Экспериментальные результаты лабораторного моделирования астрофизических джетов на установках ПФ-3, PF-1000 и КПФ-4

В.И. Крауз, В.В. Мялтон, В.П. Виноградов, Е.П. Велихов, С.С. Ананьев, С.А. Данько, Ю.Г. Калинин, А.М. Харрасов, Ю.В. Виноградова, К.Н. Митрофанов\*, М. Падух\*\*, Р. Миклашевски\*\*, Е. Зелинска\*\*, Е. Складник-Садовска\*\*\*, М. Садовски\*\*\*, Р. Квятковски\*\*\*, К. Томашевски\*\*\*\*, Д.А. Войтенко\*\*\*\*\*

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, krauz\_vi@nrcki.ru
\*ТРИНИТИ, Троицк, Москва, Россия, mitrofan@triniti.ru
\*\*ИФПЛМ, Варшава, Польша, marian.paduch@ifpilm.pl
\*\*\*НЦЯИ, Отвок-Шверк, Польша, Elzbieta.Skladnik@ncbj.gov.pl
\*\*\*\*ACS Ltd, Варшава, Польша, ktomaszewski@acs.com.pl
\*\*\*\*\*ГНПО «СФТИ», Сухум, Абхазия, opti-sfti@ya.ru

Лабораторное моделирование астрофизических джетов является одним из активно развиваемых научных направлений. Установки типа «плазменный фокус» представляют собой эффективный инструмент в моделировании струйных выбросов молодых звездных объектов. В настоящее время развивается широкая международная кооперация с участием трех крупнейших в мире плазмофокусных установок: ПФ-3 (НИЦ «Курчатовский институт», PF-1000 (ИФПиЛМ, Варшава) и КПФ-4 «Феникс» (ГНПО «СФТИ», Сухум).

На установке ПФ-3 при стационарном напуске газа в разрядную камеру найдены режимы с формированием компактных плазменных потоков. Поперечные размеры головной части потока не превышают несколько см при распространении на расстояния до 100 см. Определены параметры плазмы потока и фоновой плазмы при разрядах в неоне и гелии на различных расстояниях от пинча. На периферии потока наблюдаются структуры магнитного поля, связанные с протеканием обратных токов. Несмотря на сильное затухание магнитного поля по мере распространения потока, при разряде в неоне сохраняется компактность его головной части, что может быть обусловлено радиационным охлаждением плазмы.

 Основной целью экспериментов на установках PF-1000 и КПФ-4 является создание профилированных начальных газовых распределений для управляемого изменения условий распространения плазменного потока в фоновой плазме. На установке PF-1000 реализован режим с дополнительной инжекцией рабочего газа в приосевую область разряда. Получены компактные плазменные образования на расстоянии 40 см от анода. Внутри этих образований протекает осевой ток, создающий тороидальное магнитное поле и замыкающийся на периферии. По анализу Штарковского уширения линий оценена концентрация плазмы на расстоянии 57 см от торца анода, которая составила (0.4 – 3.7) x 1017 см-3 и зависит от начального распределения газа и задержки интервала регистрации спектра относительно момента генерации струи. Оценена электронная температура, составившая около 5 eV. Концентрация фоновой плазмы составила ~ 1.5 x 1015 см-3.

На установке КПФ-4 проведены эксперименты по определению локализации магнитного поля в плазменном потоке с помощью сравнения данных магнитных зондов и скоростной фоторегистрации потока в оптическом диапазоне. Показано, что магнитное поле, захваченное плазменным потоком, сосредоточено в области слабого оптического свечения плазмы, в так называемых «магнитных пузырях». Реализован режим импульсного напуска газа, отличный от режима напуска на установке PF-1000, а именно с повышенной плотностью в районе изолятора. Показано, что скорость джета практически постоянна на длине пролета и увеличивается с ростом давления на оси разряда в промежутке катод-анод.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проектами РФФИ № 14-29-06085-ОФИ\_М, 14-02-01203-а, 14-02-00179a, 15-52-40009 Абх\_а, и программой исследований в рамках грантов МАГАТЭ RC-16115, RC-19253 и RC-17088.