



# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. А. Раваев, М. И. Лоза, А. А. Мехедькин,  
Л. Я. Полонский, Л. Н. Пятницкий, Форми-  
рование протяженной каустики СВЧ излу-  
чения с помощью аксикона,  
*Письма в ЖТФ*, 1990, том 16, вы-  
пуск 23, 67–70

<https://www.mathnet.ru/pjtf3573>

Использование Общероссийского математического портала  
Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны  
с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.174

28 апреля 2025 г., 05:40:20



## ФОРМИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕННОЙ КАУСТИКИ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АКСИКОНА

А.А. Раваев, М.И. Лоза,  
А.А. Мехедькин, Л.Я. Полонский,  
Л.Н. Пятницкий

Исследования СВЧ разрядов в свободном пространстве в волновых полях со структурой, отличной от получаемой традиционными методами, представляет несомненный интерес для развития концепций теории СВЧ разрядов в газах и для прикладных целей [1-4]. Например, использование волновых пучков с протяженной каустикой может повысить КПД плазменных преобразователей электромагнитного излучения в квазистационарный ток [2], эффективность СВЧ накачки УФ азотных и эксимерных лазеров [3, 4].

В работе рассматривается возможность формирования высокоинтенсивных СВЧ полей с длинной каустикой с помощью конической линзы - аксикона. Аксикон А обеспечивает подвод энергии электромагнитного излучения к оси системы под фиксированным углом  $\gamma$  на всем протяжении каустики (рис. 1), что и определяет особенность этого метода формирования волновых полей по сравнению с обычными. Симметрия фокусировки при этом такова, что диаметр осевой каустики постоянен по всей длине распространения волнового пучка  $L = R/tg\gamma$ , где  $R$  - радиус его апертуры до фокусировки. Волновой фронт ВФ такого пучка представляет собой конус с углом раскрыва  $\alpha = 2\gamma$ . Радиальная структура поля в пределах геометрической оптики описывается функцией Бесселя первого рода нулевого порядка  $J_0(krsin\gamma)$  [5].

Эксперимент по формированию бesselевых лазерных пучков полностью подтвердил расчетные данные [6]. Оптический пробой в поле аксикона позволяет формировать сплошные протяженные лазерные искры, длина которых в атмосфере воздуха доведена в настоящее время до 1 м [7, 8]. Это говорит о целесообразности проведения аналогичных экспериментов в СВЧ диапазоне электромагнитных волн.

Аксикон изготовлен из полиэтилена с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2.4$ . Диаметр его  $D = 22.5\lambda$ ; а электрическая толщина  $\sqrt{\epsilon}D \gg \lambda = 4$  см - в этом существенное отличие от условий применения аксиконных линз в оптическом диапазоне частот, где  $\sqrt{\epsilon}D \gg \lambda$ . Для формирования волнового пучка с плоским фронтом перед аксиконом устанавливалась отрицательная корректирующая линза КЛ. Апертура пучка за ней  $2R = 20$  см. Угол раскрыва аксикона  $\sim 140^\circ$  ( $\alpha = 20^\circ$  - см. рис. 1). Соответственно угол схо-

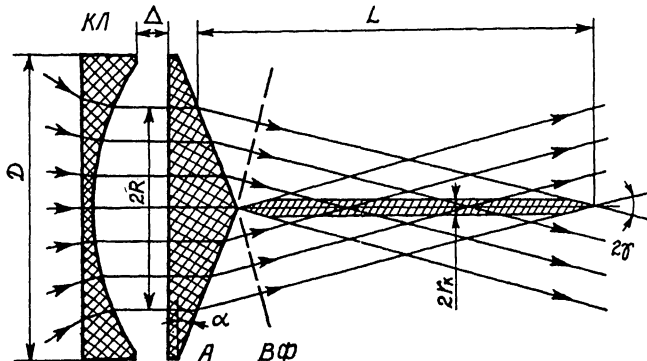


Рис. 1. Схема формирования каустики СВЧ излучения аксиконной линзой.

димости излучения  $\gamma \approx 11.3^\circ$ , и расчетная линия каустики  $L = R / \text{tg} \gamma \approx R [(\sqrt{\epsilon} - 1)\alpha]^{-1} = 50$  см.

Визуализация формируемого аксиконом пространственного распределения интенсивности излучения осуществлялась по термограммам, получаемым с помощью графитизированной майларовой пленки. Пленка располагалась вдоль оптической оси системы за аксиконом; ее ширина и длина превышали расчетные значения диаметра и протяженности каустики. Регистрация температурных полей проводилась термовизором АГА-680. Погрешность методики без учета краевых эффектов на пленке не превышала 20%. В процессе измерений оптимизировались ориентация КЛ и ее расстояние до аксикона  $\Delta$ . Оптимальное с точки зрения получения максимально протяженной каустики положение корректирующей линзы показано на рис. 1; при этом  $\Delta = 0$ .

На рис. 2 приведены полученные в режиме изотерм термограммы распределения интенсивности СВЧ излучения за корректирующей линзой (а) и на выходе всей системы за аксиконом (б). Очевидно изменение структуры поля. Сформирована квазиоднородная протяженная каустика с продольным размером  $\sim 45$  см по уровню 0.5, что с достаточной точностью совпадает с указанным выше значением  $L = 50$  см. Расчетный минимальный диаметр каустики, определяемый „нулями“ функции Бесселя,  $2r_k \approx 2.4\lambda [\pi(\sqrt{\epsilon} - 1)\alpha]^{-1} \approx 16$  см превышал экспериментальное значение  $\sim$  в 1.5 раза. По нашему мнению это объясняется существенным отличием волнового фронта перед аксиконом от плоского из-за низкой эффективности работы использованной отрицательной линзы (ее электрическая толщина изменялась от  $0.15\lambda$  на оси до  $\sim \lambda$  на периферии). Это явилось одной из причин и локальной неоднородности каустики (рис. 2, б).

