

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.418.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 08.06.2022 № 8

О присуждении Аль-Музайкеру Мохаммеду Али Яхья Али, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование влияния локальных источников и стоков тепла на перенос микрочастиц и формирование паттернов в тонких слоях жидкости» по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 23 марта 2022 года, протокол заседания №5 диссертационным советом 24.2.418.02, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6. Приказ Минобрнауки России от 02.11.2012 № 714/нк.

Соискатель Аль-Музайкер Мохаммед Али Яхья Али, 22.11.1991 года рождения, в 2017 году окончил магистратуру по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» ФГАОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» с отличием. В период подготовки диссертации соискатель Аль-Музайкер Мохаммед Али Яхья Али обучался в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет» на кафедре прикладной и технической физики по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (профиль: Теплофизика и теоретическая теплотехника) с 01.09.2017 по 31.08.2021. Диплом об окончании аспирантуры (серия 107224, № 4674396) выдан 14.07.2021

федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Тюменский государственный университет».

В настоящее время работает инженером-исследователем научно-исследовательской лаборатории фотоники и микрофлюидики Института экологической и сельскохозяйственной биологии (Х-БИО) ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре прикладной и технической физики Физико-технического института ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Иванова Наталья Анатольевна, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией фотоники и микрофлюидики Института экологической и сельскохозяйственной биологии (Х-БИО) ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Официальные оппоненты: 1) Кузнецов Владимир Васильевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории процессов переноса в многофазных системах Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН; 2) Орлова Евгения Георгиевна – кандидат физико-математических наук, доцент Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Ведущая организация ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории гидродинамики и теплообмена Института энергетики и перспективных технологий Саушиным Ильей Ирековичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории гидродинамики и теплообмена Института энергетики и перспективных технологий Душиным Николаем Сергеевичем и доктором технических наук, профессором, руководителем

Института энергетики и перспективных технологий, заведующим лабораторией гидродинамики и теплообмена Михеевым Николаем Ивановичем, утвержденным директором ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», профессором РАН, доктором физико-математических наук Калачевым Алексеем Алексеевичем, указала, что диссертационная работа Аль-Музайкера Мохаммеда Али Яхья Али «Исследование влияния локальных источников и стоков тепла на перенос микрочастиц и формирование паттернов в тонких слоях жидкости» по объему выполненных исследований, научной новизне и практической значимости диссертация является законченным научным трудом и содержит все компоненты, позволяющие классифицировать её как соответствующую требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденному Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., в части, касающейся диссертаций на соискание степени кандидата наук и паспорту специальности 1.3.14, а её автор, Аль-Музайкер Мохаммед Али Яхья Али, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соискатель имеет 14 работ по теме диссертации, в том числе 4 работ в изданиях, индексированных базами данных Web of Science и Scopus, 2 публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ. Общий объем научных изданий 7,69 п.л., из них вклад автора – 5,69 п.л. Недостоверные сведения об опубликованных М.А.Я.А. Аль-Музайкером работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значимые публикации:

1. Al-Muzaiqer M.A. Transport and assembling microparticles via Marangoni flows in heating and cooling modes / M. A. Al-Muzaiqer, N. A. Ivanova, V. M. Fliagin, P. V. Lebedev-Stepanov // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2021, 621(5):126550 (Web of Science, Scopus).
2. Al-Muzaiqer M. Fabrication of Ring-Shaped Deposits of Polystyrene Microparticles Driven by Thermocapillary Mechanism / M. Al-Muzaiqer, N. Ivanova, D. Klyuev // Materials, 2021, 14(18):5267 (Web of Science, Scopus).

