Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования
**«Национальный исследовательский
Томский государственный университет»**

IX Международная научно-практическая конференция

«Информационно-измерительная техника и технологии»

в рамках Международного форума

«Интеллектуальные системы 4-й промышленной революции»

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Спонсор

Организаторы

21-24 ноября 2018 года

г. Томск

применяются фазированные решётки, которые обеспечивают поле заданной конфигурации.

Предлагается метод численного моделирования левитации частиц в ультразвуковом поле в воздухе. Левитация реализуется в условиях, когда сила акустического воздействия превышает силу тяжести. Для вычисления силы действующей на сферическую частицу воспользуемся формулами Горькова [2]:

$$\mathbf{F} = -\nabla U \,, \tag{1}$$

где $U = 2\pi R^3 \rho \left(\frac{\overline{p^2}}{3\rho^2 c^2} f_1 - \frac{\overline{v^2}}{2} f_2 \right)$ – потенциал Горькова, $f_1 = 1 - \frac{c^2 \rho}{c_0{}^2 \rho_0}$, $f_2 = 2\frac{\rho_0 - \rho}{2\rho_0 + \rho}$, ρ – плотность среды (воздуха), ρ_0 – плотность вещества частиц.

Траектория частиц моделируется на основе уравнений движения Ньютона: $\mathbf{r}(t+\Delta t) = \mathbf{r}(t) + \mathbf{v}(t)\Delta t + \mathbf{a}\Delta t^2/2$ – координаты частицы в следующий момент времени, $\mathbf{v}(t+\Delta t) = \mathbf{v}(t) + \mathbf{a}\Delta t$ – скорость частицы, $\mathbf{a} = \mathbf{F}/m$ – ускорение частицы, m – масса частицы.

Ультразвуковое поле моделировалось на основе решения волнового уравнения для потенциала скорости методом конечных разностей во временной области. Рассматривается следующее волновое уравнение:

$$\Delta\Phi - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0 \,, \tag{2}$$

где Φ – потенциал скорости. Из потенциала скорости выражается акустическое давление и скорость: $p = -\rho \frac{\partial \Phi}{\partial t}$; $\mathbf{v} = \nabla \Phi$.

И уравнения движения, и волновое уравнение (2) решаются методом конечных разностей во временной области , а значит алгоритмически совместимы, что позволило реализовать чаленное моделирование левитации частиц в ультразвуковом поле средствами технологии параллельного программирования OpenCL не затрачивая больших ресурсов памяти.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 17-79-20051.

Список публикаций:

[1] *M. Settnes, H. Bruus. Forces acting on a small particle in an acoustical field in a viscous fluid // Physical review E. Vol. 85, 016327. – 2012. DOI: 10.1103/PhysRevE.85.016327*

[2] *Горьков Л.П. О силах, действующих на малую частицу в акустическом поле в идеальной жидкости// Доклады академии наук СССР. 1961, том 140 №1. С. 88-91.*

[3] *Diego Baresch, Jean-Louis Thomas, Regis Marchiano. Three-dimensional acoustic radiation force on an arbitrarily located elastic sphere // The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 133, 25 (2013). DOI:10.1121/1.4770256.*

[4] *Б. П. Шарфарец. Радиационное давление при рассеянии произвольного поля на включении сложной формы // Акустический журнал, 2010, том 56, № 6, с. 767-772*

[5] *P. B. Muller, R. Barnkob, M. Jakob Herring Jensen, H. Bruus. A numerical study of microparticle acoustophoresis driven by acoustic radiation forces and streaming-induced drag forces // The Royal Society of Chemistry. – 2012. DOI: 10.1039/c2lc40612h*

[6] *Shilei Liu, Yanye Yang, Zhengyang Ni, Xiasheng Guo, Linjiao Luo, Juan Tu, Dong Zhang, Jie Zhang. Investigation into the effect of acoustic radiation force and acoustic streaming on particle patterning in acoustic standing wave fields // Sensors 2017, Vol. 17, 1664; DOI: 10.3390/s17071664*

Управление упорядоченной группой частиц на основе ультразвуковой левитации

Дмитрий Яковлевич Суханов,
Завьялова Ксения Владимировна, Сергей Росляков,
Атарщиков Александр Алексеевич, Шаповалов Александр Евгеньевич
Томский государственный университет
sdy@mail.tsu.ru

Управление частицами в условиях ультразвуковой левитации необходимо для ряда практических приложений, таких как левитационые химические реакторы, пайка, сплавление и коагуляция. Возможно рассчитать траекторию частиц, находящуюся под действием бегущего ультразвукового поля на основе законов Ньютона, а управляя фазой и амплитудой волны задать для частицы требуемый вектор ускорения. Однако дальнейшая траектория частицы существенно зависит от сил трения, турбулентных потоков, градиентов температур. В результате, поведение частицы становится слабо предсказуемым. Целесообразно создавать для частицы потенциальную яму в заданной точке пространства, и далее путём перемещения области минимума потенциала обеспечить контролируемое движение частицы. Положение частицы в потенциальной яме должно стабилизироваться благодаря силе трения. В качестве функции потенциала предлагается применить потенциал Горькова [1,2].

