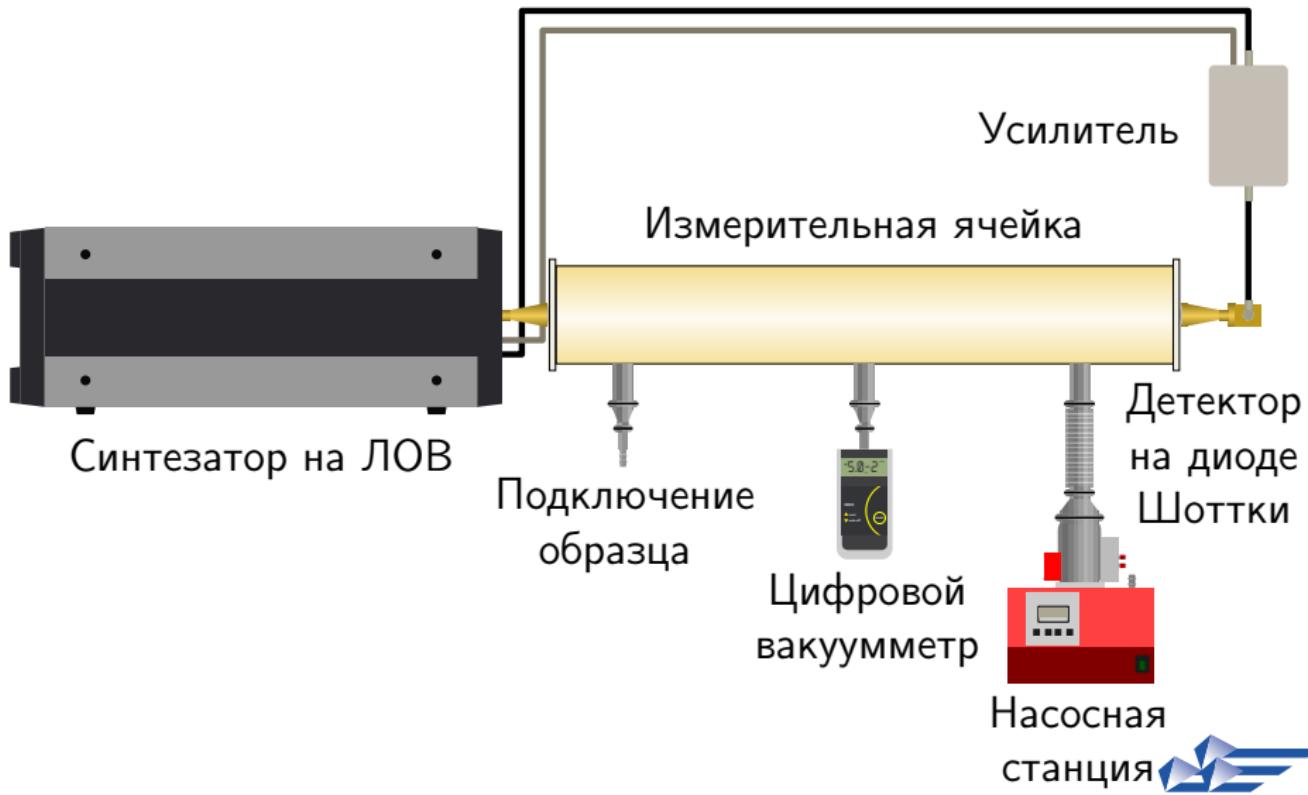


Цель

Описание и обсуждение принципа работы и устройства нестационарного спектрометра ТГц диапазона.

