

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.455.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМЕНИ Г. И. МАРЧУКА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____.
решение диссертационного совета от 28.09.2022 г. № 16

о присуждении Осинскому Александру Игоревичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Кинетика агрегации и фрагментации в неоднородных системах» по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «20» июля 2022 г., протокол № 12, диссертационным советом 24.1.455.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики имени Г.И. Марчука Российской академии наук (ИВМ РАН), расположенного по адресу 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 8, приказ о создании диссертационного совета № 1356/НК от 15.12.2021.

Соискатель Осинский Александр Игоревич, 1994 года рождения, в 2018 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», с 2018 года и по настоящее время обучается в очной аспирантуре в Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий». Осинский А.И. работает в Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» в должности младшего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Автономной некоммерческой образовательной

организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Бриллиантов Николай Васильевич**, профессор Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий».

Официальные оппоненты:

Сабельфельд Карл Карлович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук,

Богомолов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», в своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником отдела кинетических уравнений и вычислительной физики **Веденяпиным Виктором Валентиновичем** и утвержденном директором Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН **Аптекаревым Александром Ивановичем**, указала, что работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а её автор Осинский Александр Игоревич

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ по теме диссертации:

1. Osinsky, A. I. Size-polydisperse dust in molecular gas: Energy equipartition versus nonequipartition / A. I. Osinsky, A. S. Bodrova, N. V. Brilliantov // *Physical Review E*. — 2020. — Т. 101, No 2. — No 022903.
2. Bodrova, A. S. Temperature distribution in driven granular mixtures does not depend on mechanism of energy dissipation / A. S. Bodrova, A. I. Osinsky, N. V. Brilliantov // *Scientific Reports*. — 2020. — Т. 10, No 1. — С. 693.
3. Osinsky, A. I. Low-rank method for fast solution of generalized Smoluchowski equations // *Journal of Computational Physics*. — 2020. — Vol. 422. — No 109764.
4. Brilliantov, N. V. Role of energy in ballistic agglomeration / N. V. Brilliantov, A. I. Osinsky, P. L. Krapivsky // *Physical Review E*. — 2020. — Vol. 102, No 4. — No 042909.
5. Osinsky, A. I. Anomalous aggregation regimes of temperature-dependent Smoluchowski equations / A. I. Osinsky, N. V. Brilliantov // *Physical Review E*. — 2022. — Vol. 105, No 3. — No 034119.
6. Osinsky, A. I. Scaling laws in fragmentation kinetics / A. I. Osinsky, N. V. Brilliantov // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. — 2022. — Vol. 603. — No 127785.

Все эти работы опубликованы в изданиях, удовлетворяющих требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тематикой исследований, проведенных в диссертации. **Сабельфельд Карл Карлович** является известным специалистом в области математического моделирования стохастических процессов, в том числе агрегации. **Богомолов**

Сергей Владимирович – специалист в сфере математического моделирования кинетических уравнений и уравнений газовой динамики. Тематика диссертации соответствует области экспертизы ведущей организации.

На автореферат отзывов не поступало.

Диссертация посвящена обобщению классических уравнений Смолуховского для моделирования процессов агрегации и фрагментации в пространственно неоднородных системах, их анализу и алгоритмам решения. В работе представлены точные решения температурно-зависимых уравнений Смолуховского, качественная теория масштабирования, малоранговые методы решения обобщенных уравнений Смолуховского, а также малоранговые методы Монте-Карло моделирования обобщенных уравнений Смолуховского и кинетических уравнений Больцмана.

Теоретическая значимость работы заключается в выводе обобщенных уравнений Смолуховского из базовых физических принципов. Вывод основан на микроскопической модели столкновений, включенной в уравнения Больцмана, а потому превосходит существующие феноменологические модели. Полученные результаты позволяют учитывать пространственную неоднородность системы, включая неоднородность распределения температур, скоростей потоков агрегирующих частиц и их изменение в процессе агрегации и фрагментации, а также влияние размеров частиц на вероятность агрегации, вклад в кинетику агрегации тройных столкновений.

