

УДК 534.8

ВРАЩЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЖИДКОСТНЫХ ЯЧЕЕК В АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

А. Р. ЗЕЛИНСКИЙ, Д. С. ТИМОШЕНКО, Д. Л. АРТЁМОВ, И. И. САЗОНОВ

Научный руководитель П. Я. ЧУДАКОВСКИЙ, канд. физ.-мат. наук

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В работе экспериментально реализуется вращение миниатюрных объектов и жидкостных ячеек в ультразвуковом поле. Вращение указанных объектов представляет интерес в задачах биофизики, микрофлюидики, при исследовании диффузионных процессов и процессов кристаллизации. В роли жидких ячеек могут выступать биологические клетки, капли жидкости с бактериями, коллоидные растворы и др. Например, в биофизических исследованиях клеткам преднамеренно задают вращение с целью извлечения из них сторонних соединений [1, 2].

Вращение объектов осуществлялось нами в условиях ультразвуковой левитации. Известно, что левитация объектов (частиц) возникает в стоячей волне, характеризующейся узлами и пучностями. Для получения стоячей волны использовались магнитострикционный излучатель и акустический резонатор, представленные на рис. 1 и 2 соответственно. На рис. 1. обозначены: 1 – ферритовый сердечник; 2 – корпус катушки; 3 – обмотка катушки; 4 – кольцевой магнит; 5 – драйвер на транзисторе для усиления интенсивности ультразвука; 6 – генератор сигналов специальной формы; 7 – блок питания драйвера.

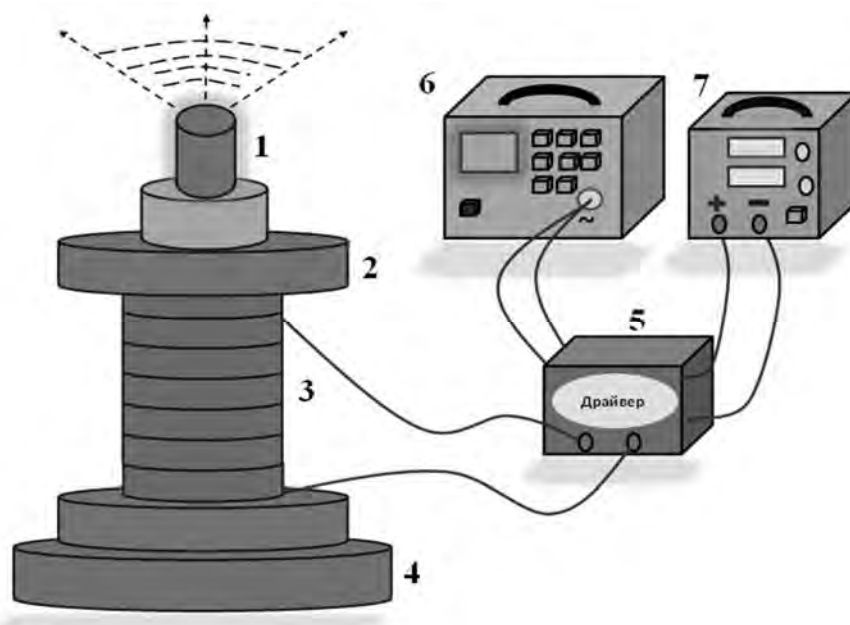


Рис. 1. Магнитострикционный излучатель и схема его подключения

Акустический резонатор на рис. 2, *а* образован ультразвуковым излучателем с параболической насадкой и вогнутым отражателем. На рис. 2, *б* представлен такой излучатель и его вид сверху, где 1 – излучатель, 2 – насадка.

