



"УТВЕРЖДАЮ"

Директор ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,

член-корреспондент РАН

М. В. Якововский

"23" октября 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» о диссертации Понькина Евгения Игоревича "Кумуляция энергии при безударном сжатии двумерной мишени для термоядерного синтеза", представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 - механика жидкости, газа и плазмы.

Представленная к защите кандидатская диссертация Понькина Е.И. посвящена актуальным вопросам механики жидкости газа и плазмы, а именно, вопросам осуществления безударного сжатия сферического объёма газа (жидкости), содержащим изотопы водорода, до условий, позволяющих протеканию в нем термоядерных реакций. Обсуждаемая в работе конфигурация может быть рассмотрена как мишень инерциального термоядерного синтеза (ИТС). Одной из целей рассмотрения предлагаемых и изучаемых конструкций мишеней УТС (управляемого термоядерного синтеза) являются предложения по дизайну термоядерной мишени ИТС, основанные на возможности сверхвысокого сжатия термоядерного топлива. Исследования в этом направлении, можно считать, начались в 1972 году после доклада Э. Теллера на конференции по взаимодействию лазерного излучения с веществом в Канаде в 1972 году (см. Nature, 1972, v.239, No.5368, p.139, Nuckolls J., Wood L., Thiessen A., Zimmerman G. "Laser compression of matter to super-high densities: thermonuclear (CTR)

applications”), в котором была сформулирована концепция достижения зажигания термоядерной мишени на уровне лазерной энергии ~ 10 кДж в случае безударного сверхвысокого сжатия её содержимого. В ответ на эти заявления М.В. Келдыш, директор ИПМ АН СССР, поручил в 1972 году своим сотрудникам подтвердить или опровергнуть сделанные утверждения. В результате, в ИПМ АН СССР начались исследования «сверхвысокого» сжатия, и одним из результатов, в то же лето, но опубликованная позже, стала статья (см. Физика плазмы, 1976, т.2, вып.6, с.883-897, П.П. Волосевич, Л.М. Дегтярёв, Е.И. Леванов, С.П. Курдюмов, Ю.П. Попов, А.А. Самарский, А.П. Фаворский, Процесс сверхвысокого сжатия вещества и инициирование термоядерной реакции мощным импульсом лазерного излучения), которая подтвердила физические обоснования сверхсжатия. Однако, предложение «профилирования» лазерного импульса (как на рис. 6б автореферата, или 4.8в диссертации), были подвергнуты критики, как со стороны сложной, практической невозможной реализуемости требуемого воздействия на мишень (лазер, пучки частиц etc), так и со стороны необходимости учёта многих физических факторов, лежащих за рамками чисто газодинамической модели (поглощение лазерного излучения в оболочках мишени, генерация быстрых частиц, их вклад в сжимаемое топливо и т.д.).

Таким образом, содержание Введения к диссертации (с.6-11) и Главы 1 (с.12-27) следует считать обоснованной характеристикой интереса автора к той тематике, которую он успешно развивает в последующих главах работы. Чему же, по сути, посвящена диссертация? Глава 1 (Обзор литературных источников) даёт подробное изложение вопросов сверхсжатия и соответствующих исследований, но только применительно к принятой автором концепции - многомерные и одномерные течения идеального газа.

Диссертация состоит из Введения, четырех Глав и Заключения. Во Введении даётся характеристика актуальности выбранной темы и её связь с проблемами инерциального термоядерного синтеза, а именно, с исследованиями, связанными с повышением эффективности срабатывания

термоядерных мишеней при применении безэнтропийного сверхвысокого сжатия вещества. Сформулированы цели и формулируются задачи работы, приведены сведения о научной новизне, практической значимости. Перечислены основные результаты работы, выносимые на защиту, выступления по содержанию работы и их соответствующие оценки, а также публикации по теме диссертации. Первая Глава содержит литературный обзор источников, посвященных исследованиям задач сильного безударного сжатия газа, даны постановки проблем ИТС, приводящих к задачам сильного безударного сжатия, в том числе для сложных многомерных конструкций, рассматривается актуальность задач, решению которых посвящено настоящее исследование. Во второй Главе излагается математическая постановка и построение аналитического решения задачи об истечении газа в вакуум в неоднородной постановке и доказывается теорема существования и единственности решения исходной задачи в виде степенного ряда, находится область сходимости рассматриваемого ряда. В третьей главе выполнен содержательный анализ полученных в предыдущей Главе аналитических решений разрежения и сжатия при произвольном значении угла наклона кривой стенки $0 < \alpha < \pi/2$, и не связанном с этим значением показателя политропы γ . Существенно, что в случае сжатия, при достижении критического значения скорости звука (зависящего от значений α и γ), режим безударного сильного сжатия переходит в ударную волну. В четвертой главе приведено математическое описание сильного безударного сжатия призматического объема ($t < 0$) и построены законы движения проницаемых и непроницаемых поршней, сжимающих водород в специальном призматическом объеме с «косой» стенкой. Сделан вывод о том, что сжатие мишени «непроницаемым» поршнем энергетически более выгодно по сравнению с воздействием на мишень заданным давлением. Найден специальный закон внешнего воздействия на мишень непроницаемым поршнем. Заключение содержит перечисление итогов данного исследования, указано соответствие полученных результатов специальности: 1.1.9. – Меха-

ника жидкости, газа и плазмы, а также указаны дальнейшие перспективы изучения обсуждаемых в работе вопросов.

