

01

© 1990

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ

Г.Е. Скворцов

Обсуждаются процессы большой неравновесности в общих динамических системах и устанавливаются их основные качественные закономерности.

Такие процессы характеризуются сильными возмущениями, высокими скоростями и градиентами, большими полями и должны описываться неклассической общей теорией [1-3].

Большой интерес представляют качественные закономерности процессов сильной неравновесности, которые могут быть использованы для предсказания неравновесных эффектов и особенностей поведения систем при интенсивных воздействиях.

1. Первичным вопросом является определение степени неравновесности (СНР). В качестве СНР целесообразно использовать отношение „фактора неравновесности“ (ФНР), отражающего интенсивность внешнего воздействия на систему, и соответствующего ему „структурного фактора“, характеризующего структуру и энергетическую „емкость“ системы. Скорости, градиенты, энергии и интенсивности воздействий представляют собой ФНР; соответствующими структурными факторами служат времена и длины релаксации, энергия связи, интенсивности потоков, поглощаемых системой.

Итак, СНР определяется величинами

$$r = \tau_i \left| \partial_t \ln \rho \right|, \quad g = l_i \left| \partial_x \ln \rho \right|, \quad j = \frac{\rho - \rho_s}{\rho_s}, \quad N = \frac{\dot{\rho}}{\rho_s}, \quad (1)$$

τ_i, l_i – времена и длины, характеризующие структуру системы; ρ – определяющие величины; ρ_s – соответствующие структурные характеристики. Носителями (микро) структуры являются структурно-кинетические элементы (ЭСК), на основе которых и определяются все „внутренние“ параметры (τ_i, l_i, ρ_s). Характеристики ЭСК зависят от ФНР; с ростом неравновесности структура, как правило, измельчается.

Определение (1) отражает первичную закономерность НР-процессов – структурную обусловленность неравновесности. Эта закономерность приводит к важным следствиям. Прежде всего, она дает реальную шкалу сравнения процессов в разных системах. Другим следствием является универсальность законов переноса при слабой неравновесности для любых динамических систем.

2. Одна из основных закономерностей НР-процессов – закон границы качества заключается в том, что возрастание ФНР до опре-

деленного, порогового, значения приводит к качественному изменению системы (ее поведения, структуры, свойств).

Изменение качества, как правило, проявляется в изменении характера зависимости основных величин, вплоть до обратного, при переходе через пороговое значение (принцип аномальности). Пороговое значение СНР ориентировочно определяется критериями устойчивости [4].

Примерами реализации закона границы качества могут служить аномальная релаксация [5] и ряд эффектов, составляющих открытия ([6], № 112, 260, 12, 147, 176, 238, 156, 294).

3. Существенная закономерность НР-процессов связана с „чередованием неравновесности“. Она заключается в том, что при возрастании ФНР система будет демонстрировать наряду с увеличением неравновесности ее снижение, затем увеличение и т.д. (вплоть до разрушения системы).

Указанная закономерность обусловлена тем, что структура при возрастании ФНР трансформируется скачкообразно; при этом структурный фактор сразу за порогом увеличивается быстрее, чем ФНР, т.е. СНР падает. При возрастании ФНР до следующего порога относительная стабильность структуры обуславливает рост СНР и т.д.

Можно считать, что факт снижения СНР служит обобщением принципа Ле-Шателье.

4. Продемонстрируем действия указанных закономерностей в случае явления аномальной релаксации (АР) в ударных волнах в газе [5, 7].

Закон структурной обусловленности отражается в выборе критериев типа (1) [7, 8]. Простейший конструктивный критерий представляет собой отношение кинетической энергии частицы в УВ и ее энергии возбуждения (или связи) ε_{α} .

$$j_V = \frac{m V^2}{2 \varepsilon_{\alpha}}, \quad (2)$$

V – скорость УВ. Закон границы качества выступает в виде критерия резонанса

$$2j_V = \frac{m V_i}{\varepsilon_{\alpha i}} \approx 1. \quad (3)$$

При выполнении (3) возникает АР в форме ряда эффектов: раздвоения и искажения фронта, распада УВ и др.

Закон чередования неравновесности продемонстрируем на примере УВ, распространяющейся в углекислом газе. В качестве ЭСК при увеличении ФНР выступают электронно-возбужденные молекулы CO_2 , осколки, CO и O , электронно-возбужденные CO и O , затем C и далее ионы C и O возрастающей кратности. В интервалах V между резонансами (3), соответствующими $\varepsilon_{\alpha i}$, УВ ведет себя регулярно.