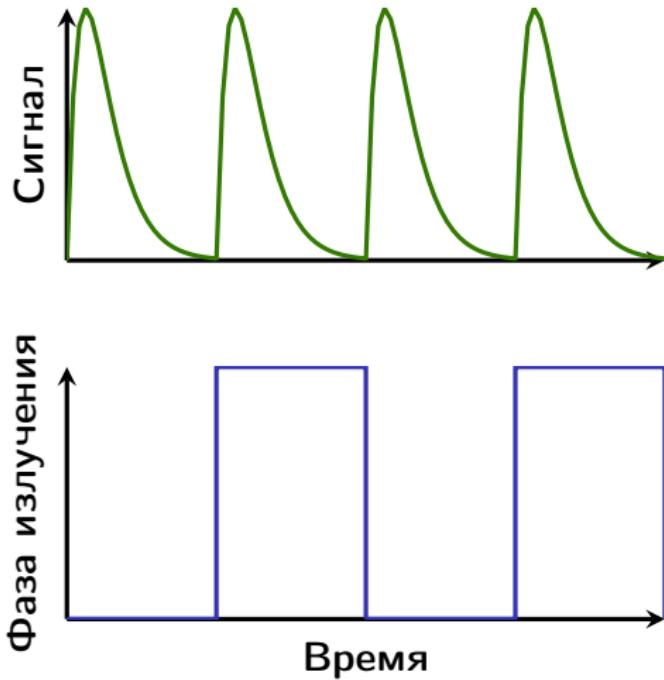


Спектрометр



Принцип работы спектрометра

Режим фазовой манипуляции

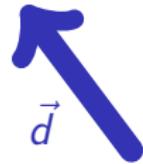


- Источник излучения: лампа обратной волны.
- Частота излучения: 115–170 ГГц.
- Частота переключения фазы: порядка 100 кГц.



