

2. Бризицкий Р.В., Сарицкая Ж.Ю. Оценки устойчивости решений экстремальных задач для нелинейного уравнения конвекции–диффузии–реакции // Журн. вычисл. матем. матем. физики. 2016. Т. 56, № 12. С. 60–71.
3. Бризицкий Р.В., Сарицкая Ж.Ю. Об устойчивость решений задач управления для уравнения конвекции–диффузии–реакции с сильной нелинейностью // Дифференц. уравнения. 2017. Т. 53, № 4. С. 493–504.
4. Бризицкий Р.В., Сарицкая Ж.Ю. Обратные коэффициентные задачи для нелинейного уравнения конвекции–диффузии–реакции // Известия РАН. Серия математическая. 2018 (в печати).

## **Ускорение плазмы в каналах криволинейной формы в присутствии продольного магнитного поля**

**<sup>1</sup>К. В. Брушлинский, <sup>2</sup>Е. В. Стёпин**

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН*

<sup>1</sup>[brush@keldysh.ru](mailto:brush@keldysh.ru)

<sup>2</sup>[stypin.evgeniy@gmail.com](mailto:stypin.evgeniy@gmail.com)

Несколько поколений плазменных ускорителей созданы и исследованы во второй половине XX века по инициативе, под руководством и при участии А.И. Морозова с весьма широким диапазоном характеристик. Маломощные стационарные плазменные двигатели (СПД) с длительным ресурсом работы [1] давно используются для коррекции орбит спутников Земли. Ускорители большой мощности представлены квазистационарным сильноточным плазменным ускорителем (КСПУ), продемонстрировавшим рекордные показатели скорости и энергии плазменной струи на выходе [2]. Здесь ускорение плазмы в канале, образованном двумя коаксиальными электродами, обязано амперовой силе взаимодействия радиального электрического тока с азимутальным, т.е. по-перечным по отношению к течению, магнитным полем. Теория и расчёты процесса ускорения в МГД-приближении представлены в [3–5] с необходимой библиографией.

Менее изучены течения плазмы в каналах, где дополнительно присутствует продольное магнитное поле, созданное, например, внешними проводниками с током. Математическая модель и результаты первых расчётов стационарных МГД-течений в тех же каналах с продольным магнитным полем изложены в [5]. Полученные результаты касаются классификации течений и некоторых их свойств, но они ограничены геометрией каналов, слабо отличающейся от цилиндрической. В продолжение и развитие этих работ в докладе представлены исследования течений в каналах и трубках, образованных электродами криволинейной формы. Рассмотрена роль кривизны каждого из электродов в отдельности. Основное внимание уделено сверхальфеновским трансзвуковым течениям с ускорением в каналах соплообразной формы. Расчёты проведены в двумерной МГД-модели, стационарные режимы получены установлением во времени. Отдельные детали течения в узких трубках между двумя близкими траекториями исследованы в квазидномерном приближении. Здесь стационарные течения описываются первыми интегралами МГД-уравнений, и нужные результаты получены в процессе решения системы линейных алгебраических уравнений.

В серии расчётов найдены распределения плотности и скорости плазмы, а также электрического тока в сечении канала и в узких трубках течения для различных вариантов геометрии. Влияние продольного поля на эти распределения определяется сравнением результатов с аналогичными расчётами без него. Установлено, что каналы с профицированным центральным электродом и цилиндрическим внешним обеспечивают более эффективное ускорение, чем противоположный вариант геометрии. Этот результат служит обоснованием выбранной формы канала КС-ПУ.

Полученные в последнее время результаты частично опубликованы в [6].

Работы, представленные в докладе, выполнены при поддержке РФФИ (проект № 15-01-03085).

## Литература

1. Morozov A.I., Savel'ev V.V. // *Reviews of Plasma Physics* / Ed. by B.B. Kadomtsev and V.D. Shafranov. — NY, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Consultants Bureau, 2000. — V. 21. — P. 203–391.

2. Морозов А.И., Брушлинский К.В., Терёшин В.И., Белан В.Г., Асташинский В.М. и др. Серия статей // Физ. плазмы. — 1990. — Т. 16, Вып. 2. — С. 131–196.
3. Морозов А.И., Соловьёв Л.С. // Энциклопедия низкотемпературной плазмы / Под ред. В.Е. Фортова. - М: Янус-К, 2007. — Серия Б. — Т. IX-2. — С. 292–333.
4. Брушлинский К.В., Морозов А.И. // Там же. — С. 334–369.
5. Брушлинский К.В. Математические и вычислительные задачи магнитной газодинамики. - М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 200 с.
6. Брушлинский К.В., Жданова Н.С., Стёpin Е.В. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2017. — № 42. — 19 с.

## Моделирование взаимодействия единого и дробящегося метеороида с атмосферой

<sup>1</sup>И. Г. Брыкина, <sup>2</sup>Г. А. Тирский

НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова

<sup>1</sup>shantii@mail.ru

<sup>2</sup>tirskiy@imec.msu.ru

Предлагается метод моделирования взаимодействия с атмосферой крупного метеороида, когда он движется как единое и как дробящееся тело; этим методом исследуется взаимодействие с атмосферой Земли Челябинского болида 15 февраля 2013 г. Большинство крупных каменных и железных метеороидов разрушается во время входа в атмосферу. Можно выделить два основных подхода к моделированию дробления метеороида. В первом предполагается, что фрагменты двигаются независимо (модели дробления на достаточно крупные куски или прогрессивной фрагментации). Другой подход - дробление метеороида на мелкие осколки, движущиеся, объединенные общей ударной волной, как единое тело, которое под действием аэродинамических нагрузок расплющивается, т.е. расширяется в поперечном движению направлении и сжимается в продольном. Такая <жидкостная> модель была предложена [1] для малых метеороидов, затем