Интервалы определяются таким образом:

$$\varepsilon_{\alpha 1} = 5.45 \text{ эВ } (CO_2 \rightarrow CO + O), \quad V_1 = 3.45 \text{ км/с};$$

$$\varepsilon_{\alpha 2} = 9.61 (CO_2 \rightarrow CO + O^*), \quad V_2 = 4.55; \quad \varepsilon_{\alpha 3} = 13.4 (CO_2 \rightarrow CO^* + O),$$

$$V_3 = 5.4; \quad \varepsilon_{\alpha 4} = 16.6 (CO_2 \rightarrow C + 2O), \quad V_4 = 6.1;$$

$$\varepsilon_{\alpha 5} = 20.8 (CO_2 \rightarrow C + O + O^*), \quad V_5 = 6.7.$$

Указанные пороги 1–5 фактически совпадают с экспериментальными условиями появления АР [5] (А.П. Рязин).

5. Непосредственным следствием закона границы качества и аномальности, как формы его проявления, служит предсказание возникновения в любой динамической системе первоначально однородной и стационарной, через которую „проходят“ стационарные потоки, неоднородности и нестационарности при достижении потоками определенной интенсивности. Пространственно-временные изменения будут иметь чередующийся характер, согласно третьему закону, т.е. возникает макроструктура.

Указанные заключения являются основой ведущего принципа теории самоорганизации („синергетики“) [9]; „неравновесность – источник упорядоченности“.

Следует заметить, что синергетика в нынешнем виде описывает режим первого порога, т.к. она использует слабонеравновесные определяющие соотношения. После первого порога, в режиме второго и следующих, определяющие соотношения существенно видоизменяются и приобретают общий вид [2].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С к в о р ц о в Г.Е. // ЖЭТФ. 1972. Т.63. № 8. С. 502–515; 1975. Т. 68. № 3. С. 956–973.
- [2] С к в о р ц о в Г.Е. // Вестник ЛГУ. 1979. № 13. С. 94–98.
- [3] С к о р н я к о в Г.В. Гипертермодинамика // Препринт ФТИ. 1981. № 740. 25 с.
- [4] П е р е в о з н и к о в Е.Н., С к в о р ц о в Г.Е. // ЖТФ. 1981. Т. 52. № 12. С. 744–748.
- [5] М и ш и н Г.И., Б е д и н А.П., Ю ш е н к о в а Н.И., С к в о р ц о в Г.Е., Р я з и н А.П. // ЖТФ. 1981. Т. 51. № 11. С. 2315–2324.
- [6] К о н ю ш а я Ю.П. Открытия советских ученых. М., 1988. ч. 1. 477 с.
- [7] Б е д и н А.П., М и ш и н Г.И., С к в о р ц о в Г.Е. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. № 10. С. 613–617.
- [8] С к в о р ц о в Г.Е. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. № 12. С. 744–748.

Ленинградский государственный университет

Поступило в Редакцию
25 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17 12 сентября 1990 г.

05.2; 07; 09

© 1990

ЭФФЕКТИВНОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА НА МАГНИТОСТАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ В ПЛЕНКЕ ФЕРРИТА

А.А. К л и м о в, В.Л. П р е о б р а ж е н с к и й,
Ю.К. Ф е т и с о в

Когерентное рассеяние света на магнитостатической волне (МСВ) при его волноводном распространении в пленке феррита [1] перспективно для управления оптическим излучением, спектрального анализа и обработки радиосигналов диапазона частот 1–20 ГГц [2]. Наиболее важными характеристиками взаимодействия света с МСВ являются эффективность рассеяния η , равная отношению интенсивности рассеянного света на выходе к интенсивности света на входе в волновод, и ширина полосы частот МСВ Δf , в которой наблюдается рассеяние.

Как показано экспериментально в работах [1, 3–5], при использовании планарных волноводов, изготовленных из эпитаксиальных пленок железиттриевого граната (ЖИГ), и на частотах МСВ в пределах 3–9 ГГц, эффективность коллинеарного рассеяния не превышала 4% на 1 Вт мощности возбуждающего СВЧ сигнала, а ширина полосы частот взаимодействия по уровню –3 дБ составляла $\Delta f \approx 15$ МГц. Повысить эффективность рассеяния предлагалось путем использования Bi -содержащих пленок ЖИГ [6,7], однако технология выращивания таких пленок, обладающих малыми магнитными потерями, пока не освоена. В то же время возможности повышения эффективности рассеяния путем оптимизации условий взаимодействия света с МСВ до настоящего времени остались практически не исследованными.

В настоящей работе экспериментально обнаружено существенное увеличение эффективности и сужение полосы частот рассеяния света на МСВ, достигнутое за счет выбора оптимальных параметров области взаимодействия и фокусировки пучка МСВ с помощью неоднородного намагничивающего поля. В экспериментах была использована пленка ЖИГ ($Y_3Fe_5O_{12}$) толщиной 3.8 мкм с намагниченностью насыщения $\mu M = 1750$ Гс и шириной линии однородного