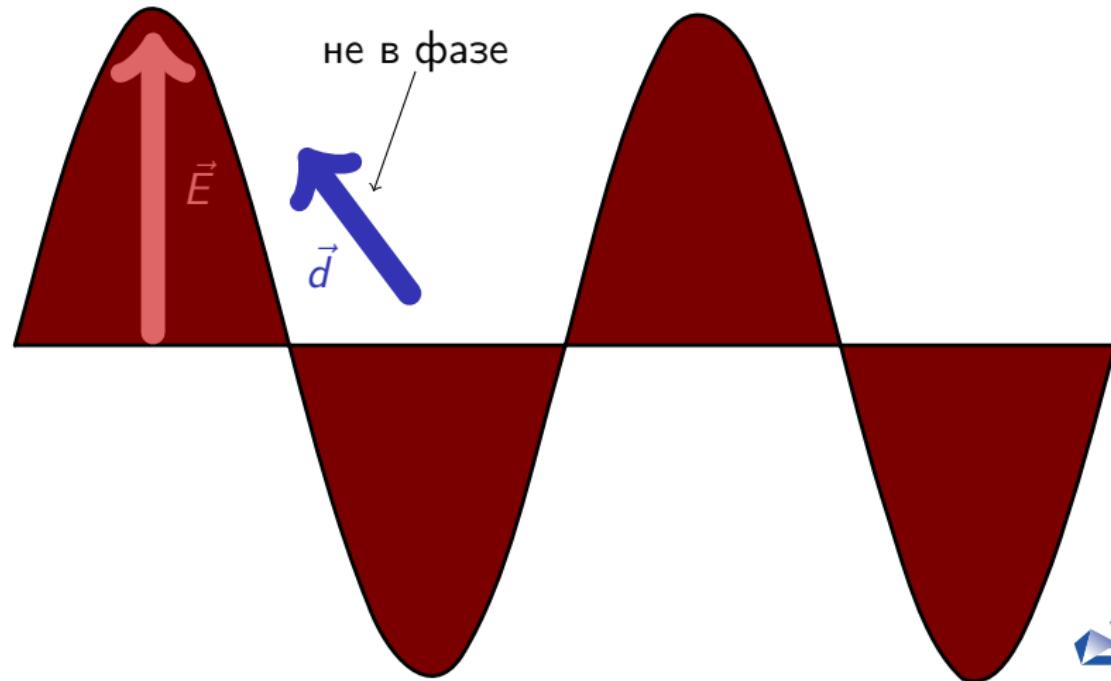
Принцип действия

Режим фазовой манипуляции



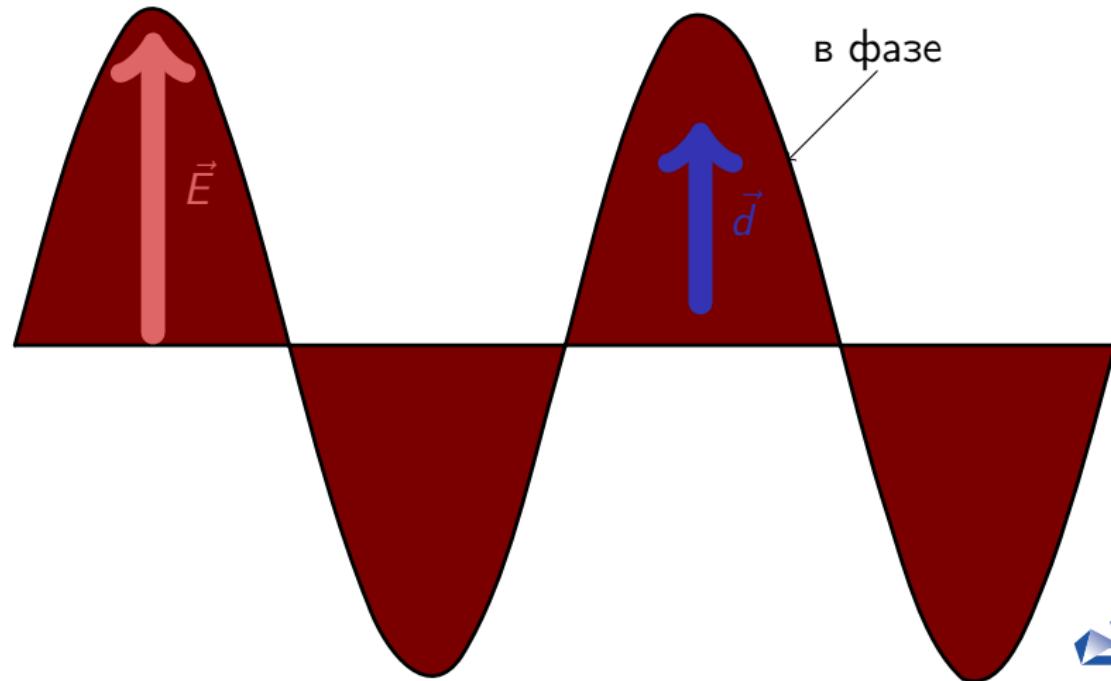
Принцип действия

Режим фазовой манипуляции



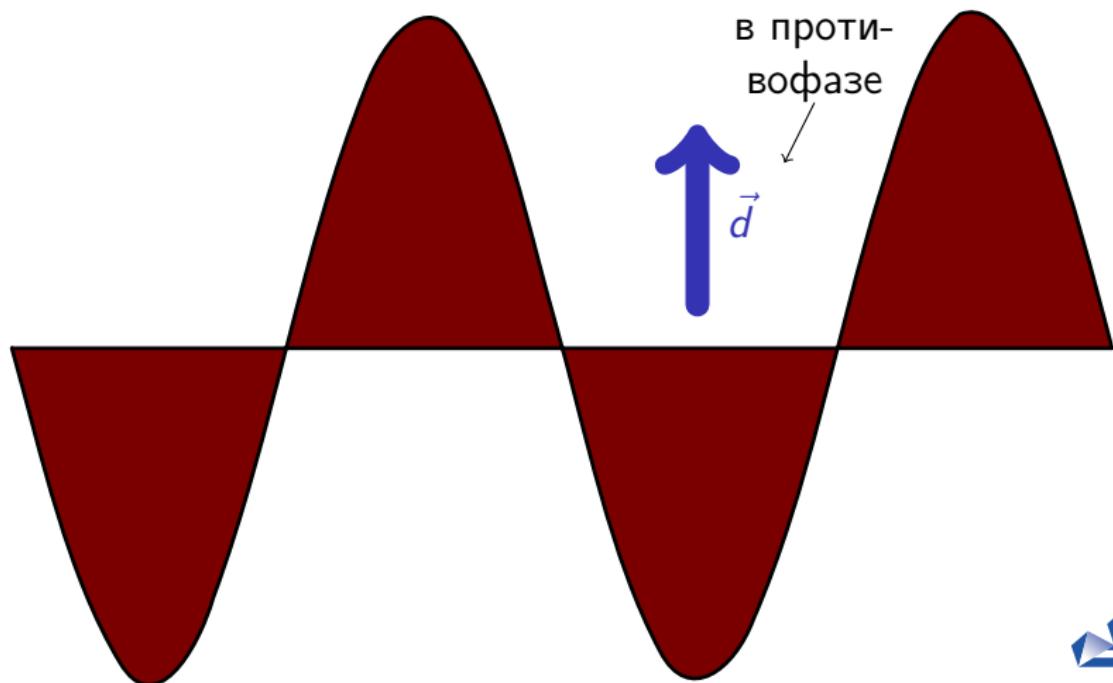
Принцип действия

Режим фазовой манипуляции



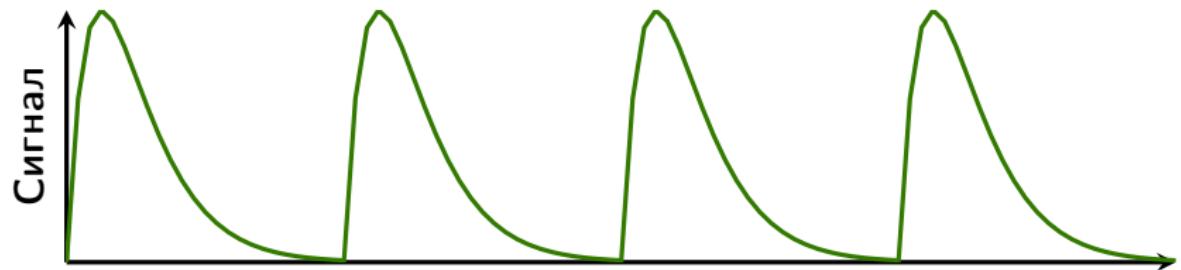
Принцип действия

Режим фазовой манипуляции



Принцип работы спектрометра

Режим фазовой манипуляции



Линии поглощения

| Вещество | Частота, МГц | Интенсивность, $\text{нм}^2 \text{МГц}$ |
|-----------------------------------|--------------|---|
| NH ₃ | 140 141,8067 | $10^{-5,0383}$ |
| H ₂ O | 380 197,3598 | $10^{-2,6152}$ |
| HCN | 443 116,1554 | $10^{-0,4591}$ |
| CO | 345 795,9899 | $10^{-3,6118}$ |
| NO | 351 043,5240 | $10^{-4,1572}$ |
| H ₂ CO | 421 920,7720 | $10^{-1,5129}$ |
| C ₂ H ₅ OH | 442 227,8378 | $10^{-3,4110}$ |
| CH ₃ CHO | 443 414,6873 | $10^{-2,7159}$ |
| CH ₃ OCH ₃ | 414 191,8194 | $10^{-3,2973}$ |
| CH ₃ COCH ₃ | 444 028,2778 | $10^{-3,9476}$ |

Источник: JPL (jpl.nasa.gov)



