

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Купалова Дмитрия Сергеевича
«Разработка и исследование спектроскопа для атомных
стандартов частоты фонтанного типа» на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности:
05.11.15 – метрология и метрологическое обеспечение.

В настоящее время стандарты частоты на атомном фонтане являются основой для построения наиболее точных эталонов частоты и времени как в нашей стране, так и за рубежом. Работы по созданию подобных устройств, функционирующих в гравитационном поле Земли, ведутся с 80-х годов двадцатого века^{1,2}. Основой рассматриваемого стандарта частоты является известный метод Рэмси³. При этом значительное увеличение добротности резонансного перехода получено увеличением времени взаимодействия щелочных атомов с резонансным СВЧ-полем, достигаемым предварительным охлаждением атомов в магнитооптической ловушке⁴ и применением движения атомов по баллистическим траекториям в поле гравитации. В общем случае стандарт частоты на атомах цезия или рубидия содержит зону приготовления ансамбля холодных атомов, зону возбуждения атомов и зону оптической регистрации резонанса Рэмси. Каждая из представленных зон оказывает значительное влияние на метрологические характеристики стандарта частоты на атомном фонтане. Накопление большего количества холодных атомов в зоне приготовления обеспечивает большее отношение сигнал/шум при регистрации резонанса. Оптимизация параметров находящегося в зоне возбуждения СВЧ-

¹ Forman P. The atomic clock from concept to commercial product // Proc. IEEE, 1985. – Vol.73. – P. 1181 – 1204.

² Kasevich M. A., Riis E., Chu S., DeVoe R. G. RF spectroscopy in an atomic fountain // Phys. Rev. Lett., 1989. – Vol. 63. – P. 612-615.

³ Ramsey N. F. A molecular beam resonance method with separated oscillating fields. Phys. Rev., 1950. – Vol. 109. – P. 695 – 699.

⁴ Clairon A., Salomon C., Guellati S., Philips W. D. Ramsey resonance in a Zacharias fountain // Europhys. Lett., 1991. – Vol. 16. – P. 165 – 170.

резонатора и правильный выбор его режима работы минимизирует затягивание частоты атомного перехода и обеспечивает стабильную его работу и удобство настройки. Так как одной из основных причин систематических сдвигов частоты в атомных фонтанах являются столкновения холодных атомов⁵, особое значение для достижения максимальных метрологических характеристик стандарта частоты на атомном фонтане имеет выбор вида рабочих атомов. Применение в атомном фонтане атомов рубидия почти на три порядка уменьшает столкновительный сдвиг в сравнении с цезиевым фонтаном⁶. Таким образом, изучение перечисленных выше факторов и разработки новых методов и конструктивных решений является актуальной задачей, обеспечивающей создание стандарта частоты на атомном фонтане с метрологическими характеристиками, соответствующими требованиям к стационарным эталонам частоты и времени.

В диссертационной работе Купалова Д.С. разработан и метрологически исследован атомный спектроскоп, применение которого в составе рубидиевого фонтана обеспечивает заданное СКДО относительной частоты хранителя единиц времени и частоты фонтанного типа, что, несомненно, является весьма важной и актуальной задачей.

Судя по автореферату в диссертационной работе произведены исследования, на основании которых получен ряд новых научных результатов, связанных с разработанным источником медленных атомов и режимами его работы, а также с конструкцией СВЧ резонатора.

Полученные результаты позволили обосновать использование в атомном спектроскопе дополнительной магнитооптической ловушки для уменьшения нестабильности хранителя единицы времени и частоты фонтанного типа на основе охлажденных атомов рубидия с целью

⁵ Gibble K., Chu S. Laser-cooled Cs frequency standard and a measurement of the frequency shift due to ultracold collisions // Phys. Rev. Lett., 1993. – Vol. 70. – P. 1771 – 1774.

⁶ Fertig Ch., Gibble K. Measurement and cancellation of the cold collision frequency shift in an 87Rb fountain clock // Phys. Rev. Lett., 2000. – Vol. 85. – P. 1622 – 1625.

достижения СКДО на уровне $(1-2) \cdot 10^{-16}$. Кроме того показано, что применение перестраиваемого СВЧ резонатора в атомном спектро스코пе делает процесс его настройки более технологичным.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. В автореферате утверждается, что частоту СВЧ резонатора необходимо «предельно точно» настроить на атомный резонанс, однако не указывается погрешность настройки.
2. Из автореферата не ясно, почему используется природная смесь изотопов рубидия, а не чистый изотоп рубидий-87 (стр. 10).
3. Из автореферата не ясно, насколько ухудшается стабильность частоты резонанса предложенного СВЧ-резонатора при изменении атмосферного давления (стр. 15-16).

Отмеченные недостатки не снижают научной ценности выполненной работы. Результаты рассматриваемой диссертации характеризуются научной и технической новизной. Основные результаты опубликованы и апробированы.

Диссертационная работа «Разработка и исследование спектроскопа для атомных стандартов частоты фонтанного типа» отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Дмитрий Сергеевич Купалов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение.

Начальник отдела АО «РИРВ»,
кандидат физико-математических наук

И. А. Кравцов

29.10.2018

печать организации



И. А. Кравцова
ред.

С. В. Баушев
С. В. БАУШЕВ