

## Секция «Математика и механика»

### Численное исследование структуры течения в газодинамическом тракте масс-спектрометра.

*Пивоварова Елена Аркадьевна*

*Студент*

*Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,*

*Физико-механический факультет, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: pivovarova-elena@yandex.ru*

В настоящее время активно ведутся разработки портативных масс-спектрометров — приборов для определения масс атомов (молекул) по характеру движения их ионов в электрическом и магнитном полях, имеющих достаточно малые габариты и пригодных для эксплуатации в полевых условиях. При этом одной из основных задач при создании подобного типа приборов является процесс формирования молекулярных пучков молекул исследуемого вещества. Одним из наиболее эффективных способов формирования молекулярного пучка является газодинамический метод, при котором исследуемое вещество вместе с несущей средой (воздухом) проходит по газодинамическому тракту, представляющему из себя систему из подводящей трубки, сопла, промежуточной камеры и конического сепаратора (скиммера). При этом несущий газ в подводящей трубке находится при атмосферном давлении, в промежуточной камере давление на несколько порядков ниже атмосферного, а камера за скиммером (в которой и образуется молекулярный пучок), должна быть хорошо вакуумирована для нормальной работы масс-анализатора [1]. Таким образом, при истечении сверхзвуковой струи из сопла в промежуточной камере может возникнуть довольно сложная ударно-волновая структура, причем, как показывают исследования, качество формирующегося молекулярного пучка в большой степени зависит от взаимного положения ударных волн и носика скиммера.

Получить структуру сверхзвуковой струи с помощью натуральных экспериментов практически невозможно из-за очень малых размеров сопла (до нескольких десятков микрон) и всей системы в целом. Поэтому для исследования такого рода течений целесообразно использовать численный подход.

Для заданных параметров газодинамического тракта была сформулирована модель течения, основанная на уравнениях Навье-Стокса с добавленным уравнением сохранения энергии и уравнением состояния газа. Расчеты проводились при помощи открытого вычислительного пакета OpenFOAM, позволяющего моделировать нестационарные сверхзвуковые течения сжимаемого газа. Основными элементами геометрии являются сопло, формирующее сверхзвуковую струю газа, промежуточная камера и скиммер. Движение газа осуществляется за счет перепада давления на входе в сопло и в промежуточной камере, а также за счет пониженного давления в камере за скиммером. В зависимости от профиля сопла, его диаметра и перепада давления, могут реализоваться различные режимы течения струи (которые, в свою очередь, влияют на формирование молекулярного пучка за скиммером).

Для расчета течения использовалась осесимметричная постановка, в качестве расчетной области был выбран сектор с углом раствора 5 градусов и одной ячейкой поперек потока. На входе в расчетную область было задано атмосферное давление, давление в

камере за соплом составляло 1000 Па. Были получены распределения газодинамических величин за соплом, проанализирована структура сверхзвуковой струи. Распределение числа Маха в области сопла представлено на рис. 1. Из расчетов следует, что в данном случае струя практически не доходит до скиммера, поэтому получить качественные молекулярный пучок не удастся.

### Литература

1. M. Jugroot, C. P. T. Groth, B. A. Thomson, V. Baranov and B. A. Collings. Numerical investigation of interface region flows in mass spectrometers: neutral gas transport // Journal of Physics D: Applied Physics, V. 37, 2004, pp. 1289–1300.

### Иллюстрации

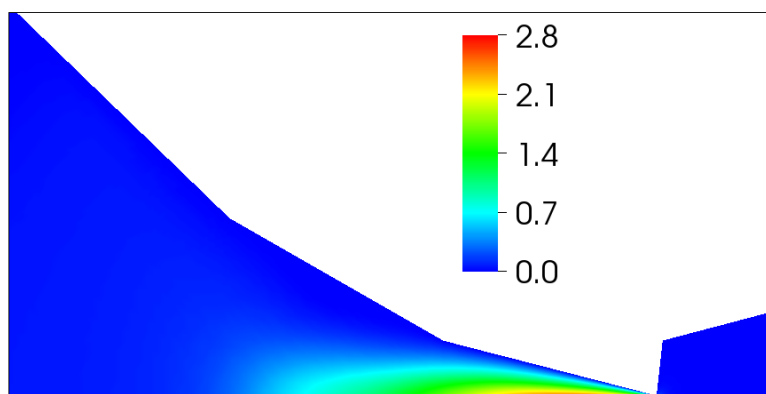


Рис. 1: Распределение числа Маха вблизи сопла