

УДК 537.525

Л.А. Новиков, В.Ю. Карасев, С.И.Павлов, Е.С. Дзлиева, М. А. Ермоленко, М. М. Макара

*Институт физики Санкт-Петербургского государственного университета, Россия,
198504, Санкт-Петербург, Ульяновская ул., 1, E-mail: plasmadust@yandex.ru*

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТОРЦАХ СОЛЕНОИДОВ НА ДВИЖЕНИЕ ЗОНДИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

АННОТАЦИЯ

Исследовалось движение падающих пробных пылевых частиц в однородном тлеющем разряде в магнитном поле, созданном двумя катушками. Обнаружено влияние неоднородности магнитного поля на торцах катушек на азимутальную составляющую скорости зондирующих частиц. Определено направление и получена зависимость угловой скорости частиц от величины магнитного поля на анодном и на катодном торцах катушек.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ПЫЛЕВАЯ ПЛАЗМА, ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД, ПРОБНЫЕ ЧАСТИЦЫ

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что пылевые структуры, образующиеся в стратах в тлеющем разряде, приходят во вращение при наложении продольного магнитного поля. Зависимость угловой скорости вращающихся пылевых структур имеет нелинейный характер, при определенном значении магнитного поля меняет знак [1, 2]. Существует несколько гипотез механизма возникновения вращения и перемены его направления. В одной из них - [3] говорится об эффектах, связанных с расходимостью магнитных линий на торце соленоида, создающего магнитное поле в трубке. В этой работе мы решили проверить влияние конфигурации катушек на движение зондирующих частиц. Эксперимент проводился на той же установке, на которой наблюдалось вращение плазменно-пылевых структур, и состоял в измерении азимутальной составляющей скорости падающих частиц в нестратифицированном разряде, чтобы избежать неоднородностей электрического поля, связанных со стратами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема установки представлена на рис.1. Вертикальная разрядная трубка имела длину 70см, диаметр 3,2см. Катод располагался снизу вертикально, анод сверху в боковом отростке. Особенностью разрядной трубки являлось наличие вставки, обеспечивающей сужение токового канала до 5 мм. Магнитное поле создавалось двумя катушками высотой 15см, радиусом 15см каждая с расстоянием 9 см между ними. Трубка имела возможность перемещаться вдоль оси на 5 см. Подсветка производилась сбоку параллельным пучком толщиной 1 см. Видеосъемка производилась сверху через оптическое окно. Эксперименты проводились в нестратифицированном разряде в аргоне при давлении 1,8 Торр. Использовались частицы ниобата лития размерами 1 – 4 мкм.

