

ОБ ИЗМЕРЕНИИ АБСОЛЮТНОЙ ЧАСТОТЫ He - Ne/CH₄-ЛАЗЕРА

С.Н.Багаев, В.М.Клементьев, В.П.Чеботаев

Даются результаты абсолютных измерений частоты $F_2^{(2)}$ перехода метана, выполненных с интервалом в два года. Выполнены также измерения разности частот переходов $F_2^{(2)}$ и E метана.

1. К настоящему времени наиболее точные измерения абсолютных частот колебательно-вращательных переходов молекул были выполнены рядом групп с помощью He - Ne/CH₄-лазера на $\lambda = 3,39$ мкм (см. таблицу). Недавно в ¹ было сообщено, что измеренные в 1985 г. значения частот переходов $F_2^{(2)}$ и E -линий поглощения метана ($\nu_F^{85} = 88376181595,7 \pm \pm 0,5$ кГц и $\nu_E^{85} = 88373149029 \pm 0,07$ кГц) отличаются от значений, полученных в 1981 г: $\nu_F^{81} = 88376181600 \pm 0,5$ кГц ^{2 1)}, $\nu_E^{81} = 88373149033,3 \pm 1,7$ кГц ³. Частота E -линии метана находилась вычитанием из измеренного значения частоты $F_2^{(2)}$ -линии ($\nu_E^{81} = = 88376181603,4 \pm 1,4$ кГц) ² независимо измеренной разности частот между $F_2^{(2)}$ - и E -линиями поглощения ³ ($\Delta\nu_{F-E}^{81} = 3032570,4 \pm 1,4$ кГц) ²⁾.

Переход метана	ν_{CH_4} , кГц	Год	Лит-ра
Линия $F_2^{(2)}$	$88376181618 \pm 13,8$	1980	7
	$616 \pm 3,0$	1980	8
	$603,0 \pm 3,0$	1981	4
	$612 \pm 11,0$	1981	9
	$603,4 \pm 1,4$	1981	2
	$602,9 \pm 1,2$	1983	5
	$600,0 \pm 3,4$	1985	10
	$603,4 \pm 7,0$	1985	11

Авторы ¹ предположили, что наблюдаемый сдвиг частот может быть обусловлен изменением во времени фундаментальных констант, которое приводит к различным изменениям частот электронного и колебательно-вращательного переходов. Вывод такого фундаментального характера на основании измерения ухода частоты одного лазера нуждается в подтверждении. В этой статье сообщается о результатах более детальной обработки наших абсолютных измерений частот $F_2^{(2)}$ перехода метана, которые проводились в 1981 и 1983 годах ^{4, 5}. Как и в ² мы провели анализ не только для среднеквадратичной ошибки измерений σ , но и для дисперсии среднего значения частоты σ . Мы сообщаем также об измерениях разности частот между $F_2^{(2)}$ и E -линиями поглощения метана. Помимо самостоятельного научного и практического значения эти измерения можно использовать для проверки независимых измерений частот $F_2^{(2)}$ - и E -линий, так как величина разности частот этих линий не должна меняться во времени.

2. Измерения частоты He-Ne-лазера, стабилизированного по $F_2^{(2)}$ -линии поглощения метана (He - Ne/CH₄ ($F_2^{(2)}$)-лазер), проводились с использованием системы оптических часов ^{4 3)}. Методика измерений и параметры системы подробно описаны в ⁶. В 1981 году было проведено 28 серий измерений, а в 1983 году – 27 серий. Каждая серия включала 50 – 100 измерений. Измерения проводились относительно частоты Rb – стандарта, который аттестовался возимым цезиевым стандартом СНИИМ.

1) В ² указано другое значение частоты $F_2^{(2)}$ перехода метана: $\nu_F^{81} = 88376181603,4 \pm 1,4$ кГц.

