

УДК 57-71

ПОТЕНЦИАЛ ХЕНОНА-ХЕЙЛЕСА КАК МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ ИОНОВ В ЛИНЕЙНОЙ КВАДРУПОЛЬНОЙ ЛОВУШКЕ С ГЕКСАПОЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Петреляйнен С.Ю.(ИТМО)

Научный руководитель – к. ф.-м. н., с.н.с. Рудый С.С.
(ИТМО)

Введение. Потенциал Хенона-Хейлеса представляет собой нелинейную неинтегрируемую модель. Движение частицы в поле потенциала Хенона-Хейлеса может характеризоваться как периодическим, так и хаотическим движением [1,2]. Изученность динамики в потенциале Хенона-Хейлеса может быть применима при описании динамики в сложных механических системах. Например, первоначально модель использовалась для описания небесной механики, а именно для описания движения звезд вокруг центра галактики [3].

Вместе с тем, потенциал Хенона-Хейлеса гипотетически может использоваться для описания динамики ионов в квадрупольной ионной ловушке с гексапольным возбуждением. Потенциал квадрупольной ионной ловушки с гексапольным возбуждением, в свою очередь, также является примером нелинейной системы. Динамика ионов в «идеальной» квадрупольной ионной ловушке без гексапольного возбуждения является линейной, стабильной и близкой к интегрируемой. Поведение ионов в такой ловушке хорошо изучено и предсказуемо [4,5]. Напротив, в квадрупольных ловушках с гексапольным возбуждением движение становится нелинейным и хаотическим. В результате крайне сложно предсказать поведение ионов в такой ловушке. В отличие от потенциала Хенона-Хейлеса, модель потенциала квадрупольной ионной ловушки с гексапольным возбуждением является неавтономной, но она с точностью до коэффициента может быть приведена к форме обобщенного потенциала Хенона-Хейлеса.

В данной работе исследуется возможность использования потенциала Хенона-Хейлеса для описания динамики ионов в линейной квадрупольной ловушке с гексапольным возбуждением.

Основная часть. Объектом исследования является динамика частиц в потенциале Хенона-Хейлеса и потенциале квадрупольной ионной ловушки с гексапольным возбуждением. Системы уравнений движения в автономной и неавтономной моделях были получены с применением формализма Лагранжа. Для полученных уравнений движения, производилось численное решение задачи Коши методом Рунге-Кутты. При анализе динамики систем было рассмотрено два случая. В одном случае системы рассматривались в общем виде. Во втором случае дополнительное гексапольное возбуждение считалось пренебрежимо малым, и было показано, что динамика ионов в автономной эквивалентной системе может описываться моделью гармонического осциллятора. Частоты спектра колебаний определялись Фурье анализом колебаний ионов. Варьированием напряжения на электродах определялось соответствие между частотой гармонического осциллятора и низкочастотной компонентой колебания частицы в поле потенциала квадрупольной ловушки.

Выводы. Было продемонстрировано, что при условии малости гексапольного возбуждения, потенциал Хенона-Хейлеса можно использовать в качестве автономной модели для описания динамики частиц в неавтономном потенциале квадрупольной ионной ловушки с гексапольным возбуждением.

Список использованных источников:

1. Lichtenberg A. J., Lieberman M. A. Regular and stochastic motion. – Springer Science & Business Media, 2013. – V. 38
2. Schuster H. G., Just W. Deterministic chaos: an introduction. – John Wiley & Sons, 2006.
3. Hénon M., Heiles C. The applicability of the third integral of motion: some numerical experiments //Astronomical Journal. – 1964. – V. 69. – P. 73.
4. Paul W. Electromagnetic traps for charged and neutral particles //Reviews of modern physics. – 1990. – V. 62. – №. 3. – P. 531.
5. March R. E., Todd J. F. Quadrupole ion trap mass spectrometry. – John Wiley & Sons, 2005.