

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
Казакова Кирилла Александровича
на тему: «Теория сильнонелинейных эффектов в газовых средах»
по специальности 1.3.3. Теоретическая физика**

Диссертация К.А. Казакова посвящена развитию нового подхода в теоретическом описании горения газовых смесей и решению с его помощью базовых задач сильнонелинейного распространения пламён.

Диссертация состоит из введения, пятнадцати глав, заключения и четырёх приложений. В первой главе дан краткий обзор развития науки о горении и её современного состояния. Во второй и третьей главах произведены необходимые для дальнейшего математические построения, в частности, дано доказательство самосогласованности модели тонкого пламени и решена проблема неоднозначности условий скачка для скорости и давления газа. Четвертая глава излагает центральный результат диссертации – оболочечное описание двумерного стационарного пламени. В ней произведен детальный анализ поля скорости газа продуктов горения, получены интегральное представление и дисперсионное соотношение для его вихревой и потенциальной мод, с помощью которых построено основное уравнение нового подхода – мастер-уравнение. В пятой главе дан альтернативный вывод этого уравнения.

Важную часть диссертации составляет проверка того, что мастер-уравнение воспроизводит, как частные случаи, все известные классические уравнения для слабонелинейного пламени. Это делается в шестой, седьмой и тринадцатой главах.

Главы с восьмой по одиннадцатую посвящены применению развитого подхода к исследованию основных сильнонелинейных режимов распространения стационарных пламён. Проанализировав экспериментальные предпосылки для применения мастер-уравнения, автор построил его асимптотическое разложение для сильно вытянутого пламени,

получил его численные решения и произвел детальное их сравнение с экспериментальными данными. На основе этих результатов дано объяснение наблюдаемой зависимости скорости пламени в широких горизонтальных трубах и установлен механизм их затухания в вертикальных трубах. Важным достижением является экспериментальная реализация особого решения, в котором фронт пламени имеет перегиб.

В двенадцатой главе разработан численный алгоритм решения мастер-уравнения, с помощью которого произведён анализ влияния различных эффектов конечной ширины фронта пламени на его глобальную структуру. В частности, здесь впервые исследован эффект компрессии пламени.

Заключительные главы с тринадцатой по пятнадцатую посвящены исследованию нестационарных пламён. Здесь построено обобщение оболочечного описания на нестационарные пламёна, исследована устойчивость V-пламени и построена теория квазистационарного ускорения пламён в открытых трубах.

В рассматриваемой диссертации меня, прежде всего, привлекает взгляд автора на современную теоретическую физику и активные и плодотворные усилия по проведению в жизнь этого взгляда. Конечно, теоретическая физика призвана рассматривать новые, требующие глубокого теоретического изучения разделы физики. Часто воплощение этой идеи видится как последовательный переход ко все меньшим пространственным масштабам и объяснение различных физических явлений путем сведения этих явлений к свойствам мельчайших микрочастиц, возможно, с добавлением космологического аспекта проблемы. Ни в коей мере не подвергая сомнению правомерность такого подхода, я думаю, что в настоящей теоретической физике есть много других измерений, кроме пространственного, которые требуют не менее глубоких исследований с использованием специфических методов и приемов теоретической физики. Мне кажется, что диссертация К.А.Казакова блестяще иллюстрирует возможность и плодотворность этого подхода в такой классической области, как распространение пламени. Здесь

сложность задачи связана не с тем, что она требует учёта тонких эффектов как, например, радиационные поправки к ядерным взаимодействиям, или рассмотрения проблемы в космологических масштабах, а диктуется внутренними, имманентными свойствами явления. Более конкретно, автор выделяет несколько соответствующих критических трудностей – нелокальность изучаемых эффектов, необходимость учитывать сразу несколько существенно различных масштабов, сильное искривление фронта и, наконец, наличие подвижной границы. Необходимость последовательно решать возникающие при этом задачи определяет, с моей точки зрения, **актуальность работы.**

При решении этих, несомненно, актуальных задач автор использует самые современные методы теоретического исследования. Он хорошо видит полезность и необходимость численных методов, но отчетливо осознает их ограниченность и плодотворно использует самые современные (а также, конечно, и традиционные) аналитические методы. Все это обеспечивает **обоснованность положений, выносимых на защиту и их достоверность.** Разумеется, это достигается использованием таких традиционных приемов, как публикации в высокорейтинговых журналах, апробации результатов на различных научных мероприятиях и т.д. Результаты диссертации прекрасно опубликованы в лучших научных журналах.

Новизна выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, хорошо обоснована сравнением с имеющейся научной литературой и современными экспериментальными исследованиями.

Сформулированные в диссертации выводы очень убедительны, интересны и стимулируют читателя к дальнейшим работам в данном направлении.

Конечно, такая большая и по-настоящему новаторская работа не может не иметь некоторых недостатков. В качестве таких недостатков мне хотелось бы выделить следующее.

Писать о распространении пламени и не упоминать о работах Я.Б.Зельдовича и его соавторов, конечно, совершенно невозможно. Автор опирается здесь прежде всего на книгу Я.Б.Зельдовича, Г.И.Баренблатта и др. 1980 г. и на статью Я.Б.Зельдовича 1944 г. Пожалуй, я бы упомянул в этом списке и известную книгу Я.Б.Зельдовича и Ю.П.Райзера 1963 г., однако понятно, что объем сделанного этой школой очень велик, а диссертация должна излагать прежде всего новые результаты и идеи.

Объем полученных автором мыслей впечатляюще велик, однако при их описании автор иногда сбивается на скороговорку. Рассмотрим в качестве примера рис. 14 из автореферата, который играет важную роль в аргументации автора, сопоставляя его теоретические выводы с данными лабораторного эксперимента. При сличении его с текстом самой диссертации оказывается, что он является комбинацией двух рисунков (60 и 61). Далее оказывается, что теория показана точками, а результат обработки эксперимента – непрерывной кривой. Конечно, любая кривая рисуется на компьютере по точкам, но все же более привычно показывать эксперимент дискретными точками, а теорию – непрерывной кривой. Кроме того, из рисунка не очень ясно, как именно обрабатывались данные эксперимента. Конечно, это мелочи. Немного подумав и обратившись к интернету, читатель находит (убедительные) ответы на эти вопросы, но лучше все же дать их в тексте диссертации.

Результаты диссертации опубликованы по-английски и это хорошо. Однако при переработке этого текста в диссертацию, написанную, естественно, по-русски, в структуру текста проникают различные редакционные черты, свойственные английской традиции (например, слово глава пишется с заглавной буквы даже внутри фразы). Хотелось бы более последовательной редакторской работы над текстом. В качестве пожелания скажу, что хотелось бы видеть диссертацию переработанной в книгу на русском языке.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям,

установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.3. Теоретическая физика(по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель К.А. Казаков заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук

профессор кафедры математики физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Соколов Дмитрий Дмитриевич

12.01.2026

Контактные данные:

тел.: 7(915)1378665, e-mail: sokoloff.dd@gmail.com

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.02–теоретическая и математическая физика

Адрес места работы: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2,

МГУ им.М.В. ЛОМОНОСОВА, физический факультет, Тел.: 8(495)939-10-33; e-mail: math@physics.msu.ru

Подпись Д.Д.Соколова удостоверяю.

И.О. декана физического факультета МГУ

профессор