

Высокостабильная оптическая волоконная линия длиной 940 км между институтами МРQ и РТВ для измерения разности геопотенциалов с помощью оптических часов

Г. Вишнякова¹, Р. Хольцварт^{2,3}, Т. Удем^{2,4}, А. Матвеев⁴, Н. Колачевский¹,
А. Куль⁵, Т. Ватерхольтер⁵, С. Коке⁵, Г. Гроше⁵

¹Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН, г. Москва, Россия

²Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ), г. Гархинг, г. Мюнхен, Германия

³Menlo Systems GmbH, г. Мартинсрид, г. Мюнхен, Германия

⁴Ludwig-Maximilians-Universitaet, г. Мюнхен, Германия

⁵Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), г. Брауншвайг, Германия

e-mail: gulnarav7@gmail.com

Длинные оптоволоконные линии с системой активной компенсации фазовых шумов позволяют передавать ультрастабильные высокоточные сигналы частоты и времени между удалёнными институтами [1,2]. В докладе я расскажу о новой линии длиной 940 км, связывающей институты Physikalisch-Technische Bundesanstalt (РТВ) в г. Брауншвайг и Max-Planck-Institut für Quantenoptik (МРQ) в г. Гархинг, г. Мюнхен в Германии («западная» линия, рис. 1(а)). Линия оснащена четырьмя Бриллюэновскими усилителями и одним эрбиевым волоконно-оптическим усилителем для компенсации затухания сигнала, которое составляет 0,23 дБ/км на длине волны 1,5 мкм.

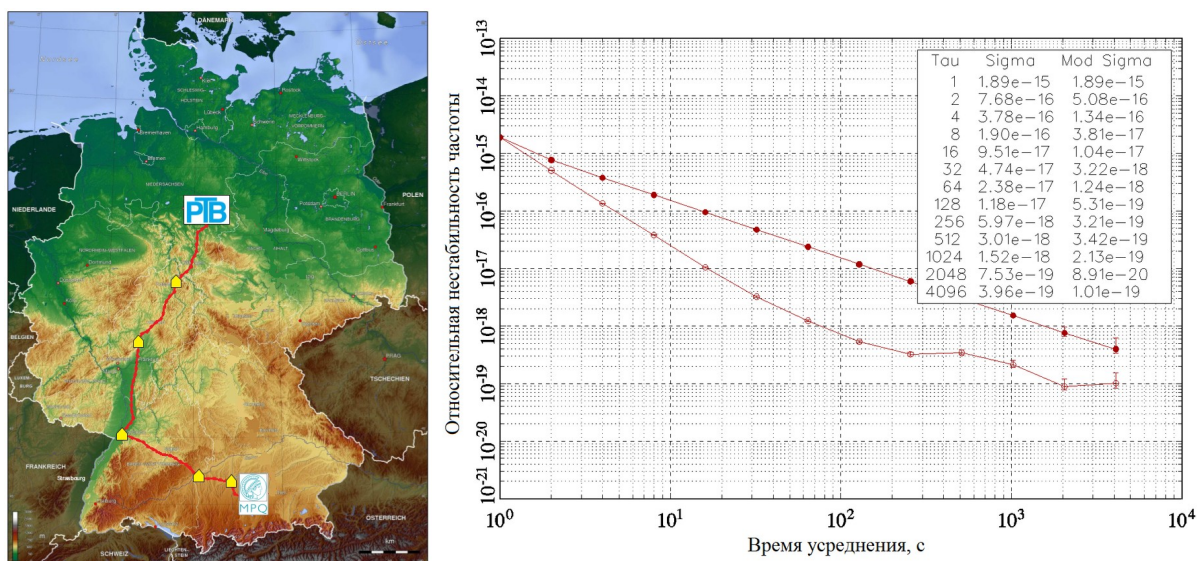


Рис.1. (а) Схематичное изображение оптоволоконной линии для передачи частоты между институтами МРQ и РТВ. Жёлтым обозначены оптические усилители. (б) Зависимость относительной нестабильности частоты от времени усреднения. Сплошные маркеры – стандартная девиация Аллана, пустые маркеры – модифицированная девиация Аллана.

Данная линия может быть использована для прецизионных измерений частот переходов в атоме водорода в институте МРQ относительно оптических стандартов частоты в РТВ [3]. Длинные

оптоволоконные линии могут иметь ещё одно интересное применение. При условии, что волоконная линия ограничивает собой некоторую площадь, то есть, в нашем случае, при использовании двух («западной» и «восточной») линий, может быть измерен эффект Саньяка, вызванный вращением Земли. Наибольший интерес в этом случае будут представлять вариации величины, вызываемые различными гео- и сейсмо- эффектами [4,5].

Система компенсации фазовых шумов в оптоволокне позволяет уменьшить вклад в относительную нестабильность передаваемого сигнала более чем на порядок (с $4 \cdot 10^{-14}$ до $2 \cdot 10^{-15}$) на времени усреднения 1 с и на четыре порядка (с $4 \cdot 10^{-15}$ до $4 \cdot 10^{-19}$) на времени усреднения 4000 с (см. рис. 1(б)) по сравнению с передачей по волокну без системы компенсации. Вклад в неточность передаваемого сигнала не превышает $1,3 \cdot 10^{-19}$ после 4000 с усреднения. Таким образом, стабилизированная волоконная линия может быть использована для измерения разности геопотенциалов с помощью оптических стандартов частоты или для сличения таких стандартов [6-8].

Была осуществлена измерительная кампания длительностью несколько недель по сличению транспортируемого стандарта частоты на атомах стронция, созданного в РТВ и привезённого для этой цели в МРQ, со стационарными стандартами в РТВ на атомах стронция и ионе иттербия. Разность гравитационного поля между институтами измерена классическим методом нивелирования и составляет $3922,2(4) \text{ м}^2/\text{с}^2$, что соответствует относительному сдвигу частоты порядка $4 \cdot 10^{-14}$. Результаты измерения находятся в обработке.

- [1] G. Grosche et al., Optics Letters 34 (15), 2270 (2009).
- [2] S. Droste et al., Physical Review Letters 111, 110801 (2013).
- [3] A. Matveev et al., Phys. Rev. Lett. 110, 230801 (2013).
- [4] J. Salvermoser et al., Seismological Research Letters 88 (3), 935 (2017).
- [5] C. Clivati et al., Optics Letters 38 (7), 1092 (2013).
- [6] J. Grotti et al., Nature Physics 14, 437 (2018).
- [7] M. Vermeer, Geodeettinen Laitos, Geodetiska Institutet (1983).
- [8] T. E. Mehlstaebler et al., Rep. Prog. Phys. 81, 064401 (2018).