

01

## Граница качества, аномальность и структурный переход

© Г.Е. Скворцов

Санкт-Петербургский государственный университет

Поступило в Редакцию 6 декабря 1996 г.

В работе формулируются закон границы качества и закономерность аномальности и демонстрируется их генетическая связь с феноменом структурного перехода. Последний охватывает фазовые переходы, диссоциацию и ионизацию, турбулизацию, взрыв. На основе сформулированных закономерностей указываются классы возможных неравновесных эффектов.

Процессы большой неравновесности занимают все более важное место в физике, химии и биологии. Их изучение порождает новые концепции, а их применения дают основу новых технологий. Описание их чрезвычайно сложно и особое значение приобретает качественный анализ. Для его осуществления необходимы достаточно общие и конструктивные закономерности. Такого рода закономерности были сформулированы в [1].

В данной работе вслед за работой [2], посвященной закону структурной обусловленности, рассматриваются закон границы качества и сопряженная с ним закономерность аномальности. Первоначальные формулировки этих закономерностей существенно дополняются и углубляются. Демонстрируются их связи с феноменом структурного перехода, а также с явлением и эффектами неустойчивости. Явление неустойчивости, его свойства и критерии весьма детально обсуждались ранее [3].

1. Рассматриваются открытые системы, процессы, в которых инициируются внутренними и внешними воздействиями. Системы характеризуются слоев структурой, которая зависит от воздействий и изменяется в ходе процесса, так что имеем дело с динамичной системой — процессом.

Основной характеристикой процесса является степень неравновесности. Она задается, согласно закону структурной обусловленности [2], посредством безразмерного произведения фактора действия  $g$  и соответ-

ствующего структурного фактора  $s[g]$ :

$$|gs|: \quad V = \left| \frac{u}{v_T} \right|, \quad E_i = \left| \frac{e}{\varepsilon_i} \right|, \dots, \quad W_{in} = \tau_i \left| \partial_t \ln \left| \frac{a_n}{a_{ns}} \right| \right|, \dots, \quad (1)$$

$u$  — скорость среды,  $v_T$  — среднеквадратичная скорость структурно-кинетического элемента (ЭСК),  $\varepsilon_i$  — его энергии связи и взаимодействия . . . (полный набор этих выражений и сопутствующие обозначения приводятся в [2]). Наряду со степенью неравновесности следует использовать меру воздействия и меру изменения структуры

$$G = |gs_0|, \quad S = |s[g]/s_0|, \quad s_0 = s[0]. \quad (2)$$

Воздействия, согласно их природе, подразделяются на активные и масштабные: активные (1.1), (1.2) определяют приход и уход массы, импульса, энергии; масштабные (1.3) выражают отношения пространственно-временных масштабов воздействий к соответствующим структурным характеристикам.

2. Закон границы качества в общем виде имеет такую формулировку: при возрастании (или убывании) воздействия до некоторого определенного значения система претерпевает качественное изменение. Воздействии, изменяющее качество, является активным, а его соответствующее значение называется границей качества.

Качественное изменение при аналитическом описании системы (посредством уравнений состояния, определяющих соотношений, откликов) проявляется в форме особенностей основных зависимостей: скачки величин и их производных, точки бифуркаций и интервалы инверсии. Указанные особенности отражают закономерность аномальности.

Аномальность в форме инверсии присуща большинству эффектов большой неравновесности, например: убывание теплового потока при росте разности температур для кризиса кипения [4], убывание тока с ростом напряжения (как в эффекте Ганна), аномальная релаксация в ударных волнах с целым рядом инверсий [5].

Эти и аналогичные им по части аномальности эффекты непосредственным образом связаны с феноменом структурного перехода и возникающей при этом неустойчивостью [6,7].

3. Как правило, граница качества реализуется посредством перехода от одной структуры к другой. В этом и заключается феномен структурного перехода, который является обобщением таких эффектов, как

фазовые переходы, дезинтеграция (диссоциация, ионизация), турбулизация, деление ядра, быстрые химические реакции, размножение клеток и т. п.

Естественные качественные критерии структурного перехода в согласии с условием нормированности перехода [2] для активных процессов имеют вид

$$gs \simeq 1 : \quad u \simeq v_T, \quad e \simeq \varepsilon_i, \dots \quad (3)$$

Первое условие означает переход до–сверхзвук, второе условие охватывает почти все указанные выше эффекты перехода.

В связи с феноменом структурного перехода закономерность аномальности можно сформулировать так: структурный переход сопровождается аномальным поведением определяющих величин. Как правило, имеет место и обратное утверждение: аномальное поведение определяющих величин обусловлено структурным переходом. Эти утверждения имеют большую эвристическую и экспериментальную ценность (см. [7]).

4. Проявлением аномальности служит критерий отрицательности дифференциального коэффициента восприимчивости.

