

А.А.Подвязный (5 курс, каф. КЭ), В.В.Семенов, д.ф.-м.н., проф.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРЕЗОНАНСНОГО СВЕТОВОГО СДВИГА ЧАСТОТЫ НА СВЕРХТОНКИХ ПЕРЕХОДАХ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ АТОМОВ

ABSTRACT: Nonresonant light shifts of frequency of hyperfine transitions in optically pumped alkali elements vapours are considered. Such analysis previously was realized mainly for Rb. Analogous researches of light shifts for Cs and K, their applications to atomic clocks and their difference from similar light shifts in Rb vapours are discussed.

В технике квантовой стабилизации частоты устройства с оптической накачкой выделяются целым рядом достоинств (например, малый вес и габариты, низкая потребляемая мощность и, сравнительно, невысокая стоимость), которые обуславливают предпочтительное их использование в жестких эксплуатационных условиях, например, на подвижных носителях в составе бортовой аппаратуры. При этом растущие требования к стабильности и воспроизводимости квантовых эталонов частоты с оптической накачкой сталкиваются с центральной проблемой таких приборов – проблемой минимизации погрешностей измерений, вызванных световыми сдвигами частоты рабочего сверхтонкого перехода, зависящими от интенсивности и спектрального распределения света накачки.

Уменьшить световой сдвиг можно повышением давления буферного газа в рабочей ячейке. Однако, этот способ имеет существенный недостаток, связанный с возрастанием роли буферного газа в сдвигах резонансной частоты эталонного перехода, что находится в противоречии с рекомендациями последних Всесоюзных конференций по вопросам стабилизации частоты.

Многочисленные варианты импульсной и зонной накачки [1] позволяют примерно на порядок снизить уровень погрешностей, связанных со световыми сдвигами. Однако сложность электронного оборудования и сравнительно низкое отношение сигнал/шум в этих вариантах не позволили реализовать их широкое применение в промышленности.

В недавних публикациях, посвященных теме квантовой стабилизации частоты, появились сообщения о возможности использования многофотонных магнитонезависимых переходов, где световой сдвиг удастся скомпенсировать путем варьирования тензорной компоненты, связанной с эффектом выстраивания атомов щелочного металла под действием света накачки. Объектом этих публикаций являлись изотопы рубидия, традиционно используемые в квантовых стандартах частоты с оптической накачкой. В настоящей работе аналитически исследованы световые сдвиги для широкого класса щелочных атомов (паров калия, цезия и рубидия), и проведено их сопоставление при оптической накачке D_1 и D_2 линиями головного дублета лампового спектрального источника.

Как явствует из работы [6] в случае оптической накачки паров рубидия D_1 линией головного дуплета скалярная и тензорная компоненты светового сдвига имеют разный знак и соизмеримы по величине, что дает возможность управлять положением точки нулевого сдвига частоты, изменяя величину угла θ между направлением внешнего магнитного поля и лучом света накачки. Как известно, ориентационная зависимость тензорной компоненты светового сдвига выражается через множитель $(3\cos^2\theta - 1)$, из которого следует, что при $\theta \approx 55^\circ$ происходит обнуление этой составляющей светового сдвига. Если учесть, что при высоких температурах ячейки фильтра и $\theta = 0$ величина скалярного светового сдвига меньше тензорной компоненты, взаимная компенсация компонент светового сдвига при $\theta \neq 0$ происходит в области температур ячейки-фильтра, соответствующей максимуму фактора качества квантового дискриминатора (отношение сигнал/шум к ширине резонансной линии). Следствием увеличения фактора качества в

точке нулевого сдвига является повышение стабильности частот квантового дискриминатора [7].

Результаты расчета светового сдвига на сверхтонких переходах позволили оценить значение зеемановского сдвига частоты, вносимого тензорной компонентой и эффективным магнитным полем, индуцируемым циркулярно поляризованным излучением света накачки. Такие оценки были выполнены для случая резонансной и изотопической накачки в парах рубидия и калия, а также для случая резонансной оптической накачки в парах цезия. Как оказалось, при равных интегральных интенсивностях света накачки значения зеемановского сдвига частоты в указанных щелочных атомах существенно различаются как по величине, так и по характеру поведения тензорной и векторной компонент. В частности, в парах калия световой сдвиг, вносимый эффективным магнитным полем на порядок превышает тензорную компоненту, в то время как в парах цезия и рубидия обе компоненты светового сдвига оказываются соизмеримыми по абсолютной величине.

Полученные данные позволяют оптимизировать режимы оптической накачки в квантовых дискриминаторах, что дает возможность улучшить точностные и эксплуатационные характеристики подобных устройств и использовать их в различных радиотехнических системах навигации и связи бортовой аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алексеев Э. И., Базаров Е. Н., Герасимов Г. А., Губин В. П. Квантовые стандарты частоты, Обзор работ ИРЭ АН СССР. – препринт №5, 261, 1979, 79с.
2. В. В. Григорянц, М. Е. Жаботинский, В. Ф. Золин. Квантовые стандарты частоты.- М.: Наука, 1967.- 288 с.
3. Generalov M. E., Kazantsev S. A., Khutorchikov V. I. Radiation fluctuations of spectral light sources // 29th EGAS (European Group for Atomic Spectroscopy) Conference, Berlin, 1997, p. 453-454
4. W. Happer, B. S. Mathur. Phis. Rev., 163, N1 (1967) 12 – 25
5. B. S. Mathur, H. Tang, W. Happer. Phis. Rev., 171, N1 (1968) 11 – 19
6. В.В.Семенов. Световые сдвиги частоты многофотонного радиооптического СВЧ резонанса в щелочных атомах // ЖПС, v.65 , №6, стр. 832-838, 1998
7. Е. Б. Александров, А. К. Вершовский, Н. Н. Якобсон. ЖТФ. 59, вып. 1 (1989) 118–124