

1535.37+537.635](048)

**Е. Б. Александров, В. С. Запасский.** Магнитный резонанс в шумах интенсивности рассеянного света. Спектроскопия флуктуации рассеянного света как метод изучения структурных и динамических свойств макромолекулярных систем базируется на классической теории рассеяния света и не встречает принципиальных трудностей при интерпретации экспериментальных данных. В применении к микрообъектам — атомам и молекулам — эта техника, способная выступать в роли спектроскопии сверхвысокого разрешения, обнаруживает свои особенности, связанные со спецификой квантово-механической измерительной процедуры, с необходимостью учета квантовых эффектов взаимодействия излучения с веществом. Обстоятельное исследование этих вопросов позволило сформулировать требования к условиям, при которых в спектре флуктуации рассеянного излучения отражается внутренняя динамика микрочастиц<sup>1</sup>.

Основные достоинства флуктуационного подхода определяются уникальной возможностью исследования полностью неупорядоченных ансамблей частиц в сочетании с практически неограниченным спектральным разрешением. К недостаткам этой техники следует отнести ее невысокую чувствительность или, точнее, невысокую плотность потока информации в мощном, но слабошумящем потоке рассеянного света и, как следствие,— необходимость длительного накопления сигнала с применением современной накопительной техники — многоканальных спектроанализаторов с накоплением параллельного типа.

Недавно в работе Э. Хана с соавторами<sup>2, 3</sup> было сообщено о первом наблюдении спектра ядерного магнитного резонанса методом регистрации сигнала индукции неупорядоченно прецессирующих ядер, что отмечено как новое направление радиоспектроскопии. Неупорядоченные флуктуации намагниченности образца на частоте магнитного резонанса удалось обнаружить, используя в качестве усилителя сигнала прецессии СКВИД с эффективной шумовой температурой 0,2 К.

Принципиальная возможность наблюдения резонансного шума ядерной намагниченности высказывалась в первой работе Ф. Блоха по ЯМР<sup>4</sup>, а затем детально обсуждалась в работах<sup>5, 6</sup>. Вместе с тем, первой экспериментальной работой, обнаружившей неупорядоченную прецессию спинов парамагнетика, была работа авторов<sup>7</sup>, выполненная методом спектроскопии флуктуации фарадеевского вращения при распространении света, зондирующего парамагнетик, поперек направления намагниченности. В такой постановке опыта флуктуации намагниченности среды на частоте электронного парамагнитного резонанса перерабатывались в фазовую (поляризационную) модуляцию зондирующего света. Иными словами, флуктуации намагниченности, характеризуемые энергией  $\hbar\gamma H$  ( $\gamma$  — гиромагнитное отношение,  $H$  — напряженность магнитного поля), преобразовывались при этом во флуктуации потока световых квантов с энергией  $\hbar\omega \gg \hbar\gamma H$ . Это масштабное преобразование энергетичности измеряемого физического поля радикальным образом сказывается на экспериментальных возможностях флуктуационной спектроскопии, поскольку регистрация шумовой модуляции потока высокоэнергетических фотонов не предъявляет сколько-нибудь жестких требований ни к темновым шумам фотодетектора, ни к уровню входных шумов усилителя. Это обстоятельство и определяет преимущества оптической техники детектирования шумов намагниченности перед прямой регистрацией сигнала индукции.

Специфические достоинства шумовой спектроскопии, принципиально выделяющие ее из всех известных методов детектирования магнитного резонанса, связаны с возможностью наблюдения резонанса в отсутствие магнитной поляризации среды, при равенстве населенностей магнитных подуровней. В этих условиях регулярный индуцированный сигнал магнитного резонанса невозможен, тогда как спонтанные флуктуации намагниченности остаются

при любых условиях, включая нулевую температуру и, наоборот, сколь угодно высокую. Кроме того, спектроскопия «спонтанного» магнитного резонанса может оказаться полезной в тех случаях, когда по условиям эксперимента невозможно высокочастотное облучение парамагнетика. В определенном отношении техника спонтанного магнитного резонанса проще традиционной: не нуждаясь в возбуждении образца когерентным полем, она не имеет высокочастотного тракта и тем самым может быть не привязана к какой-либо определенной частоте, как стандартные ЭПР-спектрометры.

Разумеется, традиционная техника индуцированного магнитного резонанса останется и в дальнейшем доминирующей благодаря существенно более высокой чувствительности при наличии магнитной поляризации вещества (в пределе в  $N^2$  раз, где  $N$  — число спинов в парамагнетике). Конкуренция способность методики спонтанного магнитного резонанса в сильной мере зависит от уровня развития техники спектроанализа электрических сигналов и возможностью длительного параллельного накопления спектров. Со временем работы<sup>7</sup> в этом направлении достигнут значительный прогресс, что позволяет рассчитывать в перспективе на успешное применение шумовой техники в спектроскопии магнитного резонанса и релаксации в твердых телах, на развитие этого нового направления магнитной спектроскопии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Е. Б., Голубев Ю. М., Ломакин А. В., Носкин В. А.//УФН, 1983. Т. 140. С. 547.
2. Sleator T., Hahn E. L., Hilbert C., Clark J.//Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. P. 1742.
3. Hahn E. L.//Proc. of XXIII Congress AMPERE on Magnetic Resonance.— Rome, 1986.— Р. 3.
4. Bloch F.//Phys. Rev. 1946. V. 70. P. 460.
5. Скроцкий Г. В., Кокин А. А.//ЖЭТФ. 1959. Т. 36. С. 933.
6. Филатов А. И.//Труды УПИ. Сер. «Атомная и молекулярная физика».— Свердловск: УПИ, 1969.— № 172. С. 23.
7. Александров Е. Б., Запасский В. С.//ЖЭТФ. 1981. Т. 81. С. 132.