

ПОПЕРЕЧНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИЛА НА РЕЗОНАНСНЫЕ
АНИЗОТРОПНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Смагин М.В. (Университет ИТМО), Тофтул И.Д. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – PhD, доцент Петров М.И.
(Университет ИТМО)

Введение. Исследование акустической радиационной силы и крутящего момента являются основой для акустического манипулирования частицами, что находит применение для акустической левитации, сортировки, разделения и упорядочивания частиц. В этих прикладных задачах часто встречаются частицы несферической формы. Тем не менее, принято пренебрегать формой частиц и рассматривать их как сферы, для которых аналитическое решение имеет простой вид и хорошо известно. Недавние теоретические работы показали [1, 2], что геометрическая асимметрия может играть значительную роль во взаимодействии акустического поля и частицы, что может привести к неточностям при игнорировании этих эффектов, особенно для сильно несферических форм. Более того, эти эффекты могут представлять дополнительную степень свободы для акустического манипулирования частицами. Однако, в отличие от оптики, эффекты геометрической анизотропии практически не исследованы в акустике. Ранее автором было изучено акустомеханическое поведение анизотропных частиц в Рэлеевском режиме. Данная работа представляет собой расширение исследования в область Ми-резонансных частиц.

Основная часть. Для расчета акустической радиационной силы получено простое аналитическое выражение, включающее в себя монопольный и дипольный моменты, с введением нового, ранее игнорируемого члена, описывающего интерференцию мультиполей, что физически соответствует акустической силе отдачи, противоположной направлению импульса рассеянного поля. Было показано, что этот член необходим для корректного описания акустомеханического поведения геометрически анизотропных частиц, что демонстрируется на модели частицы эллипсоидной формы.

Далее было численно продемонстрировано, что при падении на частицу плоской волной в резонансном режиме на определенных частотах она может принимать положение, в котором происходит стабильное к возмущениям поперечное к направлению волны движение частицы. Частотная селективность этого эффекта обуславливает потенциальное его применение в сортировке частиц по их форме и размеру, что демонстрируется на примере из биологической акустофлюидики.

Данный эффект был проанализирован в монополь-дипольном приближении. Продemonстрировано, что в Рэлеевском режиме возникновение эффекта невозможно, однако данный эффект можно объяснить при учёте нелокальности несферических частиц, т.е. в приближении частицы среднего размера ($ka \sim 1.3$) стабильное поперечное движение объясняется эффектом связи мультиполей в отклике анизотропных частиц [3].

Выводы. Было получено аналитическое выражение для акустической радиационной силы в монополь-дипольном приближении, корректно описывающее акустомеханическое поведение анизотропных частиц. Численно продемонстрировано существование эффекта стабильной поперечной силы в резонансном режиме, и показано, что в субволновом режиме данный эффект невозможен. Продemonстрировано, что в приближении частицы среднего размера данный эффект возникает из-за нелокальности анизотропных частиц.

Список использованных источников:

1. Lima E. B., Silva G. T. Mean acoustic fields exerted on a subwavelength axisymmetric particles // J. Acoust. Soc. Am. — 2021. — Vol. 150, no. 1. — P. 376

2. Acoustic radiation force and radiation torque beyond particles: Effects of nonspherical shape and Willis coupling . // Physical Review E — 2021. Vol. 144
3. Acoustic resonators: Symmetry classification and multipolar content of the eigenmodes / M. Tsimokha [et al.] // Phys. Rev. B. — 2022. — Vol. 105, no. 16. — P. 165311.