

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Макалкина Дмитрия Ильича
«Динамика межфазных границ, сепарирование и абляция в
двухкомпонентных конденсированных средах под действием
ультразвука», представленной на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика
конденсированного состояния

Актуальность и новизна темы диссертационного исследования

В диссертации Дмитрия Ильича Макалкина представлены новые результаты применения ультразвуковых технологий для воздействия на границу жидких сред. Научный интерес к этому направлению исследования объясняется потребностями развития современных технологий, которые включают в себя создание микроустройств и “лабораторий на чипах” предназначенных для проведения химических реакций в малых объемах жидкостей и манипулирования ими посредством радиационного давления ультразвука. В настоящее время такой подход реализуется в виде акустоэлектронных устройств, предназначенных для проведения в реальном времени химического и биологического автоматизированного анализа и синтеза жидких растворов [Прохоров А.М., 1998]. Однако, в публикациях по этой тематике приводятся результаты исследования границы жидкость-газ или случай, когда эффектами взаимодействия жидкостей со стенками сосуда можно пренебречь. В этой связи, исследование явлений на границе несмешиваемых маловязких жидкостей, заключенных в малый объем, а также воздействия ультразвука на коллоидные растворы представляется актуальным. Коллоидные растворы находят все большее применение в оптических устройствах и элементах хемосенсоров. Эффект сепарирования коллоидных частиц в акустическом поле имеет перспективы при разработке компьютеризированных устройств определения концентрации эритроцитов (Гурбатов С.Н. и др., 2010; Руденко О.В. и др., 2010).

Значительная часть диссертации посвящена экспериментам по определению коэффициента межфазного натяжения (КМФН) на границе раздела бинарных жидкостей (БЖ). Автором предложен способ определения КМФН с высокой точностью и скоростью. Коэффициент межфазного натяжения является одним из важнейших параметров при изучении процессов образование тумана, пены, эмульсий, суспензий (Diwakar et al., 2018) и играет важную роль в понимании процессов адгезии и капиллярных эффектов. В случае БЖ принятые методы измерения КМФН, оказываются неэффективными. Это связано с влиянием измерительного оборудования на растворимость БЖ, зависящую от исходного содержания каждой компоненты и температуры (Kumar et al., 1983). Измерение малых значений КМФН востребовано в материаловедении (Rhim et al., 1999; Nyers, Rogers, 2008); для этого в (Vibhor, 2016) был предложен метод на основе неустойчивости Фарадея, реализуемый в условиях микрогравитации и позволяющий достигнуть приемлемую точность измерений. Однако, такой способ требует громоздкого оборудования с высоким энергопотреблением, что критично для работы на борту самолета или орбитальной станции. С этой точки зрения работа выполненная автором оказывается весьма актуальной.

Общая характеристика работы.

Целью работы являлось экспериментальное изучение особенностей динамики межфазных границ, эффектов сепарирования и абляции в двухкомпонентных конденсированных средах при ультразвуковом воздействии. В соответствии с заявленной целью были предложены следующие решения.

В главе 1 представлены результаты экспериментального наблюдения явлений, возникающих на границе несмешиваемых маловязких жидкостей, заключенных в цилиндрическую кювету, в результате воздействия сфокусированного ультразвукового импульса. С помощью импульсно-периодического воздействия реализовано возбуждение низшей симметричной моды колебаний границы жидкостей. Экспериментально показано влияние положения фокуса ультразвукового пучка относительно границы двух жидкостей на деформацию этой границы. Обнаружено, что управляемая эмиссия капель возможна лишь при смещении фокальной области ультразвукового пучка вглубь второй жидкости. Исследовано влияние периодичности и интенсивности ультразвукового воздействия на эффективность возбуждения колебаний на границе жидкостей. По мере роста интенсивности ультразвуковых импульсов, воздействующих на границу раздела, выделено три характерных режима: вынужденные колебания границы раздела, управляемая ультразвуком эмиссия одиночных капель одинаковых размеров и стохастическая ультразвуковая эмиссия множественных капель. В первом режиме экспериментально обнаружено существование порога возбуждения колебаний границы раздела, и показана зависимость его величины от состава жидкостей. Во втором режиме получена линейная зависимость размера эмитируемых капель от длительности ультразвукового импульса, имеющая место в определенном диапазоне длительностей. Показано, что положением границ этого диапазона можно управлять путем позиционирования фокуса ультразвукового излучения относительно границы раздела жидкостей. Безусловно, эти результаты найдут практическое применение.

В качестве замечания к главе 1 можно выделить следующее. Для более полного описания поведения границы раздела двух жидкостей в малом объеме при воздействии на нее ультразвуком было бы полезно сформулировать критерии для оценки минимальной радиационной силы необходимой для возникновения наблюдаемого явления, оценить минимальные размеры сосуда, оказывающие влияния на процесс возникновения деформации на границе жидкостей.