3. Al-Muzaiqer M. A. Nonuniform heating of a substrate in evaporative lithography / M. A. Al-Muzaiqer, K. S. Kolegov, N. A. Ivanova, V. M. Fliagin // *Physics of Fluids*, 2021, 33:092101 (Web of Science, Scopus).
4. Kubochkin N. S. Detachment of particles from surfaces by thermocapillary flows induced by a moving laser beam / N.S. Kubochkin, A.V. Tatosov, M. Al-Muzaiqer, N.A. Ivanova // *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2019, 33(15):1-19 (Web of Science, Scopus).
5. Аль-Музейкер М. Я. Исследование переноса микрочастиц в тонком слое жидкости под воздействием градиента температуры / М. Я. Аль-Музейкер, В. М. Флягин, Г. Л. Обаид Обаид, Н. А. Иванова // *Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика*, 2021, 2(26):10-26 (ВАК).
6. Аль-Музейкер М. Я. Влияние смачиваемости подложки и влажности воздуха на самосборку наночастиц при испарении капель коллоидных растворов М. Я. Аль-Музейкер, Т. Е. Есенбаев, Н. С. Кубочкин, М. Д. Горева, Н. А. Иванова // *Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика*, 2019, 5(3):83-96 (ВАК).

На автореферат поступили 9 отзывов от:

1. Доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией экспериментальной гидродинамики НИИ механики МГУ имени М. В. Ломоносова **Веденеева В.В.** с замечанием (положительный отзыв):
 1. Не пояснено, является математическая модель (1), (2) разработкой автора, или она была известна в литературе. Не указано, на основании каких гипотез она получена.
 2. На стр. 19 указано: “На рисунке 19 ... видно, что внешняя граница резкая, а внутренняя - пологая и размазанная”. Однако, увидеть разницу между внешней и внутренней границами на рис. 19 рецензенту не удалось.
2. Кандидата физико-математических наук, старшего научный сотрудник лаборатория интенсификации процессов теплообмена ФГБУН Института

теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН Гатаповой Е.Я. с замечаниями (положительный отзыв): в диссертации не проведен анализ влияния размера микрочастицы или его веса на скорость образования паттернов и качество самого рисунка. Также непонятна зависимость толщины самой упаковки от толщины пленки и интенсивности нагрева. Что будет если резко переключать мощность (например, от максимальной величины вниз до заданной за короткий промежуток времени)?

3. Кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Тюменского отделения «СургутНИПИнефть», ПАО «Сургутнефтегаз» Чемоданова С.И. с замечаниями (положительный отзыв):

1. Из автореферата непонятно как именно контролировалась толщина слоя жидкости.
2. Не все аббревиатуры расшифрованы, например, ЭСМ на стр. 7.
3. Не все буквы, обозначающие физические величины помечены курсивом, например, диаметр микрочастиц d , вместе d .

4. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории механики сложных жидкостей Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН Федюшкина А.И. с замечаниями (положительный отзыв):

1. В автореферате не приводятся данные о влиянии свойств материалов, не говорится о влиянии на результаты исследований граничных условий на свободной и твердой поверхностях (например, числа Био, краевого угла)
2. В работе не приведены значения безразмерных определяющих чисел Марангони, Прандтля, Шмидта, числа капиллярности, чисел Фурье, а также о малости чисел Рэлея (теплового и концентрационного), что было бы полезно для обобщения результатов, полученных диссертантом. Кроме того, не сказано обо всех силах, действующих на частицы, степени их действия в данных экспериментах, а также о степени влияния частиц на течение жидкости.

