

ЭХО ГАШЕНИЯ В СИСТЕМЕ С ПОТЕНЦИАЛОМ ТОДЫ

М. Н. Овчинников

Развитие компьютерных методов исследования динамики твердых тел привело к обнаружению интересного нового эффекта — эха гашения [1]. Этот эффект проявляется следующим образом. В динамической системе взаимодействующих частиц в момент времени $t=0$ движение гасится, т. е. мгновенно останавливаются все частицы. Затем они освобождаются с нулевыми скоростями, при этом полная энергия системы уменьшается на величину, равную кинетической энергии до гашения. Через промежуток времени t_1 операция повторяется, и спустя время t_1 после второго гашения наблюдается «неожиданное» падение кинетической энергии, что и называют эхом гашения.

Эхо гашения оказалось эффективным методом изучения динамики твердых тел. Одно из применений методики эха гашения — анализ ангармонических явлений в колебательных системах. В работах [1, 2] представлены результаты экспериментов по исследованию эха гашения в системах с потенциалом Леннарда—Джонса.

На наш взгляд, представляет интерес изучить эффект эха гашения и в системе с потенциалом Тоды. Это связано с тем, что в отличие от системы с потенциалом Леннарда—Джонса цепочка Тоды представляет собой пример неэргодической нелинейной динамической системы [3]. Мы рассматривали поведение системы частиц с потенциалом взаимодействия

$$U(r) = (a/b) \exp[b(1-r)] + a(r-1). \quad (1)$$

Исследуемая система представляла собой линейную цепочку из 100 частиц. Концы цепочки были закреплены. Интегрирование уравнений движения осуществлялось методом Рунге—Кутты 4-го порядка с шагом $\Delta t = 8 \cdot 10^{-3}$. Масса частиц была равна единице, $a=144$, $b=1$. При $t_1=40 \Delta t$ и начальном значении кинетической энергии $T_0=507$ был обнаружен эффект эха гашения в системе с потенциалом (1).

Мы изучали влияние на глубину эха значения начальной кинетической энергии T_0 в системе. На рис. 1 показана зависимость относительной глубины d эха гашения от среднего значения кинетической энергии в системе T после второго гашения

$$d = 1 - T(t_1)/\langle T \rangle. \quad (2)$$

Здесь $T(t_1)$ — кинетическая энергия системы в момент времени t_1 после второго гашения. Мы видим, что с ростом T_0 (и соответственно $\langle T \rangle$) относительная глубина эха остается достаточно большой и при настолько больших значениях T_0 , при которых в нашей задаче амплитуды колебаний частиц становятся порядка расстояния между ними.

Представляет интерес выяснить, исчезнет ли эхо при увеличении интервала времени t_1 между гашениями. Результаты экспериментов при $T_0=507$ для различных значений t_1 приведены на рис. 2. Мы видим, что эхо существует на всех временах наблюдения, тогда как в системе с потенциалом Леннарда—Джонса с ростом T_0 наблюдается уменьшение эффекта практически до 0 [2].

На наш взгляд, представляет интерес сопоставить существование в системе эха гашения и возможности возникновения в ней динамического хаоса. Известно [3], что в цепочках Тоды при условии, что массы частиц одинаковы, динамический хаос не возникает, в то время как в системах с потенциалом Леннарда—Джонса начиная с некоторых значений энергии наблюдается стохастичность поведения [4]. Это относится и к одномерным, и к трехмерным леннард-джонсовским системам [5].

Мы рассмотрели эффект эха гашения в линейной системе из 100 частиц с потенциалом

$$U(r) = (1/r)^{12} - 2(1/r)^6. \quad (3)$$

Шаг интегрирования был $\Delta t = 10^{-2}$, массы частиц были равны $m = 1$. В такой системе при увеличении времени t_1 между гашениями наблюдается уменьшение глубины эха гашения до 0 при $T_0 = 10$. Таким значениям T_0 в леннард-джонсовских системах соответствует стохастическое поведение [4].

На рис. 2 показана глубина эха гашения в леннард-джонсовской системе при энергиях, которые соответствуют регулярному и стохастиче-

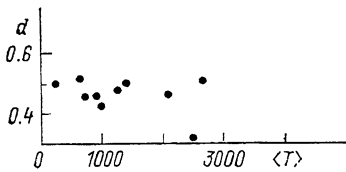


Рис. 1. Зависимость относительной глубины эха гашения d от уровня энергии $\langle T \rangle$ в цепочке Тоды.

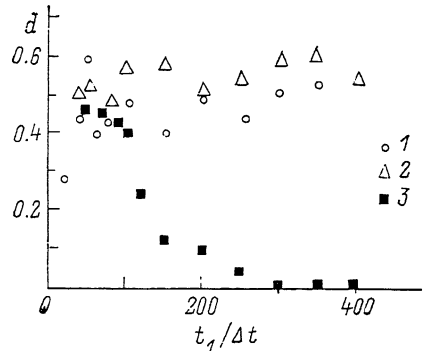


Рис. 2. Зависимость относительной глубины эха гашения d от времени t_1 .

1 — цепочка Тоды, $T_0 = 507$; 2, 3 — цепочка Леннарда—Джонса, $T_0 = 0.126$ (2) и 18 (3).

скому движению. Эхо во втором случае исчезает при увеличении времени между гашениями, т. е. моды быстро «перемешиваются». На наш взгляд, нелинейность в системе, приводящая к стохастичности поведения, является причиной исчезновения эффекта, связанного с памятью системы о своих предыдущих состояниях — эха гашения.

Напомним, что в системе с потенциалом (1) ни увеличение энергии, ни увеличение промежутка времени между гашениями не приводило к исчезновению эффекта. Эти результаты можно интерпретировать как одно из проявлений регулярности поведения системы с потенциалом Тоды.

Сравнение полученных нами результатов по исследованию эффекта эха гашения в системах с потенциалом Тоды и Леннарда—Джонса показывает, что эхо гашения наряду с другими приложениями может быть использовано для изучения возможности возникновения стохастичности в динамических системах, в частности в трехмерной системе с потенциалом Тоды, интегрируемость которой не доказана.

Список литературы

- [1] Grest G. S., Nagel S. R., Rahman A. // Solid State Commun. 1980. V. 36. N 5. P. 875—883.
- [2] Нагель С. Р., Грест Г. С., Рахман А. Физика за рубежом. М.: Мир, 1985. С. 33—62.
- [3] Тода М. Теория нелинейных решеток. М.: Мир, 1984. 262 с.
- [4] Casartelli M., Diana E., Galgani L., Scotti A. // Phys. Rev. A. 1976. V. 13. N 5. P. 1921—1923.
- [5] Posch H. A., Hoover W. G. // Phys. Rev. A. 1989. V. 39. N 7. P. 2175—2188.

Казанский государственный университет
им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
19 февраля 1991 г.