В главе 2 представлены результаты разработки импульсного ультразвукового метода, позволяющего в условиях микрогравитации определять малые значения коэффициента межфазного натяжения на границе бинарных жидкостей с более высокой скоростью измерения в сравнении с известными методами. Выполнен сравнительный анализ результатов эксперимента в двух режимах – «импульсном» и «квазигармоническом», а с опубликованными другими авторами при альтернативных подходах. Показано, что предложенный в диссертации метод отличается повышенной точностью, скоростью измерения, простой реализацией, применимостью к бинарным жидкостям с малыми значениями коэффициента межфазного натяжения

В изложенном материале есть ряд неточностей и стилистических несовершенств.

Например, на странице 69 написано *«Однако несмотря на то, что каждое отдельно взятое измерение в квазигармоническом режиме является более точным, из-за меньшего числа данных результирующая ошибка обычно оказывается больше ошибки импульсного*

режима». Почему в «квазигармоническом» режиме получается меньшее число данных по сравнению с «импульсным». Осталось неясно, ограничено ли это временными рамками, определяемыми продолжительностью явления микрогравитации.

Также на странице 69 сказано: «Графики линейной регрессии, представленные на Рис. 2.4.1б и Рис. 2.4.2б для двух комбинаций жидкостей, демонстрируют разные отклонения экспериментальных точек от теоретических прямых». Корректнее написать: «...отклонения экспериментальных значений от теоретических». Далее следует: «Индивидуальные отклонения сильнее для пары жидкостей FC72/1.0cSt. Это можно объяснить более высокой неопределенностью измерений скорости капиллярной волны для малых значений σ ». В результате изложения остается непонятно – связано ли отклонение значений со свойствами той или иной пары жидкостей или это определяется неопределенностью измерения скорости капиллярной волны при малых значениях σ . Есть ли критерии малости σ , при которых метод не может быть применим?

Далее следует: «Но, как уже было указано выше, в окончательном результате эти повышенные отклонения точек оказываются скомпенсированы их большим количеством, и в итоге это привело к еще большей относительной точности результата для второй пары жидкостей». Остается неясным - почему для первой пары это не наблюдается.

В Главе 3 приведены результаты экспериментального наблюдения эффекта сепарирования эритроцитов крови человека в поле стоячих поверхностных акустических волн. Эффект сепарирования исследовался ранее на объемных волнах [К. Маслов и др.]; в диссертации автором показана возможность наблюдать это явление на поверхностных волнах. Установлено качественное соответствие экспериментальных данных теоретической модели, развитой О.В. Руденко с соавторами в работе 2010 г., и ранее полученными ими экспериментальными результатами по сепарированию частиц кремнезема в поле стоячих поверхностных волн.

Нужно отметить, что автором не было отмечено как на это явление влияет ограниченное пространство сосуда, в котором происходит сепарация частиц и возникают ли акустические течения. Качественное описание могло бы быть полезным при создании устройств «lab-on-chip».

В главе 4 приведены результаты экспериментального исследования особенностей деструктивного воздействия сфокусированного мощного ультразвукового излучения мегагерцового диапазона на фантом почечных камней. Автором описана экспериментальная установка и приводятся результаты измерения параметров частиц, образующихся в результате абляции фантома почечного камня. Из изложенного в диссертации неясно от чего зависит размер образующихся частиц, существует ли корреляция между их размером и параметрами применяемого ультразвукового излучения (частотой, амплитудой и т.д.)

Нужно отметить, что диссертация выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в ВАК», предъявляемых к кандидатским диссертациям. По результатам диссертации опубликовано 11 работ, из которых 5 в журналах, индексируемых в WoS, Scopus, РИНЦ и списке ВАК. Диссертация Д.И. Макалкина представляет собой законченное исследование, научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов которого не вызывает сомнения.

Считаю, что автор диссертационной работы Макалкин Дмитрий Ильич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.


Официальный оппонент:

Петронюк Юлия Степановна, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории акустической микроскопии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук». Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.06 – Акустика.

Адрес: 119334, г. Москва, ул. Косыгина, д.4, Лаборатория акустической микроскопии, ИБХФ РАН. E-mail: jps7@mail.ru; тел.: +7 (499) 137-83-47.

Сайт организации: <https://ibcp.chph.ras.ru/>

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета Д002.063.02 при ИОФ РАН и их дальнейшую обработку

 Петронюк Ю.С.
Подпись, дата 23.11.2020г.

Подпись Петронюк Юлии Степановны удостоверяю.

Ученый секретарь,



 Скалацкая С.И.
Подпись, дата