

## **I. НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТЫ**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ 2 МГЦ ЕМКОСТНОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДА И МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЛАЗМЕННЫЙ СЛОЙ У ПОВЕРХНОСТИ В ГИПЕРЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ГАЗА

## **II. СОСТАВ КОЛЛЕКТИВА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

И. В. Швейгерт, А. Л. Александров, Д. А. Аriskин, лаб. 7, ИТПМ СО РАН

## **III. КОНТАКТНОЕ ЛИЦО**

Швейгерт Ирина Вячеславовна, д.ф.-м.н., в.н.с., ischweig@itam.nsc.ru, Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, р.т.: 330-81-63.

## **IV. НАУЧНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **A. Постановка задачи**

Плазменный слой у поверхности гиперзвукового летательного аппарата, образованный при ассоциативной ионизации за фронтом ударной волны экранирует передачу и прием радиосигналов. С использованием двухмерного кинетического моделирования методом частиц в ячейках в работе рассматривается комбинированное воздействие высокочастотного емкостного (ВЧЕ) разряда, постоянного напряжения и магнитного поля на поток плазмы у плоской поверхности при низком давлении газа.

Система уравнений, описывающая ВЧЕ разряд в потоке газа, включает кинетические уравнения для электронов и ионов (трехмерные по скорости и двухмерные по пространству) и уравнение Пуассона. Для описания воздействия магнитной индукции  $B$  на заряженную частицу, движущуюся со скоростью в кинетические уравнения была добавлена сила Лоренца. Кинетика электронов в азоте включает упругие столкновения и возбуждение вращательных, колебательных, метастабильных уровней и ионизацию. Распределение скорости потока газа возле поверхности задается модельной функцией.

## **В. Современное состояние проблемы**

В конце 1960-х годов в экспериментальных полетах<sup>1-3</sup> проводились исследования параметров плазмы вокруг ЛА в верхних слоях атмосферы. Было показано, что ширина плазменного слоя увеличивается по мере удаления от точки присоединения ударной волны, а концентрация плазмы падает. При достаточно большой концентрации электронов плазменный слой либо отражает, либо поглощает передаваемые и принимаемые сигналы.

Одним из перспективных способов восстановления радиосвязи является применение электрических и магнитных полей для контролирования параметров плазменного слоя<sup>4</sup>.

## **С. Полученные результаты**

Показано, что суммарное воздействие 2 МГц емкостного разряда, постоянного напряжения и магнитного поля на плазменный слой позволяет многократно уменьшить локальную концентрацию электронов. Максимальный эффект достигается при комбинированном воздействии электрических и магнитных полей. Например, комбинированное воздействие переменного напряжения с амплитудой 3 кВ, постоянного напряжения -4 кВ и магнитной индукции 60 Гс позволяет уменьшить концентрацию плазмы в 6-7 раз в области над электродом.

## **Д. Эффект от использования кластера в достижении целей работы**

Использование кластера НГУ позволило получить все вышеизложенные результаты касающиеся динамики плазмы в электрических и магнитных полях. Известно, что численное моделирование на кинетическом уровне с использованием метода частиц в ячейках требует значительных вычислительных ресурсов. Распараллеливание алгоритма было реализовано на OpenMP.

## Е. Иллюстрации, визуализация результатов

На рис. 1 схематично показаны плазменный слой, расположение электродов, магнита и направление потока газа.

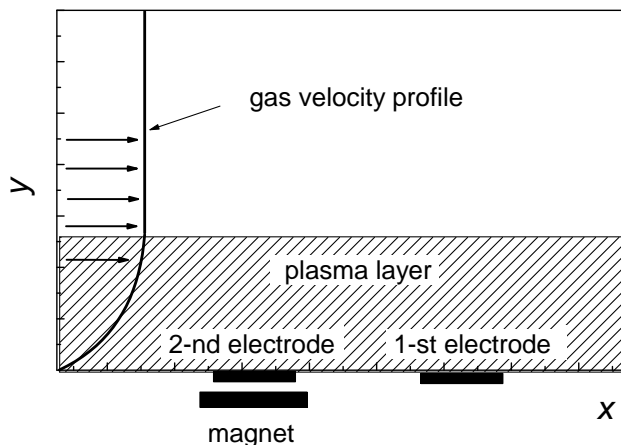


Рис. 1: Схематичное изображение плазменного слоя, электродов и магнита.

На рис. 2 показано изменение напряженности электрического поля в различные моменты периода разряда.