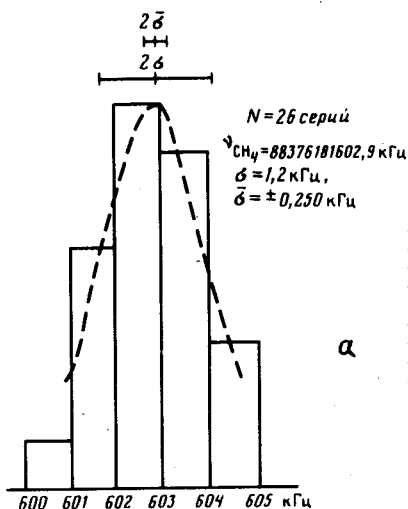
2) Строго говоря при таком способе измерения частоты E -линии наблюдаемый ее уход во времени нельзя считать как независимое измерение по отношению к сдвигу частоты $F_2^{(2)}$ -линии.

3) Частота максимума $F_2^{(2)}$ -линии поглощения сдвинута относительно максимума центральной компоненты магнитной сверхтонкой структуры этой линии на 1,8 кГц ¹⁴.

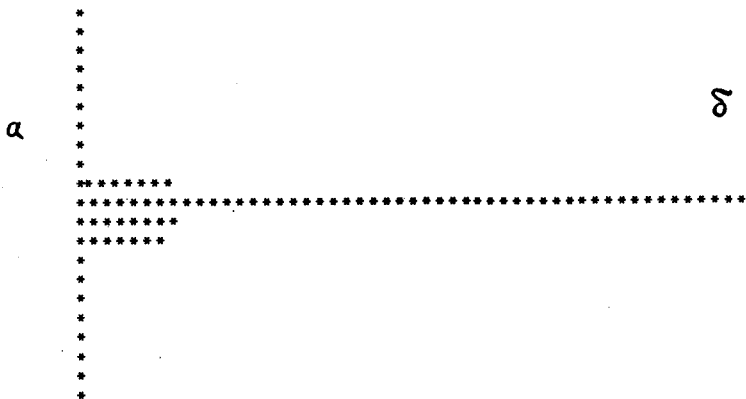
В экспериментах 1981 года среднеквадратичная ошибка измерений составила $\sigma = \pm 3$ кГц, а $\bar{\sigma} = \pm 566$ Гц. Гистограмма результатов абсолютных измерений частоты He – Ne/CH₄(F₂⁽²⁾)-лазера по сериям в 1983 г. показана на рис. а. Видно, что распределение данных близко к нормальному закону (пунктирная кривая). Величины σ и $\bar{\sigma}$ были равны $\pm 1,2$ кГц и ± 250 Гц соответственно. Отметим, что в каждой отдельной серии среднеквадратичная ошибка среднего значения частоты не превосходила 10 Гц (рис. б). Дополнительные измерения показали, что указанные случайные ошибки измерений были обусловлены характеристиками нестабильности частоты использованных рубидиевых стандартов. Из приведенных данных следует вывод о совпадении в пределах ошибки измерений значений частот F₂⁽²⁾-перехода в метане в 1981 году ($\nu_{\text{CH}_4}^{81} = 88376181603,0 \pm 0,566$ кГц) и 1983 ($\nu_{\text{CH}_4}^{83} = 88376181602,9 \pm 0,25$ Гц) годах, что не согласуется с выводами ¹. Из приведенных в ¹ новых значений абсолютных частот F₂⁽²⁾ - и E-линий поглощения метана, полученных в 1985 году, следует, что величина разности этих частот $\Delta\nu_{F-E} = 3032566 \pm 0,5$ кГц отличается от опубликованной в ³. Поэтому здесь уместно привести результаты наших измерений разности частот F₂⁽²⁾ - и E-компонент линии поглощения метана ¹²:

$$\Delta\nu_{F-E} = 3032571670 \pm 30 \text{ Гц,}$$

Это значение близко к результатам работы ³ и согласуется со значением $\Delta\nu_{F-E}$, полученным из данных наших независимых измерений абсолютных частот F₂⁽²⁾ - и E-линий поглощения метана ⁵.