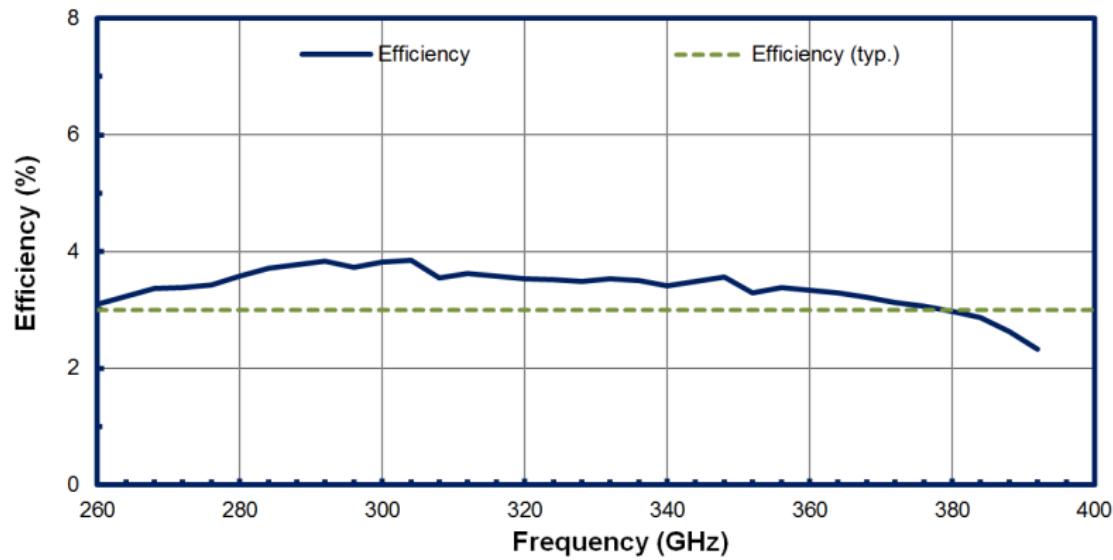
115–170 ГГц



Умножитель частоты на диоде Шоттки



WR2.8

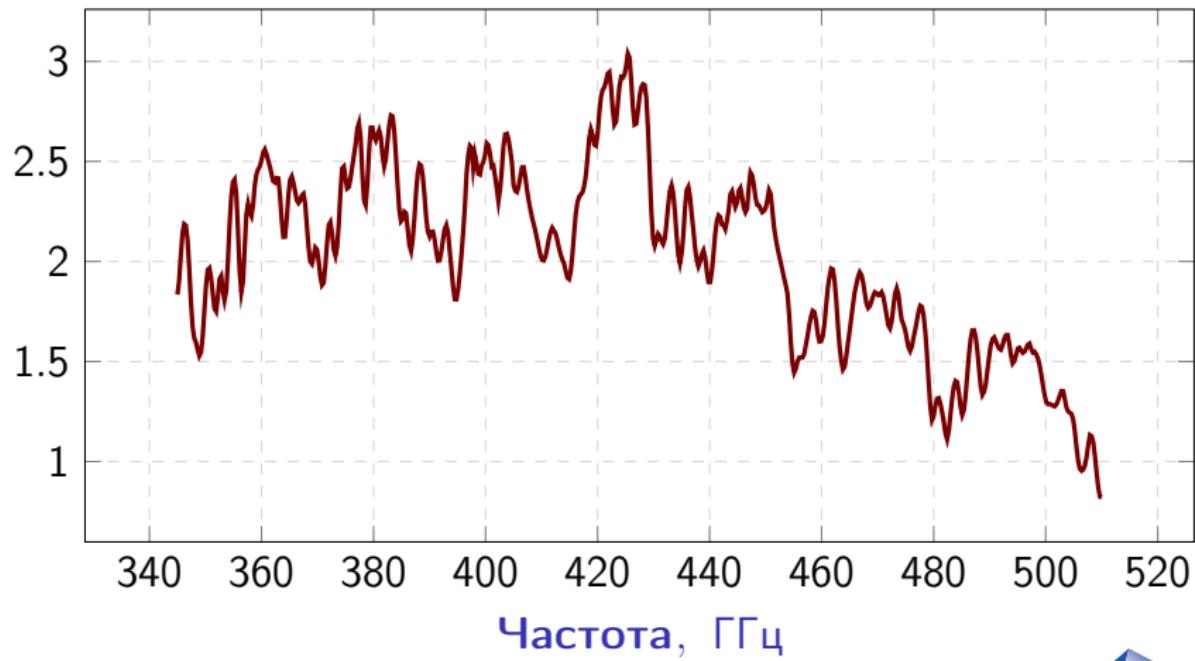


Источник: *Virginia Diodes (vadiodes.com)*



Умножитель частоты на диоде Шоттки

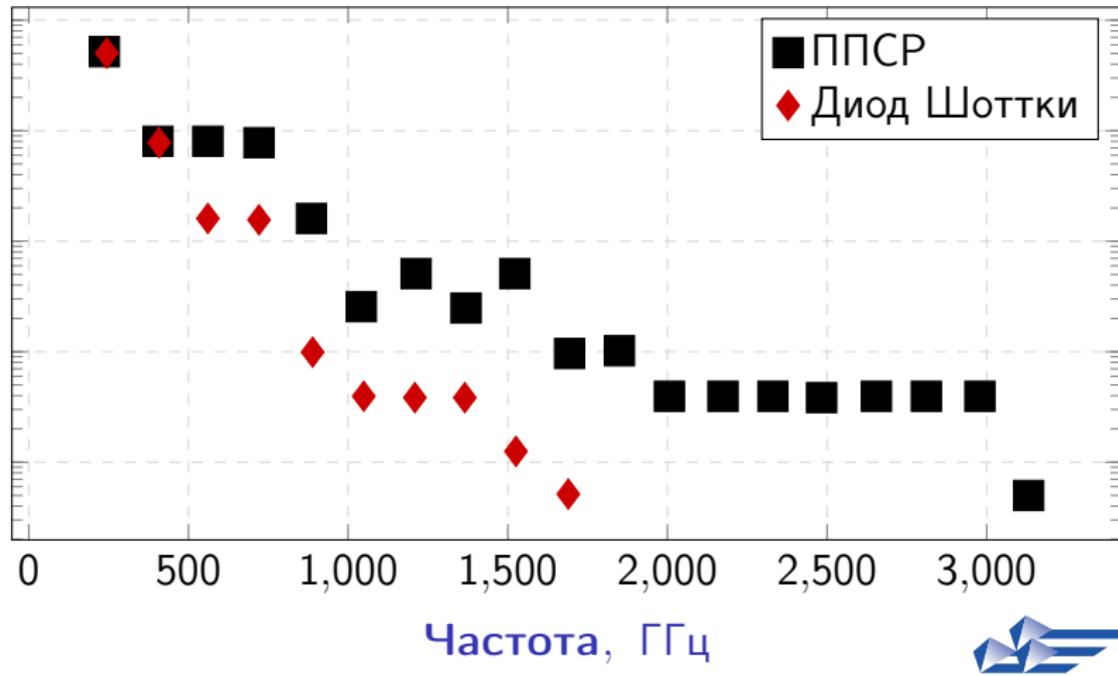
Выходная мощность, мВт



