

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВЧ ДИСКРИМИНАТОРА.

Е.Б.Александров, А.К.Вершовский, Н.Н.Якобсон

Квантовые дискриминаторы, использующие переходы в сверхтонкой структуре (СТС) основного состояния щелочных атомов, являются предметом постоянного интереса из-за широкого применения этих устройств в стабилизации частоты. СВЧ дискриминаторы на 0-0 переходе в СТС обладают определенной спецификой, связанной как со структурой состояний и схемой накачки, так и процессами релаксаций, что приводит при оптимизации режимов регистрации резонанса к результатам, отличающимся от полученных для простой двухуровневой модели.

В настоящей работе исследована разрешающая способность квантового дискриминатора на 0-0 резонансе в СТС основного состояния ^{87}Rb . Получены аналитические выражения для фактора качества, определенного через естественные шумы канала регистрации - дробовый шум фототока. Эта величина является оценкой предельной разрешающей способности дискриминатора и легко измеряется экспериментально. Показано, что для фактора качества в пространстве параметров - скорость накачки (интенсивность света накачки), мощность СВЧ поля - реализуется единственный максимум. Оптимальные значения параметров однозначно определяются через физические величины тепловых скоростей релаксации населенностей и когерентности.

Аналитическое описание легко может быть построено в предположениях: 1. малости изменения распределения интенсивности света накачки в объеме кюветы с парами при возбуждении резонанса; 2. равенства термических скоростей релаксаций для всех магнитных подуровней СТС; 3. полного смещения структуры оптически возбужденных состояний. Первое всегда реализуется, и в уравнениях для матрицы плотности и света накачки, описывающих сигналы, можно перейти к величинам, средним по объему кюветы с парами Rb . Это удобно и с практической точки зрения, т.к. все измеряемые параметры сигналов являются интегралами по объему кюветы. Тогда сигнал резонанса в прошедшем свете и при равенстве продольных

и поперечных скоростей релаксаций имеет простой вид:

$$S = k \Gamma_0 (a_1 - a_2)^2 / (5a_1 + 3a_2) (5 + 2a_1/a_2 + a_2/a_1) (\Delta^2 + H^2 + (a_1 + a_2)^2/4),$$

где k - постоянная, $a_i = 1 + W_i/\Gamma_0$, W_i - скорость оптического возбуждения атомов из состояния $F = i$ ($i = 1, 2$) СТС, Γ_0 - скорость тепловой релаксации, $\Delta = \delta/\Gamma_0$, δ - расстройка частоты поля относительно резонанса, $H^2 = (a_1 + a_2) (\omega_1/\Gamma_0)^2 (5 + 2a_1/a_2 + a_2/a_1) / (5a_1 + 3a_2)$, ω_1 - частота Раби в СВЧ поле. Мощность дробовых шумов пропорциональна интенсивности света накачки и может быть выражена через величины W_i . Тогда фактор качества, нормированный на дробовый шум фототока, с точностью до постоянного множителя может быть записан в виде

$$\Phi = \chi^{3/2} (1-\lambda)^2 / \Gamma_0^{1/2} (1+\lambda)^{1/2} [2 + (1+\lambda)\chi] [8 + (5+3\lambda)\chi] [5 + 2(1+\chi)/(1+\lambda\chi) + (1+\lambda\chi)/(1+\chi)],$$

где $\chi = W_1/\Gamma_0$ - нормированная скорость накачки и $\lambda = W_2/W_1$. В последнем выражении использовано значение параметра СВЧ поля, реализующее максимум величины $\Phi - H^2 = [2 + (1+\lambda)\chi]^2/2$. При вариации скорости накачки максимум величины Φ лежит в области значений $\chi \approx 2$ и сильно смещен в область малых скоростей накачки в сравнении с двухуровневой моделью, что связано с эффектами обеднения 0-0 состояний при накачке в многоуровневой системе СТС. Эта тенденция к снижению оптимальных скоростей накачки усугубляется при неравенстве скоростей релаксаций населенностей и когерентностей, характерных для СТС резонансов из-за молекулярных уширений. Показано, что в реальных системах достижимы значения фактора качества $\Phi \approx 10^3 (\text{Гц})^{-1}$ ($\tau_u = 1\text{с}$). Обращено внимание на то, что столь высокая разрешающая способность не реализуется из-за шумов радиополя. В этих условиях целесообразно снижение интенсивности света накачки до значений, много меньших оптимальных величин. Прямое снижение интенсивности света накачки выгодно с точки зрения повышения долговременной стабильности дискриминатора, и на этом пути возможны компромиссные решения.