

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крохмаль Алисы Александровны «Позиционирование объектов с помощью акустической радиационной силы в задачах биофабрикации», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7. Акустика

Диссертация Алисы Александровны Крохмаль относится к области приложений современной акустики в задачах бесконтактного манипулирования объектами, в частности в проблемах биофабрикации тканей для медицинской трансплантологии и для исследований по лекарственной терапии. Акустические методы традиционно обладают такими достоинствами для медицины, как неинвазивность воздействия и, как правило, безопасность облучения. Методы бесконтактного манипулирования небольшими объектами сейчас активно и успешно развиваются, в том числе с помощью динамического конфигурирования акустических полей. В этом направлении при работе с живыми культурами весьма важной становится проблема сборки устойчивых жизнеспособных трехмерных структур необходимой конфигурации из биологических тканей. Акустический подход, среди прочего, позволяет отказаться от искусственных каркасов, часто играющих негативную роль. Однако, универсальных акустических методов манипулирования пока не существует, и в каждом случае решается своя задача, наилучшим образом удовлетворяющая заданным требованиям. Таким образом, поставленная цель диссертации — разработка экспериментальных подходов для манипулирования объектами с помощью акустической радиационной силы в задачах биофабрикации является актуальной с научной и прикладной точки зрения.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения с основными результатами. В первой главе автор теоретически и экспериментально исследует возможность акустического удержания и сборки в трубчатые конгломераты таких частиц малого волнового размера, как полистироловые шарики, керамические гранулы и тканевые сфероиды. Показано, что с помощью поля стоячей волны, создаваемой полым цилиндрическим излучателем, можно сформировать жизнеспособную трубчатую структуру из хондроцитов. Вторая глава посвящена изучению акустической радиационной силы, действующей на рассеиватель произвольного волнового размера. Автором создана открытая программа с удобным интерфейсом для расчета радиационной силы со стороны произвольного пучка на упругую сферу. Было смоделировано поле звукового пучка с фазой, линейно меняющейся по своду сферического излучателя, и экспериментально подтвержден вывод о том, что сконфигурированное таким образом поле может удерживать макроскопический объект в устойчивом положении. В третьей главе в качестве альтернативы акустическому рассмотрен способ биофабрикации на основе магнитофоретической силы. В качестве источника градиентного магнитного поля применялась комбинация постоянных неодимовых магнитов. Построенная численная модель хорошо описывает наблюдавшуюся экспериментальную динамику сборки керамических гранул. Была установлена зависимость скорости сборки от вязкости жидкой среды и разности магнитных проницаемостей сфероидов и среды. Успешная проверка возможностей магнитофоретической сборки тканевых сфероидов в условиях невесомости была проведена на Российском сегменте МКС. В заключительной главе для осуществления левитации живых тканей в растворе использован метод комбинации магнитного и акустического полей. Была осуществлена сборка жизнеспособных трубчатых струк-

тур из тканевых сфероидов. При этом использовались как постоянные магниты, так и электромагнит Биттера. Было показано, что применение сильного поля электромагнита Биттера позволяет существенно снизить требуемую концентрацию парамагнетика в растворе, что благотворно влияет на жизнеспособность собранной структуры.

Судя по автореферату, работа А.А. Крохмаль представляет из себя достаточно полное и комплексное экспериментальное исследование поставленной задачи акустического манипулирования в целях биофабрикации. Хорошая теоретическая проработка, и предварительное численное моделирование позволили автору успешно выполнить многочисленные эксперименты, в том числе и с использованием уникальных инструментов. Проведенные исследования процессов сборки конгломератов при левитации не только в акустическом, но и в магнитном поле, а также в их комбинации, служит удачным примером междисциплинарного подхода в решении научно-прикладной задачи. Среди результатов хочется отметить разработку и реализацию метода акустического удержания крупного объекта в специально сфазированном поле многоэлементного излучателя, а также демонстрацию биофабрикации жизнеспособного трубчатого конгломерата тканей с помощью комбинации акустического и магнитного полей. К несомненным достоинствам диссертации следует отнести активное участие автора в международном сотрудничестве, позволившем воспользоваться таким инструментом, как магнит Биттера, а участие в эксперименте на МКС является безусловным украшением работы.

Автор демонстрирует хорошее владение техникой научного эксперимента, высокий уровень теоретической подготовки, основательные знания и навыки в области современных методов компьютерного моделирования. Автореферат написан ясным научным языком, подробно проиллюстрирован. Результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых отечественных и зарубежных научных изданиях, доложены на многочисленных конференциях. Их достоверность, высокий научный уровень и ценность для практических применений не вызывает сомнений. Созданный автором программный комплекс для вычисления радиационной силы находится в открытом доступе и легко может быть востребован как для научных, так и для учебных целей.

Можно выделить ряд следующих замечаний, не снижающих высокий уровень представленной работы:

1. Стр.12, описание параграфа 1.2. и Рис. 1. Насколько новым является тот факт, что гранулы собираются в узлах поля стоячей волны, и что расстояние между слоями составляет половину длины волны? Представляется, что это известно.
2. Стр.13 параграф 1.3. Из автореферата непонятно, какое значение интенсивности поля следует считать в данном случае низким, и по какому параметру?
3. Параграф 4.1. Термин "магнито-акустический" уже занят областью магнитоакустики - акустикой сред с магнитными свойствами, которая изучает в т.ч. магнитоупругие волны.

Исходя из изложенного выше, считаю, что данная работа соответствует специальности 1.3.7. Акустика и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», а ее автор, Крохмаль Алиса Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7. Акустика.

Ведущий научный сотрудник, к.т.н.

(шифр научной специальности: 05.27.01 — твердотельная электроника и микроэлектроника)

_____ Крутянский Л.М.

подпись, дата

Данные об авторе отзыва:

Крутянский Леонид Михайлович, ведущий научный сотрудник лаборатории ультразвуки Научного центра волновых исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ им. А.М. ПРОХОРОВА Российской академии наук» (филиал).

Адрес: 123007, Москва, 5-я Магистральная ул., д. 11;

Контакты:

e-mail: leonid.krut@kapella.gpi.ru;

тел.: +7(499)503-8857

Отзыв составлен 21.12.2022

Я, Крутянский Леонид Михайлович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета МГУ.013.6 и их дальнейшую обработку _____.

подпись, дата

Подпись Крутянского Леонида Михайловича удостоверяю

Ученый секретарь НЦВИ,

к.ф.-м.н.

_____ Луньков А.А.

подпись, дата