

К ВОПРОСУ О ПОСТОЯНСТВЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ КОНСТАНТ

Ю.С.Домнин, А.Н.Малимон, В.М.Татаренков, П.С.Щумяцкий

Сообщается об экспериментально обнаруженном изменении во времени отношения частот квантовых стандартов оптического и радиодиапазонов. По отношению к частоте эталонного перехода атома Cs частоты He – Ne/CH₄ лазеров, стабилизированных по F_2^2 и E компонентам метана, за 4 года 8 месяцев понизились на $4,7 \pm 0,7$ и $4,3 \pm 1,7$ кГц соответственно. В качестве возможной причины обсуждается гипотеза об изменении во времени фундаментальных констант.

Со времени появления идеи Дирака¹ о возможном непостоянстве фундаментальных констант был предложен ряд экспериментов по проверке этой идеи. Мы выполнили обсуждае-

мый в ^{2, 3} эксперимент по измерению отношения частот квантовых стандартов, базирующихся на квантовых переходах различной природы.

В апреле 1981 г. и декабре 1985 г. нами были выполнены наиболее точные абсолютные (т. е. по отношению к эталонному сверхтонкому переходу в атоме Cs) измерения частот инфракрасных He – Ne/CH₄-лазеров, стабилизированных по F_2^2 и E компонентам колебательно-вращательного перехода $\nu_3 P(7)$ метана ⁴. Отношение частот ν_{Cs} и ν_{CH_4} пропорционально комбинации фундаментальных констант

$$\frac{\nu_{Cs}}{\nu_{CH_4}} \propto g_I \alpha^2 \left(\frac{m_e}{m_p} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где g_I – гиромагнитное отношение протона, $\alpha = e^2/\hbar c$ – постоянная тонкой структуры, m_e и m_p – массы электрона и протона соответственно ⁵.

В 1981 г. непосредственно измерялся по отношению к эталонному переходу атома Cs перевозимый He – Ne/CH₄-лазер на F_2^2 -компоненте, который обладал воспроизводимостью частоты $\sim 1 \cdot 10^{-11}$. Частота этого лазера на момент измерений составила $88\,376\,181\,600,4 \pm 0,5$ кГц. С помощью этого лазера была измерена частота стационарного He – Ne/CH₄ стандарта на E -компоненте метана ⁶, который обладает воспроизводимостью частоты перехода $\sim 5 \cdot 10^{-13}$ ⁷. Частота этого стандарта оказалась равной $88\,373\,149\,033,3 \pm 1,7$ кГц. Детальное описание этих измерений и ограничивающих факторов приведено в работах ^{4, 6}.

В декабре 1985 г. были выполнены повторные измерения частот тех же самых He – Ne/CH₄-лазеров. Эти измерения показали, что частоты лазеров на F_2^2 и E компонентах соответственно равны $88\,376\,181\,595,7 \pm 0,5$ кГц и $88\,373\,149\,029,00 \pm 0,07$ кГц. Таким образом эксперимент показывает, что за 4 года 8 месяцев частота лазера на F_2^2 -компоненте понизилась на $4,7 \pm 0,7$ кГц и на E -компоненте на $4,3 \pm 1,7$ кГц.

Частотно-измерительная установка 1985 года по своей структуре существенно не отличалась от установки 1981 года ⁴, но значительно превосходила ее по точности и надежности. В течение двух недель было проведено 3 серии измерений. Каждая серия содержала около 500 отсчетов с временем усреднения 10 с. Во всех сериях измерений дисперсия σ составляла ~ 100 Гц.

В измерениях 1985 г. использовался и вновь разработанный перевозимый He – Ne/CH₄-лазер на F_2^2 -компоненте с улучшенными точностными характеристиками. Воспроизводимость частоты этого лазера в течение года составляет около $1 \cdot 10^{-12}$. В процессе измерений контролировалась разность частот старого и нового лазеров. Частота нового лазера равна $88\,376\,181\,602,15 \pm 0,06$ кГц. Этот лазер и лазер на E -компоненте будут выполнять роль хранителей частоты для последующих измерений.

Проверка измерительной цепи и анализ ее работы в 1985 г. не выявили каких-либо источников систематических погрешностей, которыми можно было бы объяснить обнаруженный сдвиг частот оптических стандартов.

Одной из возможных причин обнаруженного сдвига частот может быть изменение во времени комбинации констант (1). Из астрофизических измерений в работе ⁸ получено, что изменение комбинации тех же констант K :

$$K = g_I \alpha^2 \frac{m_e}{m_p} \quad (2)$$

не превышает $2 \cdot 10^{-14}$ /год. Выражение (2) отличается от (1) множителем $(m_e/m_p)^{1/2}$. Если (2) постоянно, то изменение (1) может быть вызвано изменением отношения m_e/m_p .

Мы готовимся к новому измерению примерно через год, чтобы получить более точные и надежные данные. За год возможный эффект изменения частоты He – Ne/CH₄-лазеров в соответствии с полученными нами результатами составит ~ 1 кГц, а ошибка измерений будет снижена до ~ 50 Гц.

В настоящее время мы располагаем уникальным инструментом, включающим в себя высокоточные цезиевый эталон, лазерные стандарты и частотно-измерительную установку для сравнений их частот. Этот инструмент позволяет в лабораторных условиях с разрешением $1 \cdot 10^{-12}$ регистрировать возможные изменения фундаментальных констант.

В заключение мы выражаем благодарность С.Н.Овчинникову за помощь в изготовлении перевозимых He – Ne/CH₄ стандартов, Н.Б.Кошеляевскому за помощь в оснащении их системами АПЧ, А.Н.Титову за предоставление He – Ne-лазера, стабилизированного по E-компоненте метана, и Ю.М.Мальшеву и Ю.Г.Расторгуеву за помощь в проведении сличений перевозимого лазера с лазером, стабилизированным по E-компоненте метана.

Литература

1. Dirac P.A.M. Phys. Rev. Lett., 1938, A165, 199.
2. Dicke R.H. Quantum Electronics, 1960, ed. by C.H.Townes, Columbia Univ. Press, N.Y., 572.
3. Басов Н.Г., Летохов В.С. УФН, 1968, 96, 625.
4. Домнин Ю.С., Кошеляевский Н.Б., Татаренков В.М., Шумяцкий П.С. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 175.
5. Домнин Ю.С., Кошеляевский Н.Б., Татаренков В.М., Шумяцкий П.С., Компанец О.Н., Кукуджанов А.Р., Летохов В.С., Михайлов Е.Л. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 269.
6. Домнин Ю.С., Кошеляевский Н.Б., Малышев Ю.М., Расторгуев Ю.Г., Татаренков В.М., Титов А.Н. Метрология в Радиоэлектронике, Тез. докл. V. Всесоюз. научн. конф., ВНИИФТРИ, 1981, М.
7. Малышев Ю.М., Овчинников С.Н., Расторгуев Ю.Г., Татаренков В.М., Титов А.Н. Квантовая электроника, 7, 1980, 655.
8. Wolfe A.M., Brown R.L., Roberts M.S. Phys. Rev. Lett., 1976, 37, 179.

ВНИИ физико-технических
и радиотехнических измерений

Поступила в редакцию
2 января 1986 г.