3. В автореферате не сказано о возможном изменении капиллярных свойств жидкости в течение эксперимента и влиянии на результаты.
4. В автореферате встречаются опечатки, например, на стр.15 вместо слова «частиц», написано «части».
5. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника, доцента факультета наук о материалах Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова **Климонского С.О.** с замечаниями (положительный отзыв):
 1. Непонятно, какую роль в проведённых исследованиях играла сферичность или, наоборот, несферичность частиц.
 2. Неясно, из каких соображений выбирались пределы, в которых варьировалась начальная толщина слоя несущей жидкости. При этом из экспериментов по охлаждению (рис. 9 б, в) следует, что при минимальной из исследованных толщин суспензии частиц полиэтилена в полиметилсилоксане (230 мкм) конечная площадь, освобожденная от части, оказывается существенно ниже, чем при других толщинах. Возникает вопрос, с чем это связано, и будет ли наблюдаться дальнейшее снижение площади, если взять начальную толщину слоя полиметилсилоксана еще меньше.
 3. Непонятно также, почему в аналогичных экспериментах с изопропанолом свободная площадь с увеличением толщины слоя изопропанола монотонно падает (рис. 9в). Если исходить из того, что частицы иммобилизуются на периферии из-за истончения пленки жидкости, вызванного испарением, то должно, вроде бы, быть наоборот.
 4. В работе предполагается пассивное движение частиц, увлекаемых термоконвекционными потоками, но при этом не учитывается наличие между ними сил, связанных с электростатическим отталкиванием и взаимодействием Ван-дер-Ваальса. Могут ли эти силы сказываться на размере и форме образующихся паттернов?
 5. В автореферате не разъяснен смысл параметра Z_0 в формуле (2).

6. Кандидата физико-математических наук, заведующего лабораторией «Динамики дисперсных систем» ИМСС УрО РАН Иванова А.С. с замечаниями (положительный отзыв):

1. Возникает множество взаимосвязанных вопросов, касающихся выбора толщины исходного (невозмущённого) слоя h_0 , так как его выбор никак не аргументируется (во всяком случае, в автореферате). Толщину слоя необходимо сравнивать с какой-то другой характерной величиной, потому что работа в абсолютных единицах малоинформативна. Так, в этой задаче есть несколько характерных масштабов: геометрические размеры кюветы/ячейки, диаметры исследуемых частиц, характерная высота барометрического распределения частиц, характерный масштаб конвективного вихря, Какой из этих масштабов брался за сравнение?
2. Второе замечание частично связано с первым, но имеет право на самостоятельность. Почему нет оценки барометрического распределения Больцмана для исследованных частиц в различных жидкостях-носителях? Так, в работе встречаются словесные описания, что в одной среде частицы оседают на дно, а в другой плавают. Этот созерцательный результат имеет числовой эквивалент в виде высоты барометрического распределения, хорошо выполняющегося для частиц микронных размеров, что было показано в классических опытах Перрена. Зная эту высоту, её легко можно сравнить как с диаметром частиц, так и с толщиной слоя и сделать полезные выводы.
3. В теоретическом анализе влияние концентрации частиц в областях их скопления учитывается только через вязкость по формуле Муни. При этом зачастую толщина слоя (150 мкм) сопоставима с диаметром частиц (50 мкм), то есть на первый план выходят стерические (эффект исключённого объёма) и гидродинамические взаимодействия частиц, а не явления переноса (диффузия, вязкость), возможно, использование более адекватных моделей позволило бы получить улучшенное согласие между теоретическими предсказаниями и экспериментальными измерениями.

4. Почему в случае с ПЭС не использовалась ячейка Хеле-Шоу? Этот же вопрос можно задать иначе в следующих многочисленных формулировках. Какое преимущество было у использования свободной поверхности жидкости, которая в окрестности нагревателя поднималась/опускалась по отношению к исходной толщине слоя на неконтролируемую высоту? Не было бы более информативным исследовать термоконцентрационную конвекцию без свободной поверхности в плоском слое фиксированной толщины?
5. В тексте автореферата имеются некоторые орфографические и стилистические неточности оформления;
7. Доктора технических наук, профессора кафедры реактивных двигателей и энергетических установок ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева» Глебова Г.А. с замечаниями (положительный отзыв):
 1. Многие графики имеют словесные обозначения осей, что вызывает затруднения при идентификации параметров;
 2. Рисунок 3 (а, б): диаметр - переменная величина? Неудачное представление. К тому же в тексте используется полярная система координат: dT/dr ;
 3. Не описан метод измерения температуры.
8. Доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией механики жидкостей Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН Чашечкина Ю.Д. (положительный отзыв без замечаний).
9. Доктора технических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории теплофизика и волновые технологий ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук» Кирсанова Ю.А. с замечаниями (отзыв без заключения):
 1. На титульном листе указан ошибочный шифр специальности.
 2. Не понятно, на каком основании работа отнесена к специальности «Теплофизика и теоретическая теплофизика», т.к. объектом исследования в работе являются гидродинамические процессы, а процессы локального нагревания и охлаждения являются лишь факторами, оказывающими