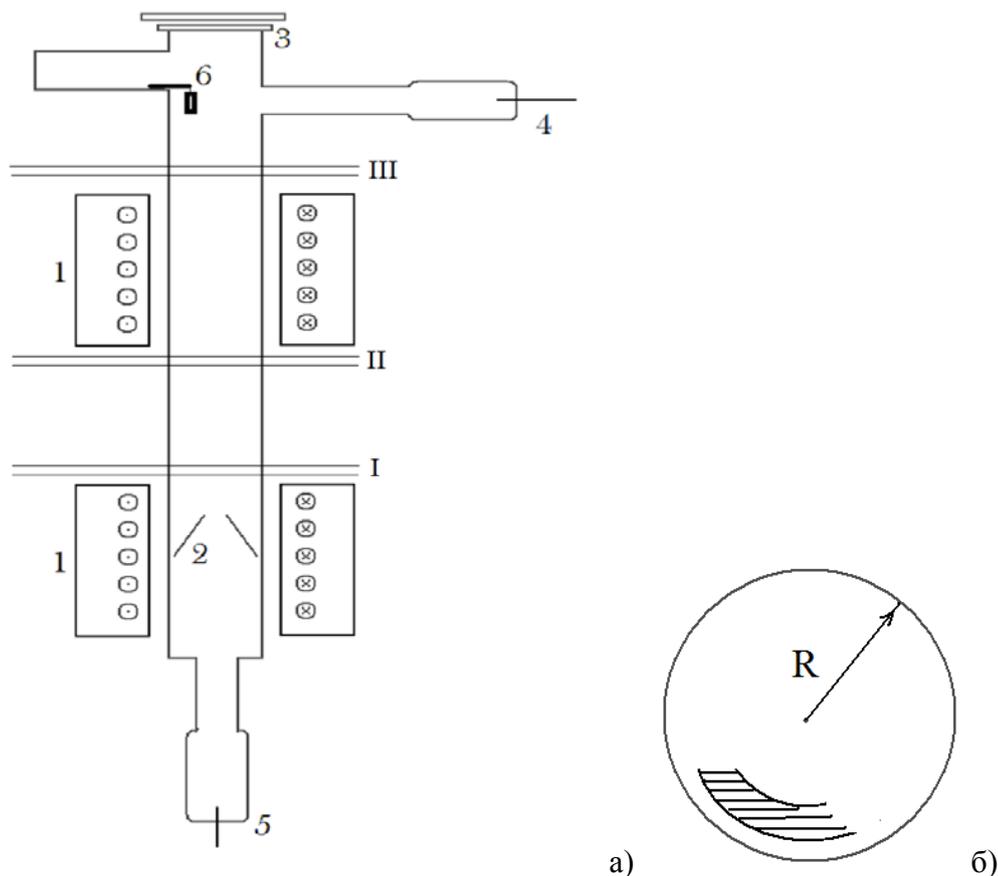


Рис. 1. а) Схема установки. 1 – магнитные катушки; 2 – вставка; 3 – оптическое окно и светофильтр для съемки сверху; 4 – анод; 5 – катод; 6 – контейнер с частицами. I, II, и III – области, в которых наблюдалось азимутальное движение падающих частиц. б) Область наблюдения азимутального движения пробных частиц.

ИЗМЕРЕНИЕ АЗИМУТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ ПАДАЮЩИХ ЧАСТИЦ В НЕСТРАТИФИЦИРОВАННОМ РАЗРЯДЕ

Область наблюдения схематично показана на рис.1б.

Наблюдения проводились в трех сечениях: над нижней катушкой, над верхней и под верхней катушкой, и при трех положениях трубки – вставка находилась на 1,5см и на 4см ниже и на 2см выше верхнего торца нижней катушки. Измерения выполнялись в несколько этапов: с одной включенной катушкой (верхней или нижней) и с двумя, включенными последовательно. Направление магнитного поля во всех случаях было одинаковым (вверх).

Для вычисления азимутальной скорости накладывались треки на нескольких кадрах и измерялась их длина. Выбирались частицы, пролетающие область наблюдения с вертикальной скоростью от 3 до 10 см/с. Положительным направлением принято направление угловой скорости, сонаправленное с вектором магнитного поля.

Измерение азимутальной скорости в промежутке между катушками

Из рис.2а. видно, что в области под верхней катушкой, на “катодном” торце верхней катушки пробные частицы закручиваются в положительном направлении, если включена верхняя катушка или включены обе. С магнитным полем скорость частиц растет. Если включена только нижняя катушка, частицы двигаются в отрицательном направлении.

Над нижней катушкой, на ее “анодном” торце частицы закручиваются положительно, если включена только верхняя катушка. При обеих включенных катушках или только одной нижней зависимость азимутальной скорости от магнитного поля имеет более сложный

характер, напоминающий зависимость угловой скорости от B для пылевых структур в стратах.

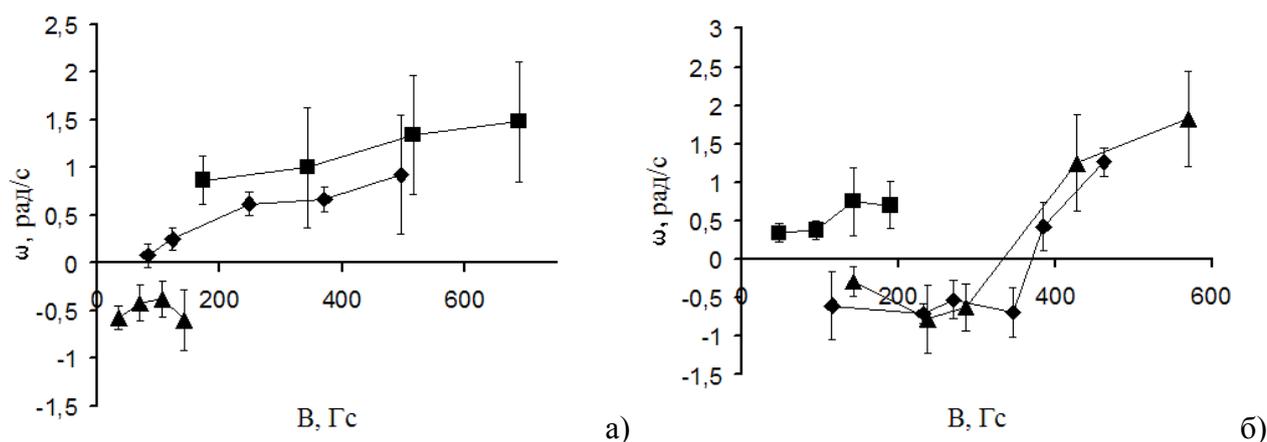


Рис. 2. Зависимость угловой скорости падающих пробных частиц от продольной составляющей магнитного поля. а) В области II. б) В области I. Условия аргон, 1,8 Торр, 1,6мА, вставка находилась на 4см ниже верхнего торца нижней катушки. Обозначения: ■ – включена только верхняя катушка; ▲ – включена только нижняя катушка; ◆ - включены обе катушки.