Полупроводниковые сверхрешётки

Выходная мощность, мкВт

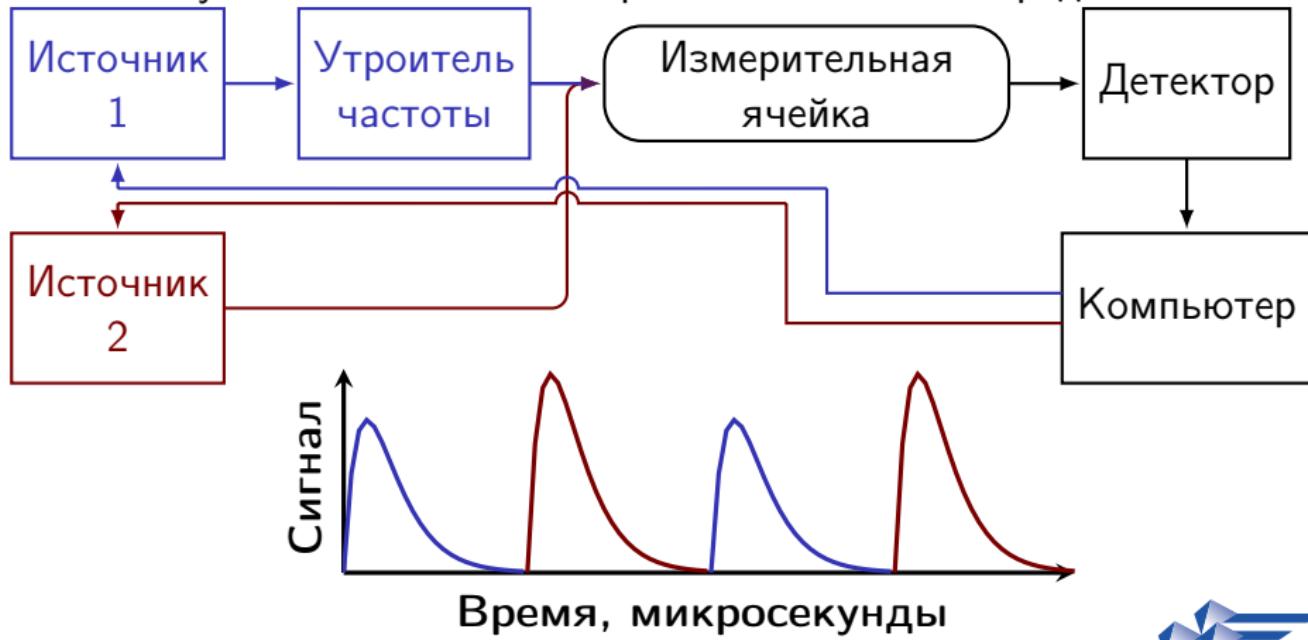
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
10⁻⁵



Двухканальный спектрометр

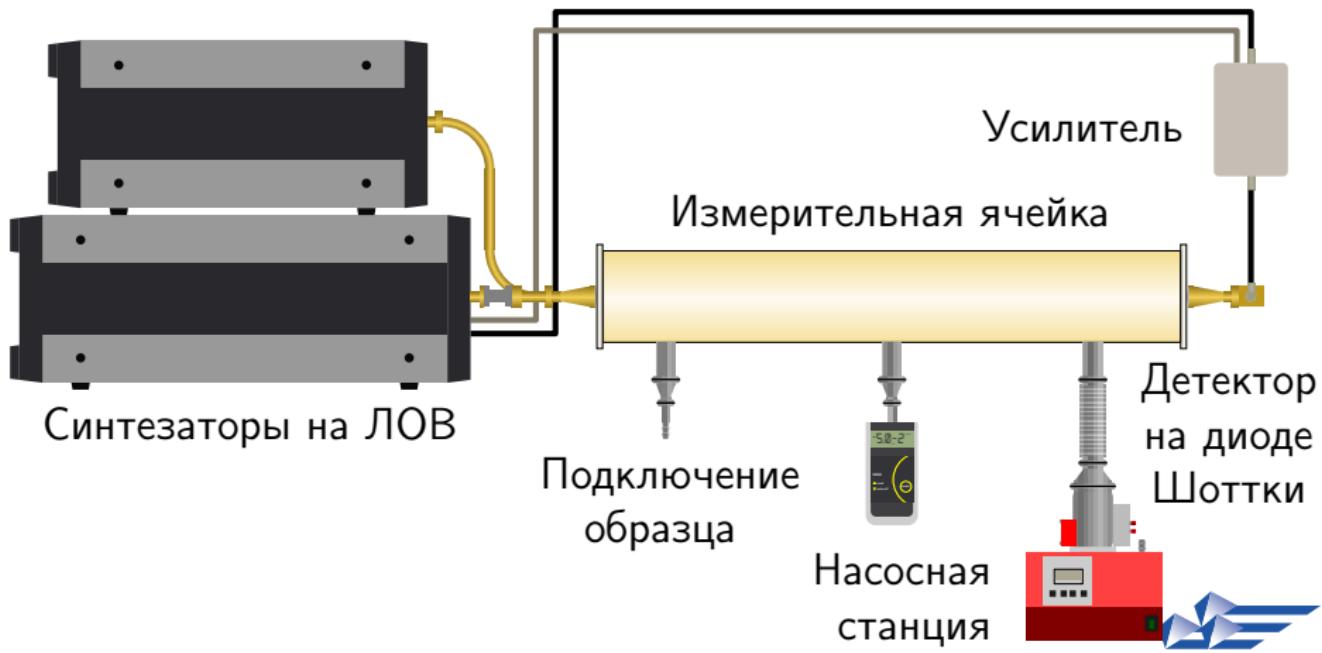
Принцип работы

Фазы излучений источников переключаются по очереди:



