

**Хирально-индуцированная поперечная акустическая сила**  
**Цимоха М.А.** (Университет ИТМО), **Смагин М.В.** (Университет ИТМО)  
**Научный руководитель – мл. науч. сотр. Тофтун И.Д.**  
(Университет ИТМО)

**Аннотация.** При рассмотрении действия акустической силы на субволновой объект (резонатор), чаще всего направление действия этой силы совпадает с направлением ее распространения. Тем не менее, при определенных нарушениях *симметрии системы* в целом (акустическая волна, резонатор и его окружение) можно также наблюдать ненулевую акустическую силу, направленную нормально к направлению распространения волны, то есть *поперечную акустическую силу*. В данной работе было теоретически продемонстрировано появление такой латеральной силы в системе с плоской акустической волной, падающей на трехмерную спираль, расположенную на подложке из схожего материала.

**Введение.** Манипулирование субволновыми частичками с помощью сложных конфигураций акустического поля набирает популярность. В частности, это находит применение при создании объемных дисплеев [Nature, 575, 320–323 (2019)]. В этой работе мы рассматриваем отдельный класс рассеивателей — *хиральные частицы* или частицы, в которых наблюдается *связывание Вилли* [Phys. Rev. B 98, 174305 (2018)]. влияние нарушение зеркальной и центральной симметрии на акустическую силу из-за неоднородного перераспределения падающего поля. Так при падении акустической волны на хиральный объект над подложкой, появляется сила поперечного давления из-за неоднородной диаграммы направленности рассеянного поля. Это приводит к силе отдачи, то есть к поперечной акустической силе. Интересно заметить, что в оптике этот эффект был изучен аналитически и проверен экспериментально [ACS Photonics 2022 9 (2), 319-332], до этого никто не применял тех же закономерностей к акустическим системам. Таким образом, в этой работе изучается сила акустического давления на субволновый объект при нарушении симметрии системы в целом.

**Основная часть.** Система состоит из падающей плоской акустической волны и субволнового объекта, главная ось которого параллельна направлению распространения волны. Для того, чтобы получить силу, действующую нормально к главной оси субволнового объекта, необходимо задать нарушение симметрии по двум направлениям: симметрии отражения и центральной симметрии.

В случае изотропной симметричной по всем осям частицы, например, сферы, связь между монопольной и дипольной модой отсутствует, что означает, что в матрице обобщенной поляризуемости остаются только диагональные элементы. В системе с такой симметрией плоская акустическая волна, падающая в любом направлении, порождает акустическую силу давления, действующую на частицу только в одном направлении — сонаправленно с осью распространения плоской волны. Все остальные компоненты вектора силы обнуляются. Для того, чтобы в матрице обобщенной поляризуемости недиагональные элементы оставались ненулевыми, достаточно нарушить центральную симметрию, например рассмотреть хиральный субволновой объект. В частности, мы рассмотрели объемную лево- или право-закрученную спираль. Тем не менее, нарушение только центральной симметрии в субволновом объекте не является достаточным для появления ненулевой нормальной компоненты вектора силы акустического давления, необходимо также нарушить зеркальную симметрию. Например, достаточно положить спираль на подложку. В такой системе асимметричность рассеяния, а следовательно и возникновение поперечной силы, создается из-за переотраженного поля от подложки, которое снова рассеивается на частице.

Иными словами, совокупность двух описанных нарушений симметрии в системе “акустическая волна-субволновая частица” гарантируют возможность появления ненулевой компоненты силы акустического давления, действующей нормально к оси распространения падающей акустической волны.

В настоящей работе в качестве субволнового объекта использовалась трехмерная спираль, главная ось которой была сонаправлена с осью распространения волны, расположенная на подложке из схожего со спиралью материала. В настоящей работе с помощью численного моделирования в COMSOL Multiphysics © был проведен численный эксперимент, который подтвердил симметричные соображения описанные выше. Была получена ненулевая компонента поперечной акустической силы, наблюдаемая в системе с подобными нарушениями симметрии.

**Выводы.** В работе было исследовано поведение акустической силы давления в зависимости от симметрии резонатора и системы в целом; продемонстрировано появление ненулевой латеральной компоненты силы при падении волны на хиральный резонатор с нарушенной симметрией отражения относительно главной оси. Полученные результаты будут полезны в задачах сортировки, а также при создании приборов на основе акустических метаматериалов, где необходимо контролировать направленность переизлучения на субволновом уровне.