Энергетические потери в формируемом аксиконом волновом поле относительно традиционных методов не превышали 2 дБ. Реа-

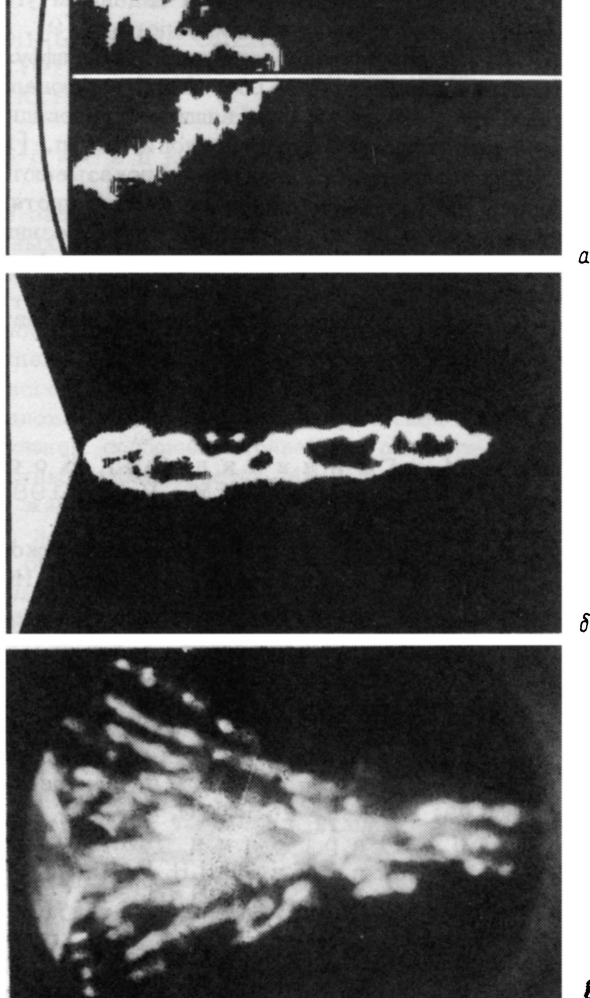


Рис. 2. Термограммы распределения интенсивности излучения на входе (а) и выходе (б) СВЧ-аксикона. Структура СВЧ разряда в поле аксикона при давлении воздуха 3 Тор (в).

лизация „коротких“ каустик  $\sim 15-20$  см при  $\Delta = 3-5$  см позволила получить даже выигрыш по плотности потока энергии у оси около 1.5 дБ. Поляризация излучения после установки аксикона не изменяется.

Косвенным подтверждением ожидаемых особенностей формируемого аксиконом волнового пучка является структура самостоя-

тельного безэлектродного СВЧ разряда (рис. 2в) при давлении воздуха в камере 3 Торр, интенсивности излучения  $\sim 3 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup> и длительности моноимпульса 400 мкс. Приведенная структура отчасти напоминает разряд в сходящихся под заданным углом независимых волновых пучках в аналогичных условиях [9]. При низких давлениях <1 Торр разряд носил типичный диффузионный характер. При давлении в камере 30–150 Торр наблюдались и другие известные типы разрядов – ветвящиеся, нитевидные (вытянутые вдоль направления электрического поля) и т.п. [1, 9, 10].

Таким образом, проведенные эксперименты доказывают возможность формирования СВЧ пучков бесселевого типа с протяженной каустикой для пробоя газов на значительной длине. Возникающий разряд может представить большой интерес как новый физический объект, а также для ряда практических приложений.

За обсуждение и помощь в проведении исследований авторы благодарят А.Н. Воронина и Ю.И. Хворостяного.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б а т а н о в Г.М., Г р и ц и н и н С.И., К о с с ы й И.А. и др. // Труды ФИАН. М.: Наука, 1985. Т. 160. С. 174–203.
- [2] Генерация нелинейных волн и квазистационарных токов в плазме / Под ред. Л.М. К о в р и ж н ы х. // Труды ИОФАН. М.: Наука, 1988. Т. 16. 168 с.
- [3] Б а б и н А.А., В и х а р е в А.Л., Г и н п б у р г В.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 5. С. 31–33.
- [4] С л и н к о В.Н., С у л а к ш и н С.С., С у л а к ш и н а Л.В. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 3. С. 604–606.
- [5] К о р о б к и н В.В., П о л о н с к и й Л.Я., П о п о н и н В.П., П я т н и ц к и й Л.Н. // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. В. 2. С. 265–270.
- [6] А р и с т о в А.Г., М а р г о л и н Л.Я., П о л о н с к и й Л.Я., П я т н и ц к и й Л.Н. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. В. 12. С. 1299–1304.
- [7] П о л о н с к и й Л.Я., П я т н и ц к и й Л.Н. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. В. 7. С. 86–92.
- [8] A n d r e e v N.E., M a r g o l i n L.Ya., P o l o n s k y L.Ya., P y a t n i t s k y L.N. // Proc. XIX Int. Conf. on Phenomen in Ionized Gases. Belgrad. 1989. V. I. P. 50–51.
- [9] В и х а р е в А.Л., Г и л ь д е н б у р г В.Б., К и м А.В. и др. // Высокочастотный разряд в волновых полях. Горький: ИПФ АН СССР, 1988. С. 41–135.
- [10] Г о л у б е в С.В., Г р и ц и н и н С.И., З о р и н В.Г. и др. // Высокочастотный разряд в волновых полях. Горький: ИПФ АН СССР, 1988. С. 136–197.