

12

Одновременное измерение температуры и давления

© А.С. Ким

Пермский государственный университет

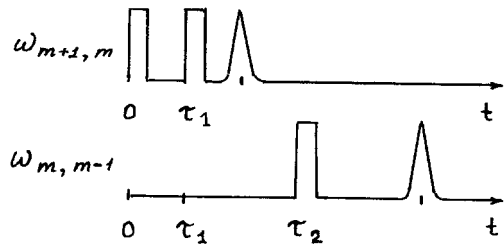
Поступило в Редакцию 19 июня 1997 г.

Теоретически экспериментально показана возможность измерения одновременно температуры и давления с использованием явления ядерного квадрупольного резонанса.

Обнаружение зависимостей частоты ядерного квадрупольного резонанса от температуры [1] и давления [2] позволило создать одночастотные методы измерения температуры [3] и давления [4] на основе ядерного квадрупольного резонанса. При этом измеряется один из параметров: температура или давление (другой параметр зафиксирован).

В данной работе теоретически и экспериментально рассмотрена возможность одновременного измерения температуры и давления. При этом для измерения этих параметров используются импульсная программа двухчастотного возбуждения сигналов спинового эха (см. рисунок), которая позволяет регистрировать сигналы на двух возбуждаемых переходах многоуровневой спин-системы, на которых существуют температурная и барическая зависимости частот ядерного квадрупольного резонанса. Выбор того или иного перехода многоуровневой спин-системы для измерения температуры или давления определяется соотношением между температурным и барическим коэффициентами частоты ядерного квадрупольного резонанса. Для измерения температуры необходимо, чтобы на одном из возбуждаемых переходов был большой температурный и малый (по сравнению с температурным) барический коэффициенты частоты ядерного квадрупольного резонанса. Для измерения давления необходимо, чтобы на другом возбуждаемом переходе был большой барический и малый температурный коэффициенты частоты ядерного квадрупольного резонанса.

Расчет амплитуд сигналов проведен методом матрицы плотности аналогично описанному [5,6]. Выражения для амплитуд откликов на



Импульсная программа двухчастотного возбуждения сигналов эха, которая используется при одновременном измерении температуры и давления.

двух возбуждаемых переходах многоуровневой спин-системы имеют вид: на частоте $\omega_{m, m-1}$

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

на частоте $\omega_{m+1, m}$

$$E_{m+1, m} = 2(I'_x)_{m+1, m} \left\{ B(x, y) \cdot \omega_{m+1, m} \cdot \sin \omega_{m+1, m} \{ t - 2\tau_1 \} \right\}. \quad (2)$$

Здесь $(I'_x)_{m, m-1}$ и $(I'_x)_{m+1, m}$ — элементы оператора I_x в представлении квадрупольного гамильтониана \mathcal{H}_Q ; функции $A(x, y)$, $B(x, y)$ являются тригонометрическими функциями угловых длительностей воздействующих импульсов; $\omega_{m, m-1}$ и $\omega_{m+1, m}$ — частоты двух возбуждаемых переходов, имеющих общий энергетический уровень; τ_1 и τ_2 — временные интервалы между импульсами; m — магнитное квантовое число.

Сигналы наблюдаются в моменты времени: на частоте $\omega_{m, m-1}$

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

и на частоте $\omega_{m+1, m}$

$$t = 2\tau_1.$$

Как видно из (1) и (2), амплитуды сигналов пропорциональны $\omega_{m+1, m}$, т. е. частоте заполнения первого импульса.

К веществам-индикаторам температуры и давления предъявляются следующие общие требования.

1. Времена поперечной и продольной релаксации на наблюдаемых переходах в широких температурном и барическом диапазонах должны быть достаточно велики (чтобы наблюдать сигналы эхо).

2. Хорошее отношение сигнал/шум в широких температурном и барическом диапазонах.

3. Удобный частотный диапазон резонирующих ядер.

4. Обе возбуждаемые линии не должны перекрываться при изменении температуры и давления.

5. Высокие эквивалентные добротности наблюдаемых линий $Q_{\text{эКВ}} = \nu_i / \Delta\nu_i$, где ν_i — резонансная частота наблюдаемого перехода, а $\Delta\nu_i$ — ширина этой линии.

Эксперимент проведен на двухчастотном импульсном спектрометре ядерного квадрупольного резонанса [7]. В качестве образца использовался поликристаллический SbCl_3 (резонанс ядер ^{123}Sb , $J = 7/2$). Для измерения температуры использовалась зависимость частоты ядерного квадрупольного резонанса от температуры перехода $3/2-5/2$, а для измерения давления — зависимость частоты ядерного квадрупольного резонанса от давления перехода $1/2-3/2$. В диапазоне температур 77–300 К и давлений 1–400 kg/cm^2 температурный коэффициент частоты ядерного квадрупольного резонанса на переходе $3/2-5/2$ равен -6.3 kHz/grad и барический коэффициент частоты ядерного квадрупольного резонанса на переходе $1/2-3/2$ равен 75 Hz/kg/cm^2 . Частоты сигналов ядерного квадрупольного резонанса, измеренные на двух этих переходах при обычных условиях, равны: $\nu_1 = 37.478 \text{ MHz}$ и $\nu_2 = 67.754 \text{ MHz}$. Им соответствуют следующие параметры: $T = 300 \text{ K}$ и $P = 1 \text{ kg/cm}^2$. Аналогично могут быть измерены другие значения температуры и давления.

Таким образом, использование двухчастотного импульсного метода ядерного квадрупольного резонанса позволяет одновременно измерять температуру и давление. Точность измерения этих параметров зависит от частот возбуждения многоуровневой спин-системы, температурного и барического коэффициентов частот, ширин наблюдаемых сигналов, а также условий возбуждения спин-системы.

Список литературы

- [1] *Dehmelt H.G., Kruger H. // Z. Physik. 1951. V. 129. N 4. P. 401–415.*
- [2] *Kushida T., Benedek G.B., Bloembergen N. // Phys. Rev. 1956. V. 104. N 5. P. 1364–1377.*
- [3] *Vanier J. // Metrologia. 1965. V. 1. N 4. P. 135–140.*
- [4] *Балашов Д.Б., Ихенов Д.А. // ФТТ. 1974. Т. 16. В. 4. С. 1213–1215.*
- [5] *Айнбиндер Н.Е., Гречишкин В.С. // Изв. вузов. Радиофизика. 1967. Т. 10. В. 2. С. 186–190.*
- [6] *Ким А.С. // Радиоспектроскопия. Пермь, 1989. № 19. С. 153–157.*
- [7] *Ким А.С. // А.с. СССР. № 1132207. 1984.*