ХАОТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ ИОННОЙ ЦЕПОЧКИ

Денисова Е.С., Лютый Т.В., Литвиненко А.И.

Одной из наиболее важных и интересных проблем современной физики, имеющих большое общетеоретическое и практическое значение, является проблема транспорта пространственных структур под воздействием периодической внешней силы. Среди прикладных аспектов следует отметить управляемое движение частиц через клеточную мембрану, что откроет новые перспективы в медицине, а также движение цепочек частиц в средину карбоновых нанотрубок, что позволит экспериментально исследовать кулоновскую цепочку, которая до этого являлась удобной, но абстрактной моделью в физике твердого тела.

Уравнения движения, которые описывают безразмерные смещения $w = w(\tau)$ и $u = u(\tau)$ положительных и отрицательных зарядов из положений их равновесия [1], записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon\ddot{w} + \chi\dot{w} + \tfrac{1}{2}(w-u) &= \Phi\sin(2\pi\tau) + \mu G(w), \\ \varepsilon\ddot{u} + \chi\dot{u} + \tfrac{1}{2}(u-w) &= -\Phi\sin(2\pi\tau) + \mu G(u). \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь τ – безразмерное время, $\varepsilon = 1/(2T\omega)^2$, T – полупериод продольного электрического поля, ω – собственная частота оптических колебаний цепочки, $\chi = \lambda/(2MT\omega^2)$, λ – коэффициент затухания, M – масса одного иона, $\Phi = qE/(Md\omega^2)$, q – заряд иона, E – амплитуда продольного электрического поля, d – период цепочки, $\mu = f_0/(Md\omega^2)$, f_0 – силовой параметр, характеризующий несимметричный периодический потенциал $G(x)$.

В работе [1] с помощью системы уравнений (1) аналитически и численно изучен транспорт ионной цепочки в предельном случае большого затухания ($\chi \to \infty$), когда инерционными слагаемыми можно пренебречь. Однако интерес представляет также случай, при котором затухание невелико, что обусловлено в первую очередь существованием особого режима транспорта – хаотического режима. На возможность последнего для отдельных частиц было указано в работах [2, 3], но проблема хаотического транспорта систем взаимодействующих частиц до сих пор не рассматривалась.

Уравнения в системе (1) являются нелинейными, и ее аналитическое решение в общем случае невозможно. Поэтому в данной работе решение (1) находилось численно методом Рунге-Кутта. Путем варьирования параметров, фигурирующих в (1), было показано, что для ионной цепочки возможны два принципиально различных режима транспорта – детерминистический и хаотический. Первый режим характеризуется регулярным изменением функций $w = w(\tau)$ и $u = u(\tau)$ со временем (см. Рис.1, а). Второй режим характеризуется нерегулярным поведением смещений $w = w(\tau)$ и $u = u(\tau)$ и их непредсказуемой зависимостью от величины шага дискретизации $\Delta\tau$ в разностной схеме, которой заменяется (1) при численном решении (см. Рис.1 б, в). Данная особенность не связана с несовершенством численного метода, а обусловлена внутренними свойствами нелинейной системы уравнений (1). В докладе обсуждается ее использование в качестве критерия существования хаотического режима транспорта.

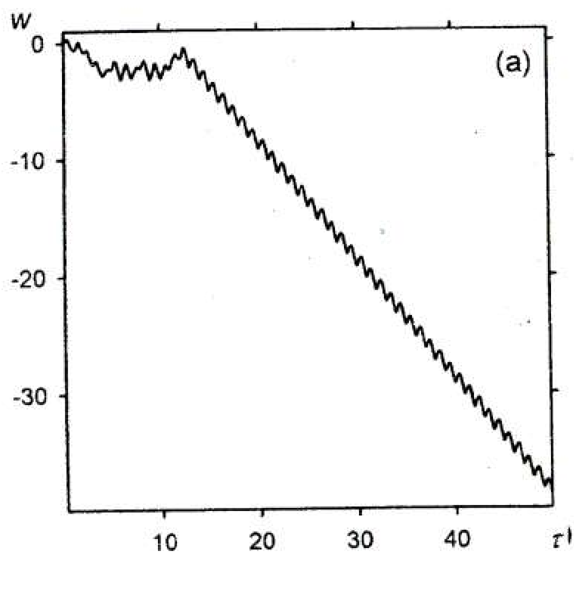
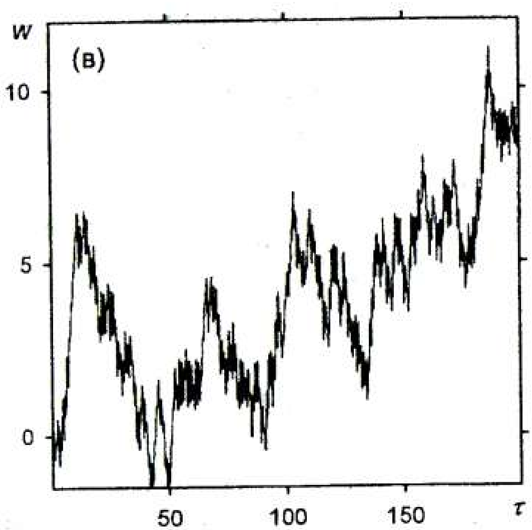


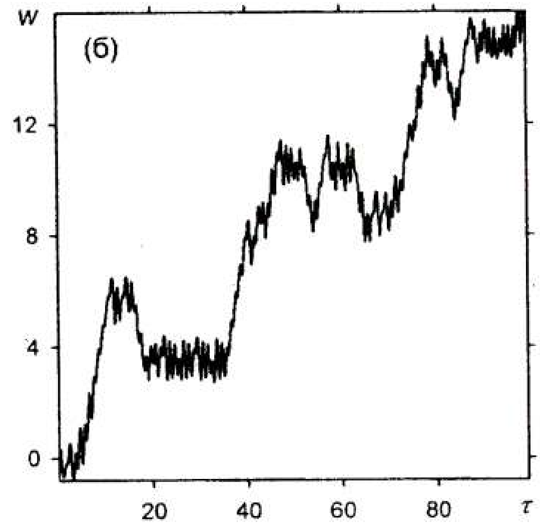
Рис 1. Зависимости смещения $w(\tau)$ при различных режимах транспорта. $\varepsilon = 0,5$; $\Phi = 1,5$; $\mu = 1$.

а) – детерминистический транспорт ($\chi = 0,36$);

б) – хаотический транспорт ($\chi = 0,35$ $\Delta\tau = 10^{-6}$);

в) – хаотический транспорт ($\chi = 0,35$ $\Delta\tau = 10^{-5}$).





Е.С.Д. благодарит за поддержку INTAS, грант № 03-55-1180.

Литература

1. Denisov S.A., Denisova E.S. and Hänggi P. // Phys. Rev. E. – 2005. – Vol.71, 016104.
2. Jung P., Kissner J.G. and Hänggi P. // Phys. Rev. Lett. – 1996. – Vol.76, P. 3436-3439.
3. J.L. Mateos // Phys. Rev. Lett. – 2000. – Vol.84, P. 258-261.

УРАВНЕНИЕ ФОККЕРА-ПЛАНКА ДЛЯ СИСТЕМ С ГАУССОВСКИМ ЦВЕТНЫМ ШУМОМ

Витренко А.Н.

Временная эволюция стохастической системы может описываться уравнением Ланжевена (УЛ). При таком подходе влияние флуктуирующей среды учитывается посредством источника внешнего шума. Возникает необходимость выразить статистические характеристики параметра состояния системы через известные статистические характеристики шума. Предположение гауссовского