ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КАПИЛЛЯРНЫХ РАЗРЯДАХ

Сасоров П.В.

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия, pavel.sasorov@gmail.com

Газовый разряд в тонком сквозном канале в диэлектрике называется капиллярным разрядом. Геометрия плазмы и магнитного поля в таких разрядах только количественно отличается от того, что имеет место в Z-пинчах. Плазма капиллярных разрядов имеет различные приложения: а) как источник ВУФ излучения; б) как активная среда для лазеров ВУФ и мягкого рентгеновского диапазонов; в) как плазменный волновод для достаточно дальней транспортировки мощных лазерных пучков; г) в качестве плазменной линзы для фокусировки пучков заряженных частиц; и т.п. В этом докладе будет представлен обзор физических процессов, определяющих основные свойства плазмы капиллярных разрядов.

Электрический ток, протекающий через капиллярный разряд, вызывает в основном два эффекта. Первый из них — это то, что этот ток ***j*** создает азимутальное магнитное поле ***B***. Это приводит к возникновению силы Ампера, пропорциональной ***j × B***, которая стремится сжать плазму разряда к его оси. Второй эффект состоит в том, что электрический ток вызывает омический нагрев. Темп этого нагрева пропорционален ***j***2/σ, где σ — электрическая проводимость плазмы. Наличие магнитного поля может приводить также к эффектам второго плана, таким, как подавление теплопроводности.

Для случая более сильных токов, более горячей плазмы и с бо́льшим диаметром разряда доминирует первый эффект. Это приводит к сильному сжатию плазмы к оси разряда. Динамика плазмы в таких разрядах подобна динамике плазмы в классических Z-пинчах. Начальное давление газа, заполняющего капилляр, его химический состав, амплитуда тока и диаметр капилляра определяют максимальные температуру и плотность плазмы в момент максимального сжатия. Эти зависимости будут обсуждаться в этом обзоре.

Для более низких токов, относительно более холодной плазмы и меньших диаметров капилляра сильный омический нагрев приводит к тому, что роль силы Ампера становится пренебрежимо слабой по отношению к силам, вызванными градиентами давления. В результате капиллярная плазма приходит в довольно простое механическое и тепловое равновесие. Это позволило развить очень простую аналитическую модель для таких водородных капиллярных разрядов. Она описывает распределения температуры и электронной плотности по сечению таких разрядов.

Капиллярные разряды часто отягощены испарением стенки капиллярных разрядов из-за достаточно сильных потоков тепла на них. В докладе будут обсуждены физические процессы, определяющие температуру стенки, а также методы учета такого испарения в динамике капиллярной плазмы.