

Повышение точности вторичного эталона частот на основе вращательного спектра молекулы сероокиси углерода (OCS)

При помощи созданного в ИПФ РАН субдоплеровского спектрометра на основе провала Лэмба достигнута рекордная точность измерений частот переходов молекул в миллиметровом – субмиллиметровом диапазонах длин волн. В частности, в 3 раза повышена точность измерений частот вращательных переходов молекулы OCS. В результате анализа экспериментальных данных частоты всех переходов ниже 500 ГГц определены с относительной точностью лучше $3 \cdot 10^{-10}$. Это делает измеренный спектр лучшим вторичным эталоном при высокоточных лабораторных и радиоастрономических измерениях.

Знание точных частот спектральных линий молекул несет важную информацию прежде всего о строении самих молекул, позволяет рассчитывать их геометрию, сравнивать теоретические модели с результатами измерений. На основе доплеровских сдвигов в линиях молекул мы измеряем скорости движений. Благодаря радиоастрономии, – узнаем о движениях в областях звездообразования, определяем скорости на космологических масштабах и даже проверяем фундаментальность констант. Все это опирается на высокоточные измерения. Наиболее точные измерения используются также как калибровочные при спектральных лабораторных исследованиях других молекул.

Метод провала Лэмба позволяет при комнатной температуре получать на центре линий нелинейные резонансы, ширина которых на порядки уже доплеровской. Соответственно, повышаются разрешение и точность спектрометра.

Типичная запись формы провала Лэмба на второй гармонике частоты модуляции для вращательного перехода молекулы OCS приведена на Рис.1. Доплеровская ширина линии при тех же условиях равна 173 кГц. С целью повышения точности измерений частот спектральных линий методом провала Лэмба и исследования причин, которые её ограничивают, проведено большое количество измерений вращательных переходов молекулы OCS в диапазоне 48 – 522 ГГц при различных условиях. В результате исследований разработана методика, позволившая повысить точность измерений примерно в три раза по сравнению с достигнутой нами на аналогичной установке в Германии. Абсолютную величину погрешности измерений частот линий удалось снизить до 400 Гц. Достигнутая точность для указанного диапазона частот является рекордной.

Рассчитанные нами частоты вращательных переходов представляют большой интерес в качестве калибровочного эталона при измерениях частот линий других молекул. Благодаря отсутствию обнаружимого сдвига линий давлением, высокой плотности вращательных переходов, следующих с периодом в 12 ГГц, и большой интенсивности линий вследствие относительно большого дипольного момента ($0.715 D$), вращательный спектр молекулы OCS является одним из лучших калибровочных эталонов частот при высокоточных радиоастрономических и лабораторных измерениях. Спектр молекулы OCS, рассчитанный на основе наших экспериментальных данных, имеет относительную погрешность $\Delta\nu/\nu=3 \cdot 10^{-10}$ и позволяет измерять скорости движений молекул в космосе с точностью до 10 см/с.

*А.В. Лапинов, д.ф-м.н., зав.лабораторией
миллиметровой радиоастрономии*

Публикации

1. Голубятников Г.Ю., Белов С.П., Лапинов А.В. “О точности измерений частот спектральных линий на примере исследования вращательных переходов молекулы $^{16}O^{12}C^{32}S$ в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн” 2015, Изв.ВУЗов. Радиофизика. т.58, №.8, с.691-701.

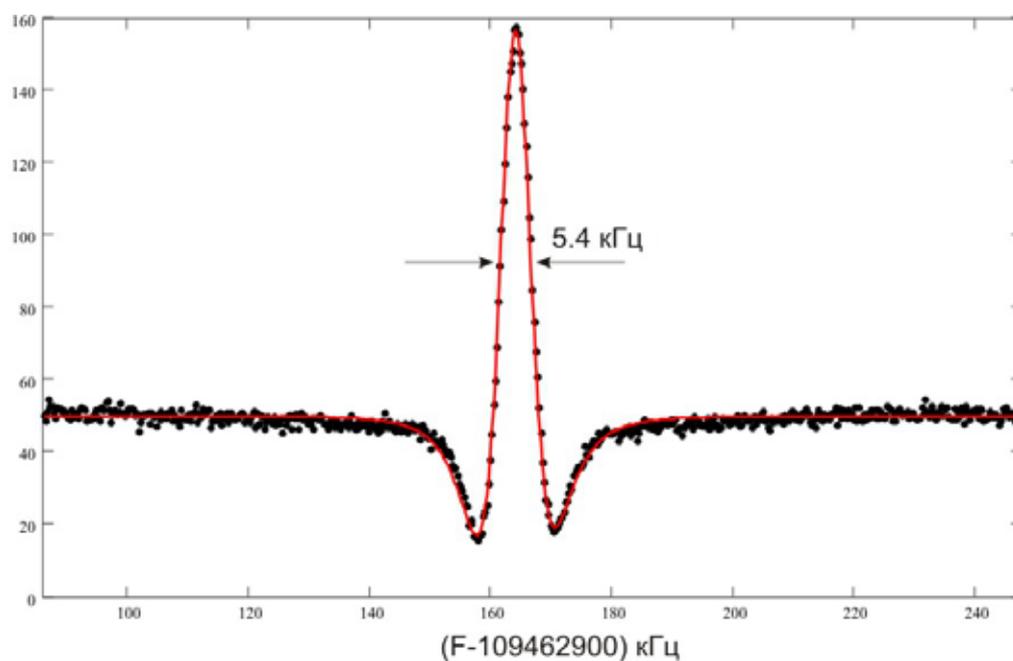


Рис.1. Запись провала Лэмба на вращательном переходе $J=9-8$ молекулы OCS. Частота центра линии равна $109463063.870(30)$ кГц, с погрешностью $1\sigma = 30$ Гц. Доплеровская ширина линии - 173 кГц.



Рис. 2 Внешний вид субдоплеровского спектрометра мм и суб-мм диапазонов длин волн на основе провала Лэмба, созданного в ИПФ РАН