Двухканальный спектрометр

Внешний вид



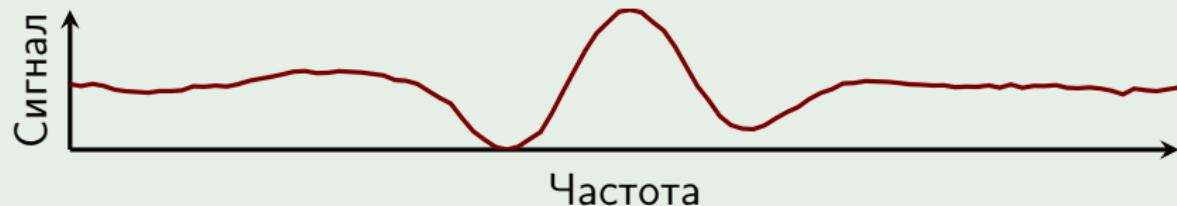
Двухканальный спектрометр

Результаты одновременных измерений

Изменение интенсивности поглощения на частоте 390 ГГц, соответствующей центру линии поглощения $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, от времени



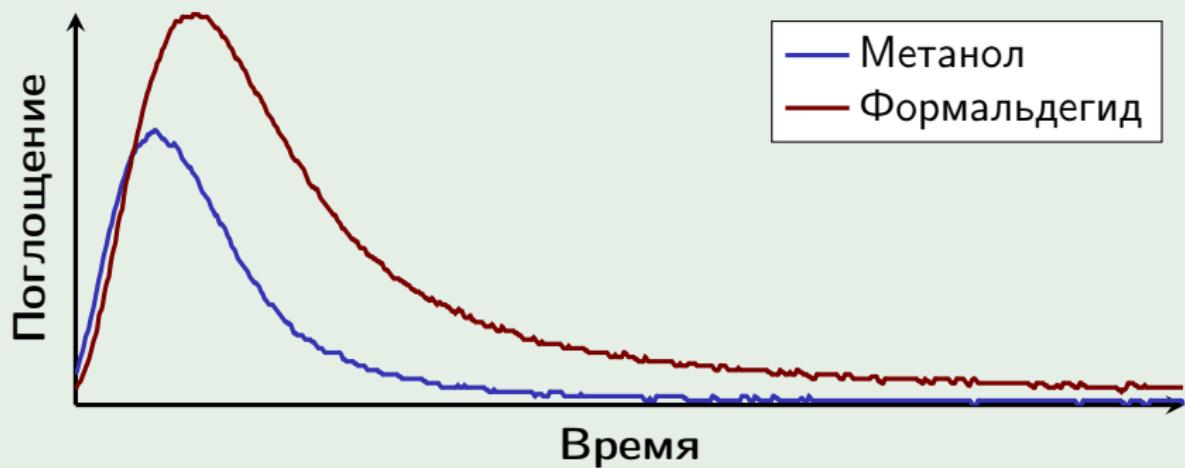
Профиль линии поглощения $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ в спектре (около 146 ГГц)



