

Состояние и перспективы исследований в области оптической метрологии и квантовых стандартов частоты

М.А.Губин

Редакция «Квантовой электроники» решила опубликовать в нескольких номерах подборки статей, посвященных исследованиям и применениям квантовых стандартов частоты (КСЧ) и оптической метрологии. К последней относятся частотные измерения в области 10^{13} – 10^{15} Гц, ранее практически недоступной для калибровки в абсолютных частотных единицах (герцах), задаваемых первичным цезиевым эталоном частоты. По данной тематике ежегодно публикуются обзоры в мировой печати и проводится по 2–3 международных конференции. Предлагаемые материалы отражают в основном состояние дел в российских научных центрах.

Роль и место КСЧ в ряду других современных направлений физики широко известны, а успехи в этой области в значительной степени отражают динамизм квантовой радиофизики и ее вклад в мировую науку. Начавшись с решения практических задач авионавигации в 40–50-х годах прошлого столетия, эта тематика послужила «мотором» для целого ряда областей квантовой электроники – разнообразных перестраиваемых лазеров с узким (килогерцовым) и сверхузким (субгерцовым) спектрами излучения, прецизионной (и по разрешению и по чувствительности) лазерной спектроскопии, включая методы сверхглубокого охлаждения, удержания и манипулирования атомами и ионами, и, наконец, для удивительного по своей красоте объединения «сверхбыстрых» (фемтосекунды) процессов со сверхстабильными непрерывными режимами генерации.

Это достижение физики сверхкоротких импульсов произвело подлинную революцию в КСЧ. Впервые был создан эффективный, удобный на практике способ измерения оптических частот, т. е. «часовой механизм», способный осуществлять в одну стадию деление в 10^4 – 10^5 раз частоты видимого диапазона до частоты первичного цезиевого стандарта (9.1 ГГц). Этот шаг позволил «объединять» различные лазерные и СВЧ стандарты, отстоящие по частоте на десятки и сотни терагерц, в единую систему. Одно из преимуществ такого объединения – передача выходных параметров от одного устройства другому, что дает возможность потребителю приблизиться к «идеальному» стандарту, выбирая нужное сочетание свойств (относительная стабильность частоты, ширина спектра, повторяемость, воспроизводимость, точность).

М.А.Губин. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 53

Поступила в редакцию 15 ноября 2004 г.

Не менее плодотворно и обратное влияние «частотных» измерительных технологий на «временные» технологии, основанные на ультракоротких импульсах. Управление фазой (в частности, ее стабилизация) спектральных компонент, образуемых последовательностью таких импульсов, за счет сравнения с частотой КСЧ позволяет изменять форму импульса, обеспечивать когерентность между импульсами различных фемтосекундных лазеров, менять задержку фазы между огибающей и несущей. Все это создает качественно новые возможности использования ультракоротких импульсов в задачах нелинейной оптики сверхсильных полей, спектроскопии, метрологии, телекоммуникаций и в других применениях.

В иерархии КСЧ важную роль играют стабильные задающие генераторы, например кварцевые. Характерная стабильность частоты наиболее распространенных кварцевых генераторов, используемых в наручных часах, составляет $\sim 10^{-6}$ за сутки. В настоящее время разработана концепция (и быстро создается технология) сверхминиатюрных (объемом 1 см³), со стабильностью 10^{-11} за сутки, атомных часов на основе двухчастотных полупроводниковых лазеров и эффекта когерентного пленения населенности в парах Cs. Улучшение стабильности на пять порядков при малых габаритах таких часов позволит по-новому решать многие задачи навигации, распознавания, кодирования, а также наладить их массовое применение, например в мобильных телефонах.

Разнообразие «часовых» переходов, методов выделения узких реперных линий, требований на массогабаритные параметры и сама глобальность задачи создания «координатно-временного поля», доступного для сверхточных измерений в любой точке Земли и в космосе, определяют объективную основу широкой международной кооперации.

Предлагаемые статьи показывают, что российские исследователи вносят заметный вклад в мировую метрологию времени и частоты. Разумеется, публикуемые работы не отражают всего многообразия тематики КСЧ, поэтому здесь уместно привести ссылки на несколько обзоров последнего времени в этой области [1–4].

1. Basov N.G., Gubin M.A. *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, **6**, 857 (2000).
2. Бакланов Е.В., Покасов П.В. *Квантовая электроника*, **33**, 383 (2003).
3. Udem Th., Holzwarth R., Hänsch Th.W. *Nature*, **416**, 233 (2002).
4. Ye J., Schnatz H., Hollberg L.W. *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, **9**, 1041 (2003) и другие статьи выпуска.