воздействие на коэффициент поверхностного натяжения и гидродинамику жидкости в пленке. Содержание данной работы наиболее полно отвечает специальности 01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы», формула которой гласит: «область изучающая процессы и явления, сопровождающие течения однородных и многофазных сред при механических, тепловых, электромагнитных и прочих воздействиях, а также происходящие при взаимодействии текучих сред с движущимися или неподвижными В рассматриваемой работе изучаются процессы, сопровождающие течение в тонкой пленке при тепловом воздействии, что полностью укладывается в формулу специальности 01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы».

3. Не понятно также, на каком основании экспериментальная работа, в которой практически отсутствуют математические разработки и исследования (автореферат содержит лишь две известные формулы, относящиеся к гидродинамике), отнесена к разделу «физико-математические науки».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются специалистами высокого уровня в области теплофизики и механики многофазных систем, а ведущая организация известна своими достижениями в области теплофизики и математического моделирования, что позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны

1. экспериментальная установка и методика изготовления ячеек с вмонтированным в твердую подложку металлическим стержнем, соединённым с модулем электрического контроля температуры для изучения влияния тепловых источников и стоков на перенос микрочастиц в тонких слоях жидкости и морфологию результирующих паттернов;
2. методики измерения скорости движения микрочастиц в потоке жидкости и измерения площади паттерна микрочастиц (кругового, кольцевого и области,

очищенной от частиц) в зависимости от времени, толщины слоя несущей жидкости и мощности нагрева и охлаждения;

проведены экспериментальные исследования процесса переноса микрочастиц в слоях летучей и нелетучей жидкостей термокапиллярными течениями, индуцированными локальным нагревом и охлаждением;

предложен способ управления скоростью и направлением термокапиллярного течения и, следовательно, микрочастицами, находящимися в потоке, регулируемом изменением знака и величины градиента температуры в жидкости путем переключения элемента Пельтье между режимами нагрева и охлаждения в определенной последовательности;

показано, что при локальном нагреве микрочастицы переносятся придонным течением в зону нагрева, формируя круговой паттерн, а при локальном охлаждении микрочастицы перемещаются от теплостока к стенке ячейки, в результате чего охлаждаемая область освобождается от частиц;

изучены основные закономерности переноса микрочастиц термокапиллярным потоком и формирования паттернов на твёрдой подложке при локальном нагреве и охлаждении при изменении толщины слоя жидкости, свойств жидкости, количества частиц и мощность источника и стока тепла.

разработана методика создания кольцевых паттернов миллиметрового размера с использованием монодисперсных микросфер полистирола в слое изопропанола на твердой подложке;

доказано, что скорость формирования кольцевых паттернов, размер кольца и расположение частиц по ширине кольца зависит от мощности, подаваемой на источник/сток тепла, и продолжительности теплового воздействия.

предложена физико-математическая модель тепломассопереноса в тонком слое жидкости при локальном нагреве и охлаждении, основанная на приближении тонкого слоя для прогнозирования влияния таких ключевых параметров как плотность теплового потока, испарение и толщина слоя жидкости на поведение дисперсной системы и морфологию получаемых паттернов.

