

ОТЗЫВ

научного руководителя на работу Дубровина К.А. *«Влияние конденсации на структуру и послесвечение сверхзвуковой недорасширенной разреженной струи аргона»*, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 (Теплофизика и теоретическая теплотехника).

Кирилл Алексеевич Дубровин в 2017 году закончил бакалавриат физического факультета НГУ, защитив квалификационную работу на тему «Исследование спектров излучения аргона в кластированных сверхзвуковых струях при электронно-пучковой ионизации». Затем в 2019 году успешно закончил магистратуру физического факультета НГУ, защитив магистерскую диссертацию на тему «Экспериментальное исследование сверхзвуковых кластированных струй». В 2023-м году им успешно завершено обучение в аспирантуре Института теплофизики СО РАН с представлением диссертационной работы. Всё это время Кирилл Алексеевич плодотворно работал в отделе прикладной физики физического факультета НГУ, сначала лаборантом, затем младшим научным сотрудником, далее – научным сотрудником. Как уже явствует из тем защищенных проектов - по неизменному направлению исследований газокINETических процессов в сверхзвуковых потоках разреженных газов, осложненных процессом кластерообразования.

Использование сверхзвуковых струй низкой плотности в различных физических и химических исследованиях сопровождается существенными отклонениями от расчетных параметров, наблюдаемых в условиях изэнтропичности течений. Такой процесс истечения газов из источника (звукового или сверхзвукового сопла) обусловлен, при удалении от сопла, отходом от равновесия между колебательными, вращательными и поступательными степенями свободы молекул, а также, при определенном наборе исходных газодинамических параметров, нуклеацией потока. Нуклеация (конденсация, кластерообразование) в сверхзвуковых струях расширяющихся в вакуум газов в настоящее время является одним из важнейших инструментов получения кластеров разных размеров. Вообще понятие «кластер» в традиционном научном смысле определяет объединение в единый комплекс атомов или молекул, в котором изменение числа частиц приводит к изменению свойств объекта в целом. В результате кластеры могут иметь свойства газа, жидкости или твердого тела. В настоящее время кластеры широко используются в фундаментальных исследованиях и прикладных применениях в различных технологиях: напыление тонких пленок с особыми свойствами, получение графена, фуллеренов и фуллереноподобных частиц, формирование поверхностных структур путем имплантации атомов в приповерхностные слои веществ, инициация химических реакций в кластерах, внутрикластерный энергообмен с целью получения новых веществ или инверсных состояний атомов, субнанометровая полировка поверхностей твердых тел и др. Существует огромная литература по изучению свойств и использованию кластеров в технологиях. Однако процессам формирования кластеров в сверхзвуковых потоках, взаимодействию кластеров с электронами, в том числе электронами диагностических средств уделялось недостаточное внимание. Эта задача в настоящее время имеет высокую актуальность в свете расширяющихся областей применения кластированных потоков.

В отделе прикладной физики физического факультета НГУ при активном участии К.А. Дубровина ведутся работы по изучению процессов внутрикластерного энергообмена при возбуждении и ионизации кластерных пучков, по воздействию кластеров на газодинамику сверхзвуковых струй двигателей управления космических аппаратов, по инициации плазмохимических реакций в кластерах с целью получения в результате новых продуктов, по особенностям использования традиционных средств электронно-пучковой диагностики, молекулярно-пучковой масс-спектрометрии в кластированных потоках. В частности, было установлено, что присутствие больших кластеров может кардинально изменить результаты масс-спектрометрических исследований. При электронно-пучковой фотометрии сверхзвуковых струй в условиях конденсации была обнаружена необычная область свечения, возникающая за боковыми скачками уплотнения сверхзвукового потока, имеющая размеры, в разы превосходящие размеры первичной струи («бочки») и фиксируемая только при формировании кластеров большого размера («кластерный след»). Эта область люминесценции наблюдалась в струях аргона и диоксида углерода. Природа формирования такого потока, возбуждения в нем длительной флуоресценции не очевидна.