На рис. 3 показано усредненное по периоду распределение концентрации электронов при различных значениях магнитной индукции.

---

<sup>1</sup> N. D. Akey and A. E. Cross, Radio Blackout Alleviation and Plasma Diagnostic Results from a 25,000 Foot per Second Blunt-Body Reentry, NASA TN D-5615(1970).

<sup>2</sup> W. L. Grantham, Flight Results of a 25,000 Foot per Second Reentry Experiment Using Microwave Reflectometers to Measure Plasma Electron Density and Standoff Distance, NASA TN D-6062 (1970).

<sup>3</sup> W. Linwood - A. E. Jones and Cross, Electrostatic Probe Measurements of Plasma Parameters for Two Reentry Flight Experiments at 25,000 Foot per Second. NASA TN D-6617 (1972).

<sup>4</sup> M. Keidar, M. Kim and I. D. Boyd, J. of Spacecraft and Rockets, 45, 445 (2008).

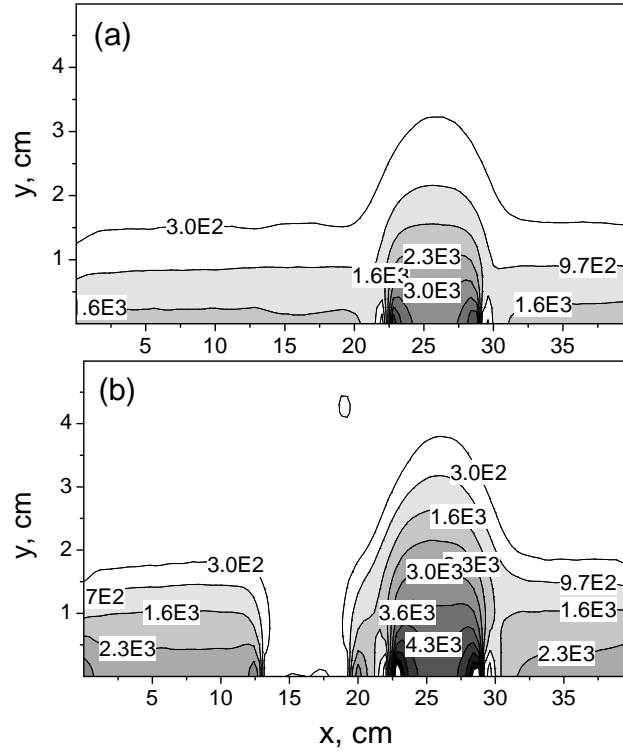


Рис. 2: Распределение электрического поля для  $U_0 = 3$  кВ и  $U_b = -4$  кВ для  $t_1 = 1/4t_p$  (a) и  $t_2 = 3/4t_p$  (b), где  $t_p$  - период разряда.

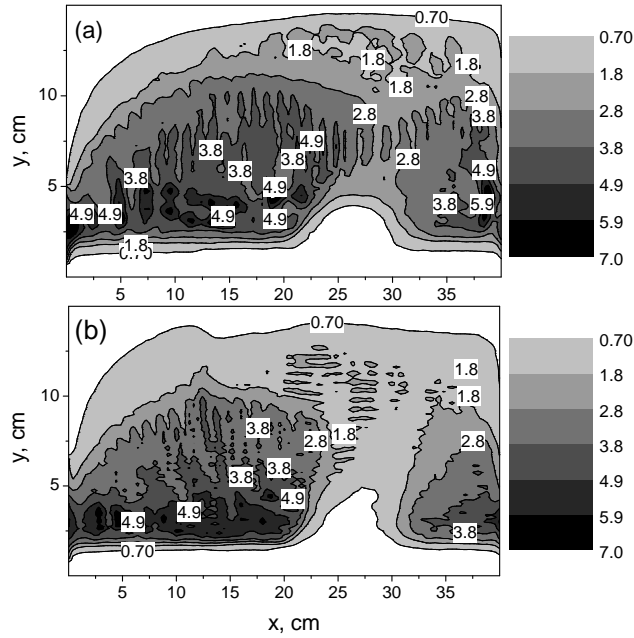


Рис. 3: Распределение концентрации электронов  $n_e/10^9 \text{ cm}^{-3}$  для  $U_0 = 3$  кВ и  $U_b = -4$  кВ при  $B = 6$  Гс (a) и  $B = 30$  Гс (b).  $P = 40$  мТорр,  $v_g = 2 \times 10^5$  см/с.