

## Численное определение характеристик эффекта «бильярдного» демона Максвелла в системе «гофрированный волновод» с осциллирующей границей

*Д. О. Любченко, А. В. Савин*

Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет имени Н.Г. Чернышевского

✉ dima4398lub@mail.ru

Известно, что в моделях бильярдного типа могут наблюдаться нетривиальные и весьма интересные эффекты [1]. В частности, при исследовании средней по ансамблю скорости частиц в бильярде типа «стадион» с осциллирующими границами было обнаружено [2], что малые колебания границы приводят к тому, что в системе появляется граничное значение начальной скорости, ниже которой средняя скорость начинает падать. Если начальная скорость больше граничной, то частицы в среднем ускоряются. Данное явление назвали «бильярдным» демоном Максвелла.

Ранее в [3] было продемонстрировано ускорение Ферми и эффект «бильярдного» демона Максвелла на примере другой модели с соударениями, в которой одна из стенок неподвижна, а другая стенка имеет гармоническую гофрировку и совершает колебания по гармоническому закону. В данной работе были определены характеристики данной системы.

На рис. 1 схематично показано движение частицы между данными стенками. Систему описывает следующее четырехмерное отображение (1):

$$\begin{aligned}
 \Omega_{n+1} &= \sqrt{\Omega_{n+1x}^2 + \Omega_{n+1y}^2}, \\
 \alpha_{n+1} &= \arctan \left[ \frac{\Omega_{n+1x}}{\Omega_{n+1y}} \right], \\
 \phi_{n+1} &= \phi_n + A \frac{\Omega_{n+1x}}{\Omega_{n+1y}}, \\
 \psi_{n+1} &= \psi_n + \frac{1}{\Omega_{n+1y}}, \\
 \Omega_{n+1x} &= \Omega_n \sin(\alpha_n + 2\gamma) - 2\gamma u, \\
 \Omega_{n+1y} &= \Omega_n \cos(\alpha_n + 2\gamma) - 2u,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\gamma = -C \sin \phi_n$ ,  $u = -B \sin \psi_n$ ,  $\Omega_n$  – безразмерная скорость,  $\phi_n$  – без-

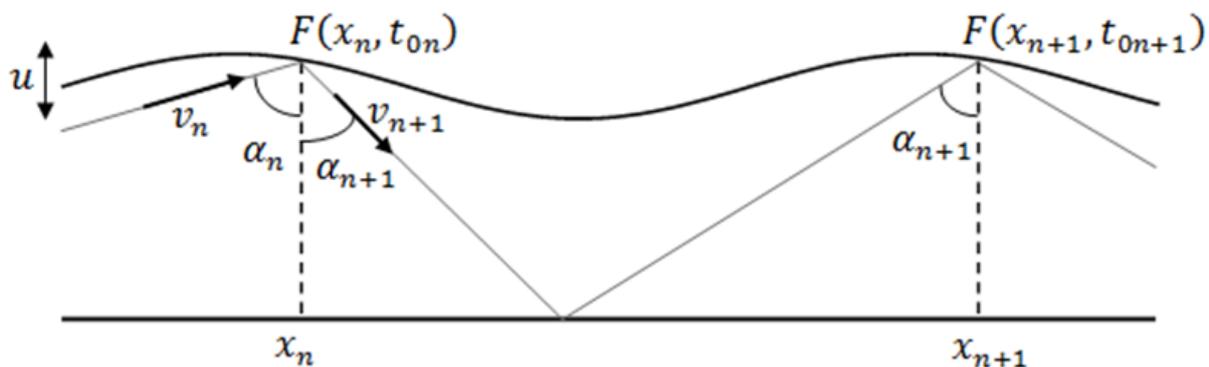


Рис. 1. Иллюстрация хода частицы между двумя стенками

размерная координата,  $\psi_n$  – безразмерное время,  $A$  – безразмерное расстояние между стенками,  $B$  – безразмерная амплитуда колебаний стенки,  $C$  – безразмерная амплитуда гофрировки стенки.

В случае фиксированных границ наблюдается типичное для систем с двумя степенями свободы устройство фазового пространства. В зависимости от начальных условий можно наблюдать сохранившийся инвариантный тор или хаос. При добавлении осцилляций стенки при анализе средней по ансамблю частиц скорости наблюдается ускорение Ферми, а при определенных параметрах наблюдается следующее: скорости частиц, начальная скорость которых ниже некоторого критического значения, стремятся со временем к некоторому предельному значению, а частицы, начальная скорость которых выше критического значения, в среднем ускоряются. Данный эффект называют «бильярдным» демоном Максвелла. В таком случае динамика средней скорости характеризует предельное значение скорости и критическое значение начальной скорости.

### Список литературы

1. Заславский Г. М. Стохастичность динамических систем // М.: Наука, 1984.
2. Лоскутов А. Ю., Рябов А. Б. Системы бильярдного типа и ускорение Ферми // Изв. вузов «ПНД», т. 16, № 5, 2008.
3. Любченко Д. О., Савин А. В. Исследование динамики средней по ансамблю скорости в системе «гофрированный волновод» с осциллирующей границей // «Нанoeлектроника, нанoфотоника и нелинейная физика»: сборник трудов XV Всерос. Конф. Молодых ученых. Саратов: Изд-во «Техно-Декор», с. 151–152.