В рамках диссертационной работы перед К.А. Дубровиным была поставлена задача провести тщательное комплексное исследование процессов истечения конденсирующихся сверхзвуковых струй в вакуум (сильно разреженное пространство), изучение отдельных вопросов которого было им успешно начато в период обучения в бакалавриате и магистратуре.

В рамках работы К.А. Дубровин расширил возможности имеющегося в отделе уникального газодинамического комплекса ЛЭМПУС-2, измерительных систем фотометрирования газовых потоков, электронно-пучковой спектроскопии в области возбуждения излучения и вне её, обосновал выбор спектральных диапазонов регистрации излучения в потоках аргона, азота и диоксида углерода, впервые определил условия и величину проникновения фонового газа из окружающего пространства в сверхзвуковой кластированный поток и кластерный след, измерил времена жизни возбуждённых частиц в первичной струе и в кластерном следе, определил возможности использования ряда газодинамических критериев в условиях кластерообразования. Я не буду перечислять все результаты, полученные К.А. Дубровиным. Они детально изложены в диссертации и отражены в автореферате и его многочисленных публикациях. К числу наиболее существенных следует отнести обнаружение спектральными методами нового эффекта селективности излучения, наблюдаемого в «кластерном следе», значительное превышение измеренных времен жизни частиц кластированного потока в возбужденном состоянии от определённых и табулированных в равновесных условиях. В результате им предложена эмпирическая модель процессов возбуждения, релаксации, энергообмена и излучения, протекающих в кластерном следе, и, в конечном счете, обоснованы механизмы излучения и роль кластеров в свечении «следа». Полученные в работе и представленные в диссертации экспериментальные результаты могут служить основой для развития теоретических моделей, описывающих влияние конденсации на процессы в сверхзвуковых струях и молекулярных пучках, а также являться экспериментальной основой для создания новых технологий с использованием Ван-дер-Ваальсовых кластеров.

Следует отметить большую самостоятельность К.А. Дубровина, его умение организовать научный коллектив на решение конкретных задач исследования, способность решать трудные экспериментальные задачи на современном уровне, хорошее

владение современной диагностической аппаратурой и методами исследований, а также средствами обработки экспериментальных данных, умение обобщать полученную информацию, смело отстаивать своё мнение, широкую эрудицию, высокую работоспособность. В период работы в отделе К.А. Дубровин подал, выиграл и выполнил в 2020-2021 г.г. в качестве научного руководителя грант РФФИ для молодых исследователей, принял активное участие в 2022-2024 г.г. в выполнении двух грантов РНФ в качестве одного из основных исполнителей.

Основные результаты работы докладывались преимущественно самим Кириллом Алексеевичем на представительных Российских и международных научных конференциях. К.А. Дубровин является автором или соавтором значительного числа научных публикаций как в трудах конференций, так и в научных журналах, в том числе первого и второго квартиля.

Наряду с научно-исследовательской работой, К.А. Дубровин ведет активную преподавательскую работу на физическом факультете НГУ, а также учебно-организационную работу в деканате физического факультета, являясь куратором одного из курсов бакалавриата.

За время работы в отделе К.А. Дубровин проявил себя как сложившийся высококвалифицированный исследователь в области динамики разреженных газов, способный самостоятельно ставить и решать научные проблемы, представлять полученные результаты в рецензируемых научных журналах и на научных форумах. Его научная квалификация и полученные в работе результаты безусловно позволяют утверждать, что К.А. Дубровин отвечает всем требованиям, предъявляемым к соискателю степени кандидата наук, подтверждением чему служит подготовленная им диссертационная работа. К.А. Дубровин несомненно достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Научный руководитель,
заведующий ОПФ ФФ НГУ,
к.ф.-м.н., ст.н.с. (ВАК)

А.Е. Зарвин

Зарвин А.Е.