показана практическая значимость полученных результатов экспериментального исследования и физико-математического моделирования явления переноса микрочастиц в тонком слое жидкости при локальном нагреве и охлаждении для формирования паттернов требуемой морфологии.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложена физико-математическая модель тепломассопереноса, основанная на приближении тонкого слоя, позволяющая прогнозировать профиль распределения частиц, изменение толщины жидкого слоя, температуры жидкости и подложки, а также скорости потока вблизи твёрдого основания;

разработана методика создания кольцевых паттернов микрочастиц различного масштаба и морфологии распределения частиц по ширине колец при динамическом управлении частицами в режиме «охлаждение-нагрев»;

применительно к проблематике диссертации **результативно использована** расширенная система уравнений, включающая известные уравнения тепломассопереноса жидкости и дополнительно уравнения для скорости движения микрочастиц в подслое вблизи твёрдого основания и вязкости раствора как функции доли частиц;

доказана перспективность применения разработанной физико-математической модели для прогнозирования и понимания влияния плотности теплового потока и толщины пленки жидкости на перенос микрочастиц и формирование паттернов в тонких слоях жидкости при локальном нагреве и охлаждении путем сравнения результатов моделирования с результатами экспериментов;

изложены результаты расчетно-теоретического исследования влияния плотности теплового потока, толщины тонкого слоя и испарения на скорости движения микрочастиц в подслое вблизи подложки, изменение профилей свободной поверхности жидкости и распределения частиц, и температуры твёрдого основания и жидкости;

раскрыт механизм влияния приложенного теплового поля и длительности теплового воздействия на характер поведения микрочастиц в тонких слоях жидкости;

изучен тепловой подход управления процессами переноса микрочастиц в слоях летучей и нелетучей жидкостей и формирования паттернов термокапиллярными течениями, индуцированными локальным нагревом и охлаждением.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны

1. эффективный тепловой подход для решения задач массопереноса, заключающийся в динамическом управлении микрочастицами в тонких слоях жидкости термокапиллярными течениями, индуцированными локальным нагревом и охлаждением;
2. методики измерения поля скорости движения микрочастиц в потоке жидкости и измерения площади паттерна микрочастиц (кругового, кольцевого и области, очищенной от частиц) в зависимости от времени, толщины слоя несущей жидкости и мощности нагрева и охлаждения;
3. методика создания круговых и кольцевых паттернов миллиметрового размера с использованием монодисперсных микросфер полистирола в слоях изопропанола на твердой подложке;
4. математическая модель тепломассопереноса, основанная на приближении тонкого слоя, позволяющая описывать пространственно-временную эволюцию толщины жидкого слоя, концентрации частиц, температуры жидкости и подложки, а также скорости потока вблизи подложки;

определены основные закономерности переноса микрочастиц термокапиллярными течениями, индуцированными локальным нагревом и охлаждением и формирования паттерна требуемой морфологии при изменении таких параметров, как толщина слоя несущей жидкости, свойства жидкости, доля частиц, мощность источника и стока тепла;

обоснована возможность использования модели тепломассопереноса в приближении тонкого слоя для прогнозирования профиля распределений частиц,

изменения толщины жидкого слоя, температуры жидкости и подложки, а также скорости потока вблизи твёрдого основания;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на основе фундаментальных законов теплофизики, законов сохранения и законов тепломассообмена;

идея базируется на современных экспериментальных и теоретических данных российских и зарубежных исследователей;

использованы современные методики исследования, качественным и количественным анализом экспериментальных результатов, анализом погрешностей, высокой воспроизводимостью экспериментальных результатов, и осуществлено сравнение полученных экспериментальных результатов с результатами расчёта;

установлено качественное и количественное соответствие результатов эксперимента с результатами модели тепломассопереноса.

Личный вклад автора состоит в разработке экспериментальной установки, методики изготовления ячеек с твердыми подложками с вмонтированным металлическим стержнем, соединённым с модулем электрического контроля и методики исследования процессов переноса микрочастиц и формирования паттернов в тонких пленках жидкости при локальном нагреве и охлаждении, в выполнении научных экспериментов, активном участии в постановке задачи и интерпретации полученных результатов, в проведении сравнения результатов численных расчётов и полученных экспериментальных данных, участии в подготовке научных публикаций и представлении устных и стендовых докладов на международных и всероссийских конференциях по тематике диссертационных исследований.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Предметом исследования являются термокапиллярные течения, возникающие при локальном нагреве слоя жидкости. Такие течения характеризуются полем температуры поверхности жидкости и информации об электрической мощности, приложенной к элементу Пельтье,

недостаточно. Это связано с тем, что тепловой поток, подводимый к жидкости, определяется отношением мощности нагрева/охлаждения к электрической мощности, потребляемой модулем, и температурой внешней поверхности элемента Пельтье. Этих данных в работе нет. Поэтому более правильным было бы использование датчика теплового потока в нагреваемом или охлаждаемом медном стержне и приведения в тексте диссертации измеренных значений.