Практическая значимость определяется тем, что в диссертации решаются актуальные проблемы моделирования баллистической агрегации и фрагментации. Полученные результаты могут быть использованы для моделирования целого ряда атмосферных явлений, таких как агрегация и распространение твердых частиц, загрязняющих воздух, агрегация водяных капель в облаках и во время дождя, где важную роль играет неоднородность распределения скоростей и размеров по вертикали. Обобщенные уравнения Смолуховского могут быть также использованы для построения более точных моделей формирования планетных колец и протопланет, где существенное влияние на агрегацию частиц оказывает неоднородность распределения

температур в протопланетном диске. Наконец, результаты работы могут найти применение при моделировании струйных мельниц, используемых для получения ультрадисперсных продуктов, и многих других природных и производственных процессах.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Впервые из базовых физических принципов выведены обобщенные уравнения Смолуховского для пространственно неоднородных систем – уравнения Смолуховского-Эйлера и Смолуховского-Навье-Стокса и проведен их аналитический и численный анализ. Вывод ядер для этих и более сложных уравнений выполняется автоматически, с использованием программы символьных вычислений.

2. Впервые получено прямое численное решение обобщенных уравнений Смолуховского и разработана скейлинговая теория, предсказывающая вид решения на больших временах.

3. Впервые предложен малоранговый метод решения обобщенных уравнений Смолуховского.

4. Впервые малоранговый метод был успешно использован для ускорения моделирования гранулярных газов методом Монте-Карло. Получено существенное ускорение расчётов при решении уравнений Смолуховского и моделировании гранулярных газов методом Монте-Карло.

5. Впервые получены точные решения температурно-зависимых уравнений Смолуховского для целого ряда модельных кинетических коэффициентов.

6. Благодаря высокой скорости новых методов, впервые удалось проанализировать распределение скоростей и температур частиц в агрегирующих гранулярных газах и распределение температур в полидисперсных неагрегирующих гранулярных газах.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается использованием широкого спектра дополняющих друг друга аналитических и численных методов. Теоретические выводы подтверждаются как прямым численным решением обобщенных уравнений Смолуховского, так и

моделированием агрегирующих систем методами Монте-Карло. Положения и выводы, сформулированные в диссертации, получили квалифицированную апробацию на международных научных конференциях. Достоверность также подтверждается публикацией результатов исследований в рецензируемых научных журналах.

Личный вклад соискателя. Диссертационное исследование является самостоятельным законченным трудом соискателя. Основные результаты получены соискателем лично. В работах [1-2] автором были проведены все Монте-Карло симуляции, получен и описан эффективный алгоритм для них. Соискателем также были получены строгий вывод вида распределения температур для гранулярных газов с различными типами притока энергии и достаточные для этого условия. Работа [3] полностью написана соискателем. Автором был разработан малоранговый метод решения температурно-зависимых уравнений Смолуховского, проведено его сравнение с методом конечных объемов и методом Монте-Карло. В работе [4] соискателем было получено выражение для скорости сходимости решения температурно-зависимых уравнений Смолуховского к предельному распределению концентраций, численно получен вид распределения концентраций по размерам, зависимость общей концентрации и температуры от времени в двумерном и трёхмерном случаях, зависимость числа мономеров от времени, а также аналитические аппроксимации для всего вышеперечисленного. В работе [5] соискателем были численно получены распределения концентраций и температур и их эволюция во времени, выведены параметры автомодельных решений и границы областей фазовой диаграммы. Был разработан и применен малоранговый метод Монте-Карло для температурно-зависимых уравнений Смолуховского. В работе [6] соискателем было проведено моделирование фрагментационных столкновений и на его основе получены распределения масс осколков и их кинетических энергий, угловое распределение фрагментов, предложен способ разделения типов столкновений, обнаружен скейлинг для числа «немономеров» и потерь кинетической энергии.

На заседании **28 сентября 2022 г.** диссертационный совет принял решение: за разработку эффективных методов моделирования агрегации и решения обобщенных уравнений Смолуховского присудить **Осинскому**

Александр **Игоревичу** ученую степень кандидата физико–математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 15 докторов наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

д. ф.–м. н.,
академик РАН



Тыртышников Евгений Евгеньевич

Ученый секретарь диссертационного совета

д. ф.–м. н.



Бочаров Геннадий Алексеевич

28.09.2022