

Физика плазмы и плазменные технологии

УДК 533.92

О механизме критической рефракции в тороидальном плазменном вихре

А. М. Игнатов, В. Н. Кунин, В. С. Плешивцев, А. А. Рухадзе
Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия

Рассмотрен механизм увеличения концентрации свободных электронов на периферии тороидального плазменного вихря, обусловленный термоэлектронной эмиссией с поверхности аэрозольных частиц. Согласно проведенным оценкам, увеличение электронной концентрации может обеспечить захват и канализацию оптического излучения.

PACS: 52.25.-b

Введение

Возможность накопления электромагнитной энергии лучей оптического диапазона в плазменном тороидальном вихре была доказана проведенными ранее экспериментальными исследованиями [1, 2]. Тороидальные вихри создавались при взрыве алюминиевых мембран мощным электрическим импульсом, причем ток протекал от периферии к центру мембраны. Максимальный радиальный градиент концентрации электронов реализовывался вблизи края мембраны. Для захвата оптического излучения в вихре необходимо создать такой радиальный градиент концентрации электронов, чтобы лучи оптического диапазона испытывали критическую рефракцию.

При токах 11—16 кА средняя ионизационная температура была около 80 000 К. При такой температуре продукты взрыва однократно полностью ионизированы и оптические лучи испытывают рефракцию на электронной компоненте плазмы. Радиус кривизны траектории распространения луча по порядку величины равен $n/|dn/dr|$, где $n(r)$ — показатель преломления. Как показали эксперименты с регистрацией направления плоскости поляризации луча, свет распространялся по окружности в плоскости тора, а радиус закольцованного луча лежал в пределах 15—18 см.

Недостатками такого метода с технологической точки зрения являются: необходимость перезарядки плазменной пушки фольгой после каждого опыта, выгорание электродов, громоздкость и дороговизна установки.

Отметим два обстоятельства, не объясненных ранее достаточно убедительно: захват луча происходит при использовании сравнительно толстых

мембран (т. е. при больших концентрациях паров окислов алюминия) и на основании проведенных расчетов при $\lambda > 15$ мкм. Однако опыты показали, что захватывается и свет видимого диапазона, следовательно, имеется неучтенный ранее в расчетах дополнительный механизм, усиливающий рефракцию. Предлагаемое объяснение этого механизма состоит в следующем.

Механизм критической рефракции

Температура плазмы многократно превышает температуру кипения вещества. Все вещество, которое не успело испариться в разряде, выбрасывается из вихря центробежной силой. Это было проверено с помощью введения в холодный вихрь небольших (3 мкм) аэрозольных частиц с малым удельным весом. Оказалось, что пробные частицы выбрасываются из вихря за время менее 0,1 с. Таким образом, в объеме плазмы аэрозольные частицы отсутствуют, однако они накапливаются в переходном слое вблизи поверхности тора. Аэрозольные частицы становятся видимыми после гибели тороидального вихря и висят в воздухе лаборатории минутами.

Отсюда следует, что вблизи поверхности тора реализуются условия образования термической пылевой плазмы [3], в которой повышенная концентрация электронов создается за счет термоэлектронной эмиссии с поверхности аэрозольных частиц. В результате аэрозольные частицы оказываются положительно заряженными, причем величина заряда может достигать десятков тысяч элементарных зарядов.

С помощью существующей теории зарядки частиц в термической пылевой плазме [4] авторами были проведены оценки характерных величин.

Например, при концентрации аэрозольных частиц порядка $n_d \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$, размере порядка микрометра, работе выхода и температуре порядка 1 эВ концентрация свободных электронов достигает величины $n_e \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$, а при $n_d \sim 10^{15} \text{ см}^{-3} — n_e \sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Поскольку столь высокая концентрация электронов достигается в слое толщиной порядка десятков микрометров, градиент концентрации оказывается очень большим.

Заключение

За счет поверхностной ионизации частичек аэрозольного тумана создается тонкий слой с высоким градиентом электронной концентрации, направленный по радиусу, который может обеспечить условия захвата и канализации оптического излучения. Этот механизм также может быть реализован и в холодном тороидальном атмосферном вихре. Если в такой вихрь инжектировать некото-

рое количество аэрозольных частиц с достаточно малой работой выхода, то в результате их разогрева (внешним лазерным излучением, например) можно создать достаточно высокую концентрацию свободных электронов. Подобный метод свободен от отмеченных выше недостатков создания тороидального плазменного вихря с помощью взрыва металлических мембран.

Литература

1. Кунин В. Н., Пleshivцев В. С., Фуров Л. В. // ТВТ. 1997. Т. 35. С. 866.
2. Ignatov A. M., Furov L. V., Kunin V. N., Pleshivtsev V. S., Rukhadze A. A. Artificial Fireball as Dust-Plasma Cloud. In: Frontiers in Dusty Plasmas. Proc. Second Int. Conf. on the Physics of Dusty Plasmas. Elsevier. 2000. P. 477 (Y. Nakamura, T. Yokota, P. K. Shukla, Eds.).
3. Фортвов В. Е., Храпак А. Г., Храпак С. А., Молотков В. И., Петров О. Ф. // УФН. 2004. Т. 174. С. 495.
4. Vishnyakov V. I., Dragan G. S. // Phys. Rev. E. 2006. V. 74.

Статья поступила в редакцию 1 августа 2008 г.

On the origin of critical refraction in a toroidal plasma vortex

A. M. Ignatov, V. N. Kunin, V. S. Pleshivtsev, A. A. Rukhadze
A. M. Prokhorov General Physics Institute of RAS, Moscow, Russia

We discuss the growth of the free electron concentration at the edge of a toroidal plasma vortex provided by the thermal electron emission from the surface of aerosol particulates. According to our estimations, the increase in electron concentration may yield trapping and canalizing the optical radiation.

PACS: 52.25.-b

УДК 539.173: 533.9

Самоорганизация пылевых частиц в плазме пучка протонов

Л. В. Депутатова, В. И. Владимиров, В. С. Филинов, В. Е. Фортвов
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

А. П. Будник, П. П. Дьяченко, В. А. Рыков, К. В. Рыков
ГНЦ РФ "Физико-энергетический институт им. акад. А. И. Лейпунского", г. Обнинск, Россия

Представлены результаты исследования поведения пылевых частиц в плазме, формируемой пучком протонов в инертных газах (He, Ar, Kr). Впервые в области пучка протонов получены стабильные упорядоченные пылевые структуры — "плазменно-пылевой кристалл" из пылевых частиц диаметром 1,0; 3,0, 4,8 мкм. Развита математическая модель, позволившая провести численное моделирование образования кристалла из пылевых частиц в плазме, формируемой пучком протонов.

PACS: 52.50.-b