2. В работе описываются тороидальные вихри, подъемные силы и т.д. При этом автор предлагает одномерную физико-математическую модель без вертикальных переносов массы и тепла. Непонятно, как модель должна работать на оси вблизи источника тепла и на периферии у бортика? Особенно сомнительно допущение об отсутствии теплового потока в вертикальном направлении при наличии испарения с поверхности и очевидном $\text{grad}T \neq 0$.
3. Как определялось (регистрировалось) равновесное состояние (при проведении экспериментов с полиметилсилоксаном ПМС-10 (стр. 34 диссертации)? Что являлось условием так называемого равновесия системы «жидкость-носитель – частицы»? В диссертации отсутствует пояснение.

Соискатель Аль-Музайкер Мохаммед ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Частично согласен с замечанием. Достаточно было измерить температуру для данной мощности, подаваемой на элемент Пельтье. Было получено распределение температуры субстрата и температуры в жидкости.
2. В связи с тем, что основная масса частиц расположена вблизи поверхности подложки, то их перемещение (что подтверждается экспериментально) происходит в горизонтальной плоскости вдоль границы раздела жидкость-твердое тело. В соответствии с этим было заключено, что за движение частиц преимущественно ответственны горизонтальные придонные течения в жидкости, направление которых определяется градиентом поверхностного

натяжения и, соответственно, температуры. Исходя из вышеперечисленного было решено использовать одномерную модель тепломассопереноса.

3. Тепловое равновесие системы определяли с помощью тепловизора, когда распределение температуры становилось равномерным во всех сечениях.

Соискатель Аль-Музайкер Мохаммед ответил на замечания в отзыве на автореферат от д-ра техн. наук Кирсанова Ю.А. и привел собственную аргументацию:

1. С замечанием не согласен, обновился шифр специальности с 01.04.14. на 1.3.14.
2. Не согласен с замечанием. Согласно выводам диссертации, проведенное исследование соответствует паспорту специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки), направление исследования, п. 1: Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твёрдом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах.
3. С замечанием не согласен, в автореферате плохо отражено, что в диссертации предложена физико-математическая модель изучаемого явления переноса микрочастиц термокапиллярными потоками при локальном нагреве и охлаждении, проведено сравнение полученных результатов расчета на основе этой модели с результатами эксперимента, получено количественное согласие между ними.

Диссертационный совет подтверждает соответствие представленной диссертационной работы пункту 1 паспорта специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки). В работе предложен тепловой механизм для решения задачи управления ансамблями микрочастиц. Исследовано влияние градиента температуры на состояние дисперсной системы в целом и на формирование агрегатов микрочастиц. Согласно полученным результатам

диссертационной работы, установлено, что знак градиента температуры определяет направление движения частиц (п.2 и п.5 выводов диссертации), время установления стационарного перепада температуры вдоль радиуса ячейки определяет скорость формирования структур (п.3 и п.4), а мощность источника/стока тепла и длительность теплового воздействия влияет на скорость переноса частиц и размер получаемых паттернов (п.3, п.4 и п.6).

На заседании 08.06.2022 диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для развития технологии манипуляции микро- и наночастицами в тонких плёнках жидкости с помощью тепловых эффектов, принял решение присудить Аль-Музейкеру М.А.Я.А., ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

08.06.2022



Александр Шабаров
Сергей Удовиченко

Шабаров Александр Борисович

Удовиченко Сергей Юрьевич