Двухканальный спектрометр

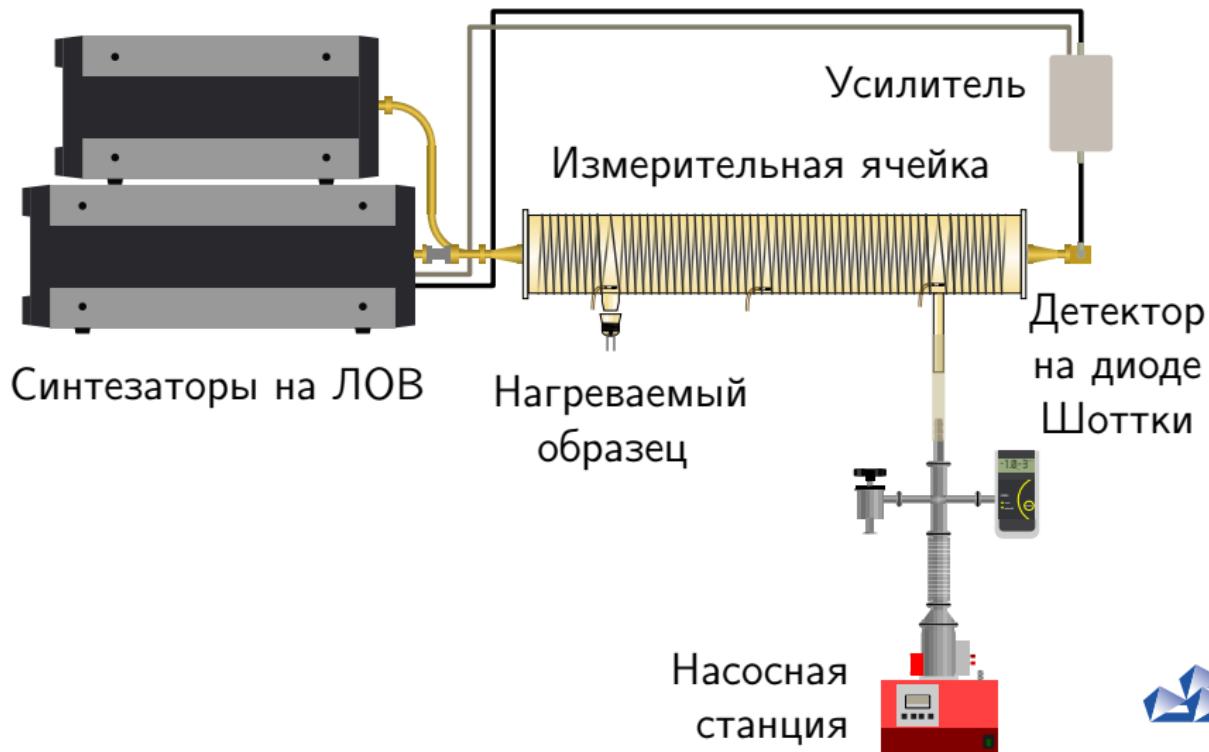
Результаты одновременных измерений

Изменение интенсивностей поглощения на частотах, соответствующих центрам линий поглощения CH_3OH и H_2CO , от времени



Двухканальный спектрометр

Практическое применение



Спасибо за внимание!



Список публикаций



A. A. Yablokov, V. A. Anfertev, L. S. Revin, V. Y. Balakirev, M. B. Chernyaeva, E. G. Domracheva, A. V. Illyuk, S. I. Pripolzin, and V. L. Vaks, "Two-Frequency THz Spectroscopy for Analytical and Dynamical Research", English, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, vol. 5, no. 5, pp. 845–851, Aug. 2015.



V. Vaks, E. Domracheva, S. Pripolzin, M. Chernyaeva, and A. Yablokov, "Multi-channel high-resolution terahertz spectrometer for analytical studies", English, *EPJ Web of Conferences*, vol. 132, Jan. 2017.



V. Vaks, V. Balakirev, M. Chernyaeva, E. Domracheva, S. Pripolzin, V. Anfertev, L. Revin, and A. Yablokov, "Using the methods of multi-frequency spectroscopy for sensing", English, in *Proceedings of An International Joint Conference of The 9th Global Symposium on Millimeter-Waves (GSMM 2016) and The 7th ESA Workshop on Millimetre-Wave Technology and Applications*, IEEE, Jun. 2016, pp. 1–4.



В. А. Анферьев, В. Ю. Балакирев, В. Л. Вакс, Е. Г. Домрачева, С. И. Приползин, Л. С. Ревин, Г. А. Соегова и А. А. Яблоков, «Развитие метода двухчастотной ТНз спектроскопии для аналитических исследований», *Журнал Радиоэлектроники*, № 2, с. 1—9, февр. 2015.



Список публикаций (часть 2)



В. Л. Вакс, Е. Г. Домрачева, В. А. Анфертьев, Л. С. Ревин, М. Б. Черняева, А. А. Яблоков и Ю. В. Шейков, «Прецизионные исследования паров энергетических материалов и продуктов их естественного и термического разложения», *Журнал Радиоэлектроники*, № 2, с. 1—9, февр. 2016.



В. Л. Вакс, Е. Г. Домрачева, Г. А. Соегова, А. А. Яблоков, Ю. В. Шейков и И. А. Лукьяненко, «Исследование кинетики термического разложения энергетических материалов с использованием спектроскопии высокого разрешения терагерцевого частотного диапазона», *Журнал Радиоэлектроники*, № 2, с. 1—11, февр. 2016.



Спасибо за внимание!

