

07;08
©1994

СПОНТАННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ВНУТРИМОДОВОЙ ФОНОННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ В АВТОНОМНОМ ПАРАМАГНИТНОМ ФАЗЕРЕ

Е.М.Гананольский, Д.Н.Маковецкий

Когерентное индуцированное излучение (ИИ) в парамагнитном фоновом генераторе (фазере) наблюдается обычно в условиях стационарного насыщения (накачки) спин-системы, размещенной в гиперзвуковом резонаторе Фабри-Перо (ГРФП). Внешние возмущения этой системы на частотах ее нелинейных резонансов могут вызывать крупномасштабную стохастизацию ИИ [1-3], однако какие-либо экспериментальные результаты, демонстрирующие спонтанное (т. е. не связанное с внешним влиянием на активную систему) разрушение когерентности ИИ в автономном фазере, к настоящему времени отсутствуют. В данной работе мы сообщаем о первом наблюдении эффекта спонтанной стохастизации ИИ (т. е. самопроизвольного распада когерентной моды фононного излучения) в автономном фазере. При этом обнаружено устойчивое сосуществование стохастических и высококогерентных фононных состояний, возбуждающихся на соседних модах ГРФП.

Наши эксперименты были выполнены на рубиновом фазере, имеющем длину волны 1 м и межмодовое расстояние 300 кГц [1-3], при отсутствии какого-либо внешнего возмущения коэффициента инверсии активной системы трехвалентного хрома. Инверсия обеспечивалась электромагнитной накачкой с частотой 23 ГГц и мощностью P до 5 мВт. Типичная бесструктурная мода ИИ, наблюдавшаяся нами в автономном рубиновом фазере, настроенном с помощью статического магнитного поля H на вершину линии акустического парамагнитного резонанса (АПР) $H_0 = 3920$ Э, показана на рис. 1. Для того чтобы исследовать возникновение внутримодовой структуры ИИ и зависимость этой структуры от управляющих параметров (УП), выполнялись фотосъемки мод ИИ в широком диапазоне экспозиций — от 1/1000 до 60 с для каждого фиксированного набора УА при $0 < |\Delta H| < 150$ Э, где $\Delta H = H - H_0$. На этой основе были идентифицированы три основных типа структурированных линий ИИ.



Рис. 1. Неструктурированная микроволновая фоновая мода ИИ при $\Delta H = 0$, $P = 4$ мВт. Частота ИИ $\Omega \approx 9.1$ ГГц. Время экспозиции при фотосъемке $t_{\text{ex}} = 1$ с. Горизонтальная развертка спектроанализатора $\Delta\Omega_{\text{sw}} = 10$ кГц.

Первый указанный тип наблюдается в виде двухкомпонентного расщепления линии с периодическим возникновением, однонаправленным движением по оси частот и последующим исчезновением значительно меньшего спутника. После возникновения вблизи первой основной компоненты этот спутник движется по оси частот вплоть до второй основной компоненты, которая его и поглощает. После этого имеет место рождение нового спутника вблизи первой основной компоненты, и т. д. При сканировании УП период этих движений изменяется в широких пределах. Соответственно “спектральная скорость” таких движений варьируется от приблизительно 0.01 до 3–10 кГц/с и более при очень медленном непрерывном сканировании ΔH (не быстрее 0.1 Э/с). Вторым типом наблюдавшейся тонкой структуры (ТС) — расщепление моды ИИ до нескольких десятков кГц без каких-либо однонаправленно движущихся спутников. В этом случае можно видеть очень сильную амплитудную автомодуляцию (до 100%) не только для всех компонент ТС данной моды, но и для одной–двух ближайших соседних основных мод ИИ. Амплитудные движения соседних мод всегда были строго коррелированы (обычно антисинхронизированы) по отношению к оцилляциям интегральной интенсивности наблюдаемой расщепленной линии ИИ.

Оба описанных типа структуризации фазерного спектра демонстрировали набор хорошо разрешенных дискретных частот с малым количеством излучающих компонент, причем в частотной области расщепленной моды возбуждались

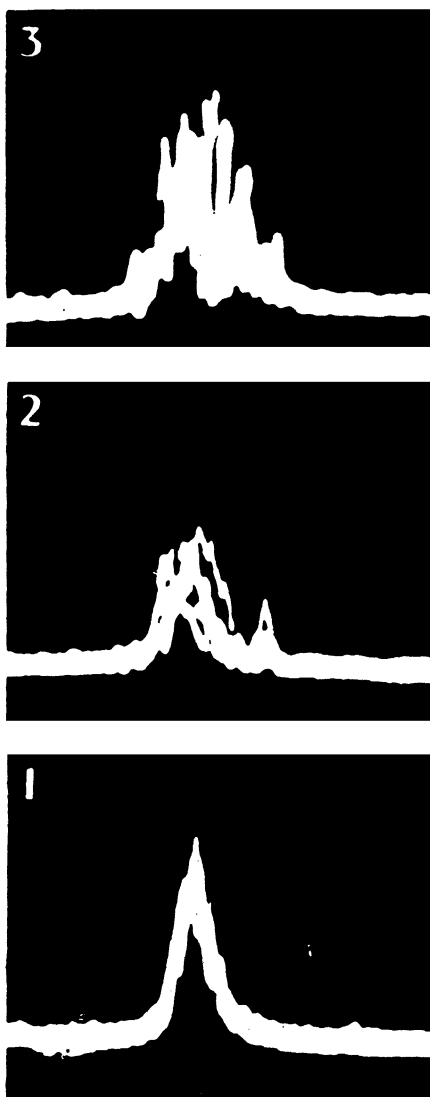


Рис. 2. Возникновение стохастической тонкой структуры фоновой ИИ на той же моде спектра фазерной генерации, что и на рис. 1. Здесь $t_{ex} = 1/30$ с. $\Delta\Omega_{sw} = 25$ кГц. $\Delta H = 15$ Е. 1 — $P = 0.1$, 2 — 0.9, 3 — 4 мВт.