Серия 1	Дисперсия	Ско	Частота
	141.8114	11.908	83506.57
Оптическая частота F + равна 88376181603075.3 Гц			
Число изм., вышедших за диап. равно			35
Общее число изм. равно			100
Ширина дифф. коридора равна			10.0 Гц



а – Гистограмма результатов абсолютных измерений частоты He – Ne/CH₄-лазера в 1983 году по сериям; б – типичная гистограмма результатов измерений частоты He – Ne/CH₄-лазера одной серии

3. В ¹ авторы не проводят сравнение результатов своих измерений с данными по измерению частот He – Ne/CH₄-лазеров, полученными в других группах. Мы приводим здесь таблицу значений абсолютных частот He – Ne/CH₄-лазера, полученных за последние пять лет, используя данные ¹³ и результаты работы ¹¹. Сравнение результатов измерений различных групп не подтверждает вывод об изменении частоты He – Ne/CH₄ (F₂⁽²⁾)-лазера во времени. Наиболее точные абсолютные измерения частоты этого лазера, проведенные после 1980 года, дают среднее значение $\bar{\nu}_{\text{CH}_4} = 88376181602,3 \pm 0,8$ кГц ¹³.

Анализ выполненных к настоящему времени абсолютных измерений частоты $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера не позволяет пока сделать вывод о наблюдении относительных временных сдвигов частот электронных и колебательно-вращательных переходов. Наблюдаемые в ¹ большие сдвиги обусловлены, по нашему мнению, техническими причинами уходов частот в используемых стандартах. Окончательное решение этого вопроса потребует применений стандартов с лучшими точностными характеристиками (10^{-13}). По-видимому, это уже можно сделать в ближайшее время. Кроме того заслуживает внимание сравнение частот лазеров, стабилизируемых по электронным и колебательно-вращательным переходам, частоты которых лежат в одной области спектра. Это не требует применения таких сложных и уникальных систем, которые были использованы в ¹ для наблюдения сдвигов частот переходов во времени.

Литература

1. Домнин Ю.С., Малимон А.Н., Татаренков В.М., Шумяцкий П.С. Письма в ЖЭТФ, 1986, 43, 167.
2. Домнин Ю.С., Кошелевский М.Б., Татаренков В.М., Шумяцкий П.С. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 175.
3. Домнин Ю.С., Кошелевский Н.Б., Малышев Ю.Н., Расторгуев Ю.Г., Татаренков В.М., Попов А.Н. ВНИИФТРИ, Метрология в радиоэлектронике (тезисы доклада), М., 1981, 52.
4. Chebotayev V.P. J. Phys. (Paris). Colloque C8 Supplement, 1981, 42, C8-505.
5. Захарьяш В.Ф., Клементьев В.М., Никитин М.В., Тимченко Б.А., Чеботаяев В.П. ЖТФ, 1983, 53, 2241.
6. Багаев С.Н., Гольдорт В.Г., Борисов Б.Д. и др. Оптический стандарт времени. Препринт 78-82, Новосибирск, 1982, 41 с.
7. Clairon A., Dahmini B., Rutman J. IEEE Trans. Instrum. Meas., 1980, 1M-29, 268.
8. Knight D.J.E., Edwards G.J., Pearce P.R., Cross N.R. IEEE Trans. Instrum. Meas., 1980, 1M-29, 257.
9. Laboratoire Primaire du Temps et des Frequences (France). Rappt. d'Activite, 1981, p. 24.
10. Clairon A., Dahmani B., Fllimon A., Rutman J. IEEE Trans. Instrum. Meas., 1985, 1M-34, 265.
11. Spring P.S., Weiss C., Opt. Comm., 1985, 54, 299.
12. Багаев С.Н., Мальцев С.В. Оптические стандарты частоты и времени. Сб. трудов. Новосибирск, 1985, с. 82.
13. Knight D.J.E. Metrologia, 1986, 22, 251.
14. Багаев С.Н., Дмитриев А.К., Дычков А.С., Чеботаяев В.П. ЖЭТФ, 1980, 79, 1160.

Институт теплофизики
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
4 декабря 1986 г.