Измерение азимутальной скорости над верхней катушкой

Измерения на “анодном” торце были произведены также над верхней катушкой, в том месте, где разряд не имеет сужения и, следовательно, нет радиальной составляющей тока. Результат представлен на рис.3. Угловая скорость частиц, пролетающих в этой области, отрицательна, величина ее с ростом магнитного поля увеличивается. В отличие от результата, полученного в области I, перемены знака зависимости угловой скорости от магнитного поля нет.

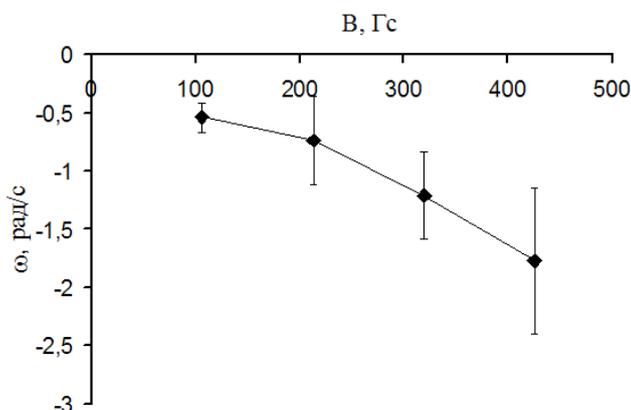


Рис. 3. Зависимость угловой скорости падающих пробных частиц от продольной составляющей магнитного поля в области III. Условия аргон, 2,8 Торр, 1,6 мА, вставка находилась на 4см ниже верхнего торца нижней катушки. Включены обе катушки.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты наводят на мысль о том, что в области анодного торца катушки существует механизм, вызывающий вращательное движение пылинок с отрицательной угловой скоростью, а в области катодного торца – с положительной.

Возможно, этот механизм связан с азимутальной силой ионного увлечения, возникающей оттого, что ионы движутся не параллельно линиям магнитного поля в областях торцов катушек и приобретают азимутальный импульс, который затем передают частицам. Возможно, в этих же областях азимутальный импульс вследствие силы Ампера приобретает газ, который увлекает потом частицы.

Схема взаимных направлений токов и линий магнитного поля, а также направления вращения частиц, показана на рис. 4.

Что касается области I, то при больших магнитных полях там начинает преобладать механизм, показанный на рис.4в., связанный с радиальной составляющей тока над вставкой.

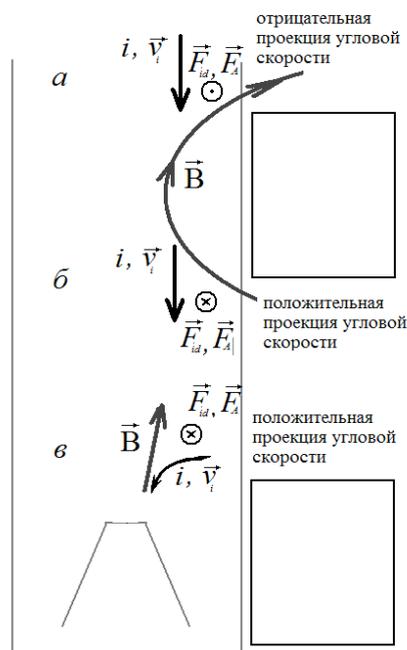


Рис. 4. Взаимное направление линий тока и линий магнитного поля в трех исследуемых областях разрядной трубки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karasev V.Yu., Dзлиева E.S., Ivanov A.Yu., Eikhval'd A.I. Rotational motion of dusty structures in glow discharge in longitudinal magnetic field //Phys.Rev. E. 2006. 74. 066403.
2. D'yachkov L.G., Petrov O.F., Fortov V.E. Dusty Plasma Structures in Magnetic DC Discharges.// Contrib. Plasma Phys. 2009. 49. №3. P.134–147.
3. Недоспасов А.В., Ненова Н.В. Силы ионного увлечения и магнитомеханический эффект. // ЖЭТФ. 2010. Т.138. В.5(11). С.991 – 997.

L.A. Novikov, V.Yu. Karasev, S. I. Pavlov, E. S. Dзлиева, M. A. Ermolenko, M. M. Makar
*Institute of Physics, St. Petersburg State University, Russia, 198504, St. Petersburg,
 Ulianovskaya 1, E-mail:plasmadust@yandex.ru*

EFFECT OF NONUNIFORM MAGNETIC FIELD ON THE MOTION OF PROBE PARTICLES IN GLOW DISCHARGE

The motion of falling probe dust particles in the uniform glow discharge in the magnetic field created by two coils was investigated. Influence of heterogeneity of a magnetic field at the edges of coils on an azimuthal component of velocity of probing particles is revealed. The direction of angular velocity of particles is defined and its dependence on the magnitude of the magnetic field in the areas of the coils edges is obtained.

MAGNETIC FIELD, DUSTY PLASMAS, GLOW DISCHARGE, PROBE PARTICLES