лишь регулярные движения. Качественно иная форма расщепления моды была обнаружена нами в нескольких узких окнах ΔH (обычно не шире 2–3 Э) и при $P > 0.1$ мВт. Очень большое количество стохастически осциллирующих компо-

нент ТС начинает генерироваться в окрестности одной выделенной моды ГРФП, что приводит к практически полному разрушению внутримодовой когерентности ИИ (рис. 2). Наблюдалось также уширение этой стохастизированной фазерной моды (иногда до десятков кГц). Замечательным является то, что все соседние моды ИИ (генерирующие на ближайших микроволновых резонансах ГРФП) не изменяют свой практически стационарный режим излучения. Это обстоятельство прямо указывает на внутренний, самоиндуцированный характер обнаруженной модовой стохастизации.

Наша интерпретация этого спонтанного разрушения внутримодовой когерентности ИИ базируется на указанной в [4-5] возможности возникновения дополнительных вырожденных акустических микроволновых резонансов и их расщеплений вследствие нелинейной дисперсии упругих волн в ГРФП при инверсии линии АПР. В соответствии с [4] полевые зависимости ТС r -й моды ИИ описываются уравнением

$$\delta_r^3 - 2h\delta_r^2 + (2M + h^2 + 1)\delta_r - 2Mh = 0, \quad (1)$$

где δ_r — безразмерное отклонение частоты ТС от собственной частоты r -й моды ГРФП; h — параметр, отвечающий безразмерной расстройке спин-системы по H ; M — параметр нелинейности:

$$M = [v_u^{-1} \text{Im} \bar{v}(H_0)] (\omega / \Delta\omega) K. \quad (2)$$

Здесь ω и $\Delta\omega$ — частота линии АПР и ее однородная ширина; \bar{v} — комплексная скорость гиперзвука в области инвертованной линии АПР; v_u — скорость гиперзвука в неинвертованной системе и при отсутствии магнитных резонансов; K — коэффициент инверсии.

Можно выполнить преобразование уравнения (1) к канонической форме сборки Уитни [6], которая описывает существование внутримодовых состояний нашей системы. После этого легко построить бифуркационную диаграмму, разделяющую участки однокомпонентных и многокомпонентных реализаций линии ИИ. Используя стандартные методы теории катастроф [6], находим, что в общем случае здесь есть две бифуркации с коразмерностью 2 (при $M = M_{\text{ср}} = 4$, $h = h_{\pm}^{(0)} = \pm 3\sqrt{3}$) и четыре бифуркации с коразмерностью 1 при $M > M_{\text{ср}}$, $h = h_{\pm}^{(\pm)} = \pm (M/2)^{1/2} d^{(\pm)}(M)$, где функции $d^{(\pm)}(x)$ были определены в [7,8]. Если существуют такие первичные точки бифуркации, то возможными являются дальнейшие бифуркационные последователь-

ности, приводящие к возникновению непрерывного внутримодового спектра ИИ [9], т. е. к полной потере когерентности моды ИИ, первоначально бывшей высококогерентной. Иными словами, наблюдавшееся разрушение фоновой когерентности может быть обусловлено быстрым нарастанием количества активных степеней свободы фазера, подобно гидродинамическим турбулентным системам [10]. Это динамическое явление в автономном фазере является противоположным по отношению к обнаруженному в нашей предыдущей работе [3] эффекту нарастания корреляций мод ИИ (т. е. ламинаризации спин-фононных движений) в неавтономном фазере при сильном низкочастотном возмущении его коэффициента инверсии.

Список литературы

- [1] Ганапольский Е.М., Маковецкий Д.Н. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 10. С. 202-204.
- [2] Ганапольский Е.М., Маковецкий Д.Н. // ЖТФ. 1992. Т. 62. В. 2. С. 187-190.
- [3] Ganapolskii E.M., Makovetskii D.N. // Solid State Communs. 1994. V. 90. N 8. P. 501-505.
- [4] Маковецкий Д.Н. Твердотельная электроника миллиметрового и субмиллиметрового диапазона. Харьков, 1988. С. 116-127.
- [5] Маковецкий Д.Н. // Тез. XIV Всесоюз. конф. по акустоэлектрон. и физ. акустике. Ч. 2. Кишинев, 1989. С. 18-19.
- [6] Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М., 1980.
- [7] Маковецкий Д.Н. // УФЖ. 1988. Т. 33. В. 8. С. 1237-1240.
- [8] Маковецкий Д.Н., Ворсуй К.В. // ЖТФ. 1991. Т. 61. В. 1. С. 86-90.
- [9] Minden M.L., Casperson L.W. // J. Opt. Soc. Amer. 1985. V. B2. N 1. P. 120-129.
- [10] Моулден Т. и др. Турбулентность: Принципы и применение. М., 1980.

Институт радиофизики и электроники
Харьков, Украина

Поступило в Редакцию
9 августа 1994 г.