Основные соотношения при умеренных значениях неравновесности могут быть представлены в квазилинейном виде  $\Phi(gs) = K(gs)gs$ , где  $K$  — коэффициент восприимчивости. Критерий имеет вид

$$K_d \equiv \frac{\partial \Phi}{\partial gs} = \frac{\partial K}{\partial gs} gs + K < 0. \quad (4)$$

Как показано в [3], это условие в случае одной определяющей величины означает неустойчивость (именно для указания области неустойчивости и был использован в [3] впервые принцип аномальности). В общем случае критерий восприимчивости является лишь необходимым условием неустойчивости.

Разумеется, если при малых неравновесностях дифференциальная восприимчивость отрицательна, то в критерии (4) следует изменить знак на обратный. В частности, положительной сжимаемостью объясняется эффект распространения ударной волны разрежения, предсказанный Я.Б. Зельдовичем. Следует в связи с этим отметить факт неустойчивости ударной волны сжатия при положительной сжимаемости вдоль адиабаты Гюгоньо, указанный в [6].

5. Из многообразия применений рассматриваемых закономерностей выберем эффект удара двух малых тел с большой скоростью. Этот

эффект можно выразить посредством отношения кинетической энергии после удара  $e_T$  к энергии удара  $e$ ,  $\bar{e}_T = e_T/e$  в зависимости от степени неравновесности  $E_i = e/\varepsilon_i$ ,  $\varepsilon_i$  — ближайший к значению  $e$  порог структурного перехода.

В случае лобового удара  $e = (m_1 m_2 / (m_1 + m_2))(v_1^2 + v_2^2 + 2v_1 v_2)$  для тел равной массы и скорости критерий (3.2) принимает вид

$$2mv_c^2 = \varepsilon_i. \quad (5)$$

Применим этот критерий сначала для столкновения атомов ксенона в ударной волне с целью определить нижний (по скорости) режим аномальной релаксации. Принимая  $\varepsilon_1 = 0.5\varepsilon[\text{Xe}^m] = 4.15 \text{ эВ}$  [8], получаем пороговую скорость  $v_c = 1.2 \text{ км/с}$ , что совпадает со значением, соответствующим обнаруженному аномальному режиму [9].

Применим критерий (5) к удару двух тел кубической формы с ребром  $\sim 1 \text{ мм}$ . В качестве  $\varepsilon_i$  возьмем энергии структурных переходов:  $\varepsilon_1$  — плавления,  $\varepsilon_2$  — испарения,  $\varepsilon_3$  — диссоциации и т.д.

Закон границы качества будет проявляться вблизи определяемых, согласно (5), значений скорости в пороговом изменении результатов удара: уменьшение облака частиц, резкое смещение спектра свечения в коротковолновую область, изменение длительности постстолкновительного процесса, колебания величины  $\bar{e}_T$  и т.п. Неустойчивость даст себя знать, прежде всего, по разбросу пороговых значений  $v_c$ , неоднородностям картины "взрыва", колебаниям интенсивности излучения.

Опыты с наблюдениями такого рода автору неизвестны. Вместе с тем имеются результаты пробивания пластин, близкой с диаметром пули толщины  $\sim 1 \text{ мм}$  [10], которые демонстрируют ряд аномалий: например, уменьшение "факела" пробоя с возрастанием скорости, а также уменьшение эффекта пробивания факелом вплоть до нуля ([10], с. 129–154). Следует полагать, что ступенчатая зависимость относительной глубины кратера от скорости для толстой мишени (см. с. 323–331) связана с критерием (5).

В заключение работы укажем, что первоначальное применение рассматриваемых закономерностей, включая и закон структурной обусловленности [2], к природным развивающимся системам [11] дает согласующиеся в целом результаты. Однако в [11] отсутствуют указания на аномальность структурного перехода в форме инверсии. Более обстоятельное сопоставление результатов, несомненно, приведет к целому ряду интересных выводов.

## Список литературы

- [1] Скворцов Г.Е. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 17. С. 15–18.
- [2] Скворцов Г.Е. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 6.
- [3] Перевозников Е.Н., Скворцов Г.Е. // ЖТФ. 1982. Т. 52. В. 12. С. 2353–2360.
- [4] Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели. Л.: Наука, 1986. 293 с.
- [5] Мишин Г.И., Бедин А.П., Юценкова Н.И., Скворцов Г.Е., Рязин А.П. // ЖТФ. 1981. Т. 51. В. 11. С. 2315–2324.
- [6] Барышников А.С., Скворцов Г.Е. // ЖТФ. 1979. Т. 49. № 11. С. 2483–2485.
- [7] Скворцов Г.Е., Васильев Н.Ю. // ЖТФ. 1985. Т. 55. В. 1. С. 230–232.
- [8] Радциг А.А., Смирнов Б.М. Справочник по атомной и молекулярной физике. М.: Атомиздат, 1980. 237 с.
- [9] Тумакаев Г.К., Степанова З.А., Григорьев П.В. // ЖТФ. 1991. Т. 61. С. 149–153.
- [10] Int. J. Impact. Eng. 1987. V. 5.
- [11] Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Критические уровни в развитии природных систем. Л.: Наука, 1990. 223 с.