Основные результаты работы посвящены анализу математических моделей течения идеального газа в оригинальных конфигурациях (двумерных!) и получению новых аналитических решений уравнений газовой динамики, содержащих элементы сверхвысокого сжатия. Автором диссертации лично, и в полном объёме, выполнены все выкладки для построения новых аналитических решений уравнений газовой динамики и созданы программы для ЭВМ с целью построения поверхностей проницаемого и непроницаемого (частично проницаемого) поршней, сжимающих призматический объём, а также выполнено исчерпывающее исследование возникающих здесь задач газодинамики одномерного и двумерного сжатия и разлёта. Это, безусловно, интереснейшая тема, вопрос в том, что эти исследования могут дать для дизайна мишеней ИТС? Среди результатов диссертации (4 пункта – из автореферата) только четвёртый посвящен проблемам мишени ИТС. Предлагается мишень (рис.6а автореферата), «призматическая», с весьма проблемным режимом нарастания мощности (рис.6б). Остаётся только пожалеть, что в работе не проведены одномерные и (не обязательно) двумерные численные расчёты предложенных конфигураций мишеней с учётом всех необходимых для этого физических эффектов, таких как теплопроводность, возможно не отвечающая закону Фурье, энерговыделение (термоядерных реакций и внешнего «драйвера» -лазер, пучки), оптимизационные расчёты подбора масс и размеров оболочек мишени с целью достижения наибольшего термоядерного выхода, учёт физики взаимодействия инициирующего фактора (лазер, пучки – или что?) с материалом мишени. Здесь имеется целый комплекс проблем. В диссертации упомянут вариант непрямого сжатия (как в системе NIF, США). Воздействие на мишень в этом случае (т.н. непрямом) и другом случае (прямого воздействия лазером на мишень) отличаются кардинально. На основе рассмотрения результатов, приведённых в диссертации, можно

заклучить, что предложения по дизайну мишени ИТС «повисают в воздухе», и требуют, по крайней мере, тщательного, аккуратного анализа и подтверждения на основе численных расчётов в достаточно адекватной модели (не только идеальный газ, но и соответствующие УРС – уравнения состояния, теплопроводность, возникновение и распространение быстрых частиц и т.п.). Таким образом, все заявления о том, что в работе предложена работоспособная мишень для ИТС, не подтверждены полностью, не приведена, хотя бы одна, мишень ИТС, которая была бы полностью изучена с точки зрения термоядерного выхода. Что же остаётся? А остаётся очень существенное продвижение в области получения и исследования аналитических решений уравнений газовой динамики, описывающих двумерные процессы истечения газа в вакуум с «косой» стенки и сверхвысокого безударного сжатия призматической конфигурации газовой мишени, детально выяснена зависимость полученных решений от показателя адиабаты газа и параметров, характеризующих начальные и граничные условия в оригинальных постановках рецензируемой работы. Именно эти результаты и отражены в списке в диссертации (с.134) и в автореферате (с.14). Достоверность результатов диссертации обеспечивается тщательностью и обоснованностью построения математических моделей, подтверждается совпадением полученных результатов с известными данными, основывается на математически точных аналитических исследованиях. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и заслуживает самой высокой оценки. Её тематика соответствует заявленной специальности (1.1..9 – механика жидкости, газа и плазмы) и вносит существенный вклад в область исследований ряда специальных проблем течения газа. Результаты диссертации убедительно показывают эффективность применения развитого подхода для решения широкого круга задач моделирования течений газа в сложных, в том числе, и многомерных ситуациях. Полученные результаты являются новыми и заслуживающими самого активного интереса со стороны исследователей в области

газодинамики и её многочисленных приложений. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в целом ряде научных организаций, имеющих касание к проблемам газодинамики ВНИИЭФ, ВНИИТФ, ВНИИА им. Н.Л. Духова, ИПМ РАН, ВЦ РАН, МИРЭА и других учебных и научно-исследовательских организациях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Результаты диссертации в достаточной степени опубликованы.

Диссертационная работа «Кумуляция энергии при безударном сжатии двумерной мишени для термоядерного синтеза» удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, а её автор, – Понькин Евгений Игоревич – заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. – механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв обсуждён и утверждён на заседании семинара «Математическое моделирование» под руководством В. Ф. Тишкина и А. А. Кулешова в Институте прикладной математики РАН, 21 октября 2025 года, протокол №13.

Отзыв составил: Главный научный сотрудник ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, д.ф.-м.н., с.н.с. Змитренко Николай Васильевич, адрес: 125047, Москва, Миусская пл., д.4, тел.: (499) 220-72-23, e-mail: zmitrenko@imamod.ru



Подпись Змитренко Н.В. заверяю.

Ученый секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, к.ф.-м.н.
Давыдов Александр Александрович



Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), адрес: 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4, тел.: (499) 978-1314, веб-сайт: www.keldysh.ru, e-mail: office@keldysh.ru.