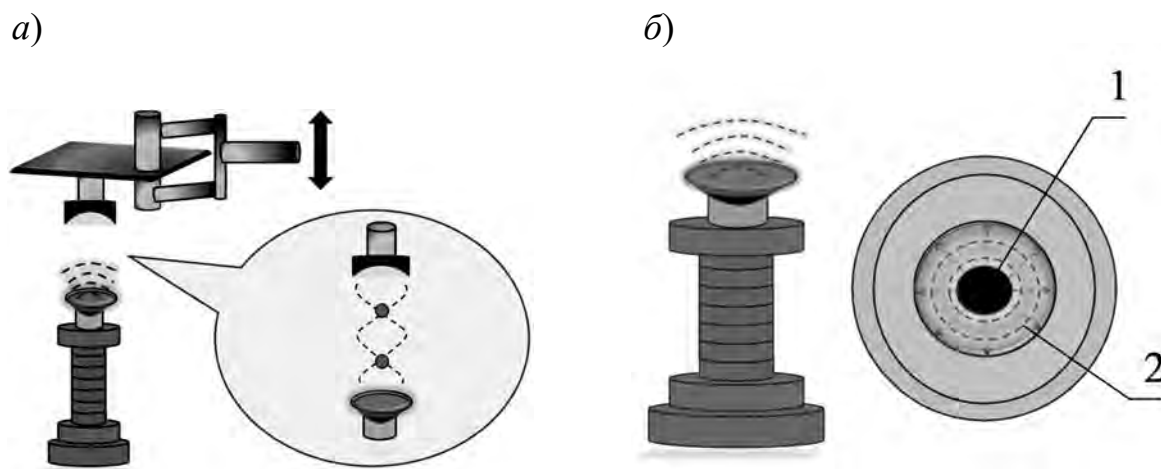


Рис. 2. Схема реализации стоячей волны (*а*) и ультразвуковой излучатель с параболической насадкой (*б*)

В эксперименте по реализации стоячей волны с использованием излучателя без насадки нам удалось захватить жидкую каплю, а затем вывести её из устойчивого равновесия, заставив вращаться по круговой траектории. На рис. 3 изображен трек (след) капли, подсвеченной лазерным излучением.

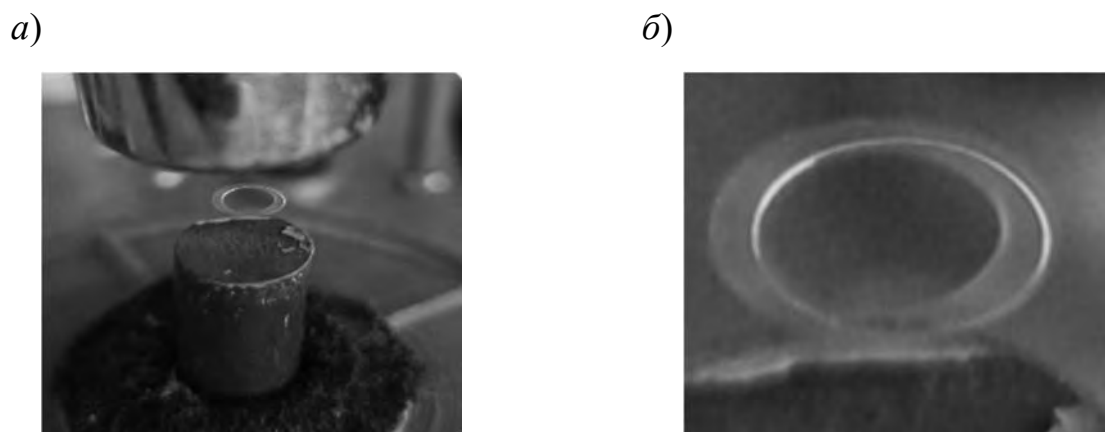


Рис. 3. Трек капли жидкости, испытывающей вращательное движение по круговой траектории в акустическом поле (*а*), и изображение трека в увеличенном масштабе (*б*)

В экспериментах с помощью излучателя ультразвука с насадкой миниатюрные объекты вовлекались во вращательное движение относительно собственной оси. Так, на рис. 4 представлены цифровые фотографии вращающихся объектов из различных материалов.

