

09.12
©1993

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ КВАДРУПОЛЬНОГО ИМПУЛЬСНОГО МАЗЕРА

А.С.Ким

Эффекты квантового усиления, наблюдаемые в многоуровневых электронных системах [1,2], также изучались в ядерных многоуровневых квадрупольных спин-системах [3-5]. В них было показано, что в случае ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) при одночастотном воздействии невозможно получить большой коэффициент усиления; вследствие чего были прекращены в дальнейшем поиски в этом направлении.

В данной работе рассмотрены эффекты усиления, которые наблюдаются при двухчастотном импульсном воздействии на трехуровневую неэквидистантную спин-систему.

Расчет амплитуд сигналов проведен методом матрицы плотности, аналогично описанному в [6,7]. Выражение для амплитуды отклика на частоте $\omega_{m+1,m}$ (по программе на рисунке) имеет вид

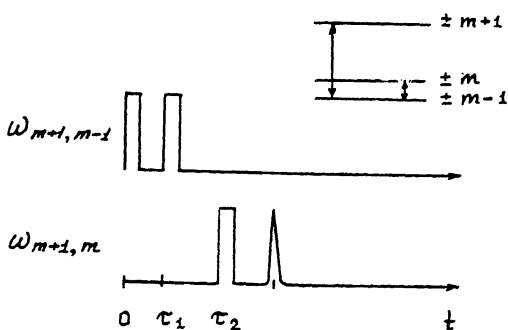
$$E_{m+1,m} = 2(I'_x)_{m+1,m} \left\{ [A(x_i, y)\omega_{m+1,m-1}] \times \right. \\ \left. \times \sin \omega_{m+1,m} \left\{ t - \left[\left(1 + \frac{\omega_{m+1,m-1}}{\omega_{m+1,m}} \right) \tau_1 + \tau_2 \right] \right\} \right\} \quad (1)$$

Сигнал наблюдается в момент времени

$$t = \left(1 + \frac{\omega_{m+1,m-1}}{\omega_{m+1,m}} \right) \tau_1 + \tau_2.$$

Здесь $(I'_x)_{m+1,m}$ — элемент оператора I_x в представлении квадрупольного гамильтониана H_q ; функция $A(x_i, y)$ является тригонометрической функцией угловых длительностей воздействующих импульсов: $\omega_{m+1,m}$ и $\omega_{m+1,m-1}$ — частоты двух возбуждаемых переходов, имеющих общий энергетический уровень; τ_1 и τ_2 — временные интервалы между импульсами; m — магнитное квантовое число.

Как видно из (1), амплитуда сигнала пропорциональна $\omega_{m+1,m-1}$, т.е. частоте заполнения первого импульса. При



Импульсная программа двухчастотного воздействия на трехуровневую систему.

одночастотном возбуждении перехода $m+1 \leftrightarrow m$ амплитуда отклика пропорциональна $\omega_{m+1, m}$ [8]. По сравнению с одночастотным методом при двухчастотном методе получено увеличение амплитуды в $\frac{\omega_{m+1, m-1}}{\omega_{m+1, m}}$ раз.

Рассмотрим два случая:

1. Когда возбуждаются два перехода одного резонирующего ядра (двухчастотный метод ЯКР).

2. Когда возбуждаются два перехода двух разных резонирующих ядер (двойной резонанс).

В первом случае нельзя получить большой (больше 10) коэффициент усиления. Это подтверждается работами [9-10].

Во втором случае можно получить значительный коэффициент усиления. Причем, это возможно при $\omega_{m+1, m} = 10^6 - 10^9$ Гц, $\omega_{m+1, m-1} = 10^{15} - 10^{16}$ Гц. В этом случае коэффициент усиления $G = 10^6 - 10^{10}$.

Как показывают многочисленные эксперименты, при одно- и двухчастотном воздействиях произведение ширины линии на корень квадратный из коэффициента усиления ($\Delta\nu_i \cdot \sqrt{G}$) является величиной постоянной для кристалла (при условии возбуждения всей линии). Таким образом, $\Delta\nu_{i(0)} \cdot \sqrt{G_{(0)}} = \Delta\nu_{i(g)} \cdot \sqrt{G_{(g)}}$. Отсюда $\Delta\nu_{i(g)} = \Delta\nu_{i(0)} \sqrt{m \frac{G_{(0)}}{G_{(g)}}}$, где "0" — одночастотное воздействие, "д" — двухчастотное воздействие.

При этом в случае ЯКР получается, что эквивалентная добротность $\nu_{\text{рез}}/\Delta\nu_i$ линии при одночастотном воздействии порядка $\leq 10^4$, а при двухчастотном воздействии — $\geq 10^5$. Двухчастотное воздействие приводит к изменению амплитуды сигнала отклика в зависимости от условий возбуждения: количества импульсов, их длительностей, време-

ни воздействия и частоты повторения импульсной последовательности.

Эффективность накачки зависит от вероятности оптического перехода, а также от направления распространения и поляризации света накачки.

Импульсный режим позволяет работать на высоких и сверхвысоких частотах и при высоких отношениях частот накачки и сигнала. При этом работа лазера происходит в течение небольшого промежутка времени, пока населенность уровней не вернется к обычному тепловому равновесному состоянию вследствие спинрешеточной релаксации.

Квадрупольные трехуровневые импульсные лазеры узкой полосой пропускания $\sim 10 - 100$ Гц) найдут применение при прецизионных измерениях давления, температуры и спектральном анализе импульсного излучения.

Аналогичное рассмотрение можно провести и для случая трехчастотного импульсного воздействия [11].

Таким образом, при двухчастотном воздействии можно создать квадрупольный импульсный лазер с предварительной оптической накачкой.

Список литературы

- [1] Басов Н.Г., Прохоров А.М. // ЖЭТФ. 1955. Т. 28. № 2. С. 249–250.
- [2] Bloembergen N. // Phys. Rev. 1958. V. 104. N 2. P. 324–327.
- [3] Braunstein R. // Phys. Rev. 1957. Vol. 107. N 4. P. 1195–1196.
- [4] Itoh J. // Journ Phys. Soc. Japan. 1957. Vol. 12. N 9. P. 1053–1056.
- [5] Donovan R.E., Vuylsteke A.A. // Journ. Appl. Phys. 1960. V. 31. N 3 P. 614–615.
- [6] Айнбиндер Н.Е., Гречишкин В.С. // Изв. Вузов. Радиофизика 1967. Т. 10. № 2. С. 186–190.
- [7] Ким А.С. // Радиоспектроскопия. Пермь. 1989. № 19. С. 153–157.
- [8] Das T.P., Saha A.K. // Phys. Rev. 1954. V. 93. N 4. P. 749–756.
- [9] Айнбиндер Н.Е., Гречишкин В.С., Осипенко А.Н., Шишкин Е.М. // ЖЭТФ. 1970. Т. 58. № 5. С. 1543–1548.
- [10] Айнбиндер Н.Е., Ажеганов А.С., Ким А.С. // Изв. вузов. Радиофизика. 1979. Т. 22. № 11. С. 1403–1405.
- [11] Ким А.С. // ФТТ. 1992. Т. 34. № 8. С. 2658–2659.

Пермский государственный университет

Поступило в Редакцию
27 апреля 1993 г.