Предлагается для управления положением частицы в трёхмерном пространстве применить ультразвуковые поля на разных частотах. Схема размещения излучателей представлена на рис. 1. Предлагается применить 6 излучателей плоских волн: по два встречно направленных излучателя для осей X, Y и Z. Излучатели по оси X излучают на частоте f_1, излучатели по оси Y излучают на частоте f_2, излучатели по оси Z излучают на частоте f_3. Встречные излучатели плоских волн создают стоячие волны. Левитирующие частицы группируются в узлы давления стоячих волн [3].

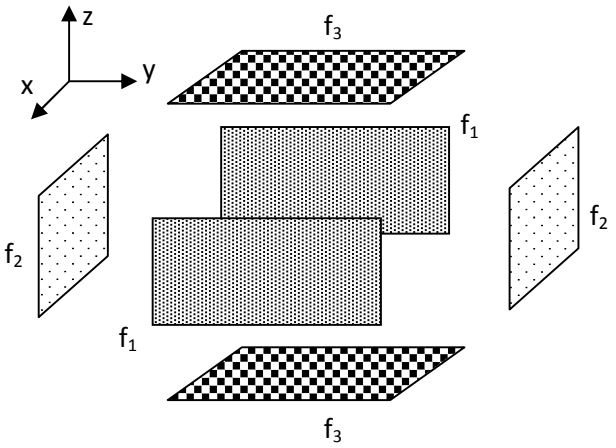

рис.1. Многоканальный блок генерирования и усиления ультразвуковых сигналов

Поскольку плоские стоячие волны сформированы излучателями, направленными по трём ортогональным осям, то частицы будут распределены в трёхмерной прямоугольной сетке. Если одна частица попадает в область облучения, она сместится в одну из узловых точек стоячей волны. Для управления частицей необходимо сдвигать положение узлов стоячих волн, что реализуется за счёт изменения разности фаз между встречными излучателями. Меняя разность фаз для встречных X, Y и Z ориентированных излучателей обеспечивается управление частицей в трёхмерном пространстве. Численное моделирование показало, что при совпадении частот f_1, f_2 и f_3 положение частицы становится менее устойчивым, поэтому необходимо обеспечить различие частот. Группа частиц, попадая в поле интерференции волн, выстраивается в решётку и управляется синхронно.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 17-79-20051.

Список публикаций:

[1] *Горьков Л.П. О силах, действующих на малую частицу в акустическом поле в идеальной жидкости// Доклады академии наук СССР. 1961, том 140 №1. С. 88-91.*

[2] *Diego Baresch, Jean-Louis Thomas, Regis Marchiano. Three-dimensional acoustic radiation force on an arbitrarily located elastic sphere // The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 133, 25 (2013). DOI:10.1121/1.4770256.*

[3] *Shilei Liu, Yanye Yang, Zhengyang Ni, Xiasheng Guo, Linjiao Luo, Juan Tu, Dong Zhang, Jie Zhang. Investigation into the effect of acoustic radiation force and acoustic streaming on particle patterning in acoustic standing wave fields // Sensors 2017, Vol. 17, 1664; DOI: 10.3390/s17071664*

Оптическая система контроля ультразвуковых колебаний

Дмитрий Яковлевич Суханов
Анжела Евгеньевна Кузовова
Томский государственный университет
sdy@mail.tsu.ru

Ультразвуковые колебания применяются в дефектоскопии, медицине, томографии и дистанционном зондировании [1-4]. Актуальна проблема измерения амплитуды ультразвуковых колебаний, в частности для ультразвуковых волноводов. Применения ультразвуковых колебаний позволяет ускорить протекания физико-химических процессов, как в технологических процессах, так и в биологических средах. Важнейшим параметром, характеризующим, работу ультразвуковой колебательной системы является, амплитуда колебаний. В зависимости от рассматриваемого процесса амплитуда колебаний подбирается максимальной в определенном узком диапазоне частот при этом необходимо учитывать, что если амплитуда окажется слишком высокой это приведет к разрушению колебательной системы. В настоящее время для измерения амплитуды колебаний применяются как контактные, так и бесконтактные методы. В случае контактных методов измерительный датчик непосредственно контактирует с измеряемой поверхностью. Среди бесконтактных методов наибольшее распространение получили оптические методы.

Предлагается оптический способ визуализации ультразвуковых колебаний на основе микроскопа, цифровой видеокамеры и стробоскопического освещения. Стробоскопическое освещение с частотой в десятки килогерц осуществляется с помощью быстродействующий инфракрасных светодиодов.