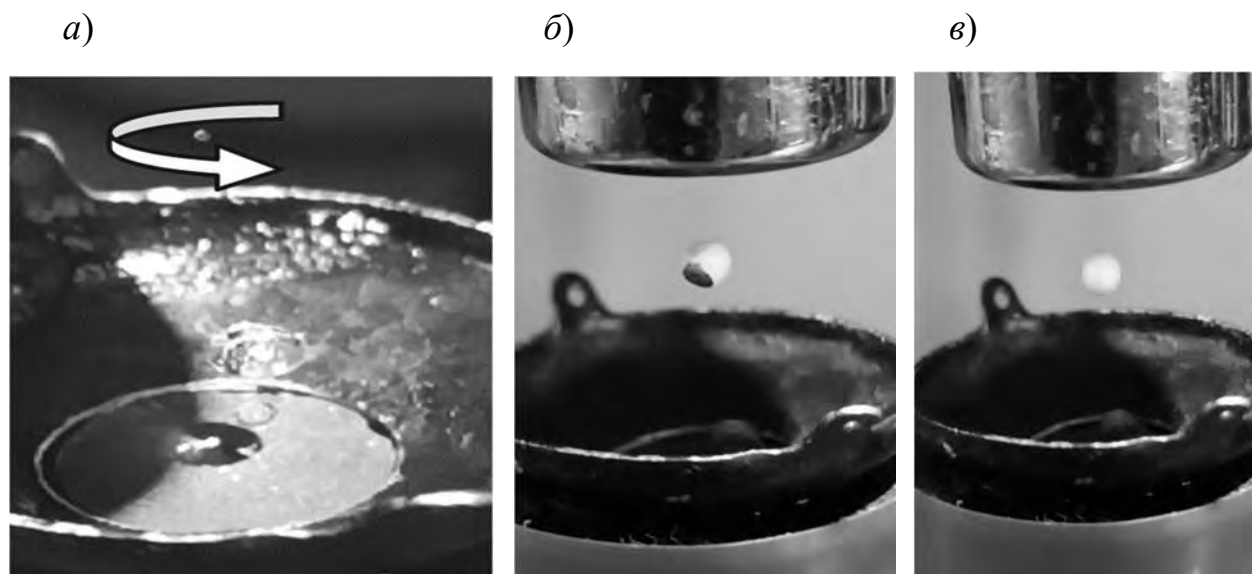


Рис. 4. Вращение миниатюрных объектов из различных материалов в акустическом поле: *а* – мыльная вода; *б*, *в* – пенопласт

Как видно из рис. 4, *а*, вращение испытывает жидкая капля (капля мыльной воды). На рис. 4, *б* левитирует пенопластовый шарик, на котором нанесена метка. На рис. 4, *в* этот же шарик вращается относительно собственной оси (из-за вращения цифровая камера не успевает зарегистрировать метку). При этом вращение этих объектов может быть контролируемым за счет изменения режимов работы излучателя (изменение рабочей частоты и питания драйвера, усиливающего интенсивность ультразвука). Частоты магнитострикционного излучателя ультразвука в экспериментах лежали в интервале от 58,6 до 59 кГц. В качестве генератора использовался генератор специальных сигналов АКИП–3408/1. Для питания драйвера применялся источник питания Б5-84. Напряжение, прикладываемое к драйверу, не превышало 11 В.

Таким образом, в работе фактически реализована акустическая ротационная ловушка, использование которой совместно с оптическими методами позволит исследовать поведение биологических объектов, процессы совместимости (смешивания) различных жидких сред. Рассматривая вращения твердых тел, можно попытаться исследовать процессы напыления покрытий. Указанное выше является предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Acoustic levitation of liquid drops: dynamics, manipulation and phase transitions / D. Zang [et al.] // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2017. – Vol. 243. – P. 77–85.
2. Rotation of biological cells: fundamentals and applications / T. Tang [et al.] // *Engineering*. – 2022. – Vol. 10. – P. 110–126.