

УДК 537.525.1

ФАКТОР ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОНА В РАЗРЯДЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПАРАХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

А. М. Девятов, Т. Н. Соловьев

(кафедра электроники)

Неослабный интерес к изучению плазмы щелочных металлов связан с ее применением в устройствах прямого преобразования тепловой энергии в электрическую (МГД-генераторы, термоэмиссионные преобразователи и др.). Одной из важных характеристик плазмы является фактор энергетических потерь электрона, определяющий такие основные параметры плазмы, как электронная температура и удельная электропроводность. Ранее фактор энергетических потерь электрона в парах щелочных металлов измерен Сугаварой и Ченом [1], которые исследовали положительный столб низковольтного дугового разряда в парах цезия при давлениях 0,006—0,08 Тор. Для определения экспериментального фактора энергетических потерь электрона они использовали известную формулу, связывающую электронную температуру с напряженностью продольного электрического поля [2]:

$$V_e = 0,63 \frac{\lambda_e E}{\sqrt{\kappa_e}}, \quad (1)$$

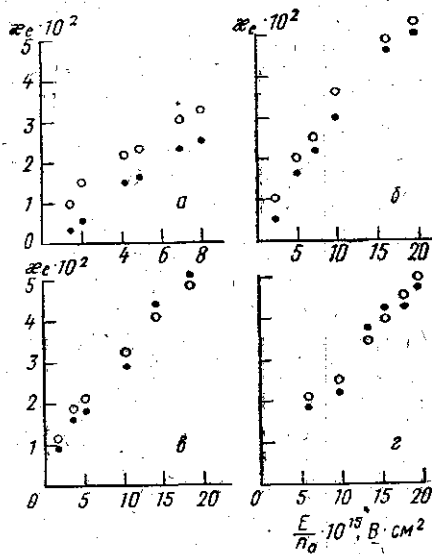
где λ_e — средняя длина свободного пробега электрона, κ_e — фактор энергетических потерь электрона, равный средней доле энергии, теряемой электроном при одном соударении. Нами использовано это же соотношение в разряде в парах натрия, калия, рубидия и цезия в условиях предыдущего эксперимента [3] (таблица).

Элемент	$p \cdot 10^3$, Тор	V_e , эВ	E , В/см
Натрий	2—22	0,6—1,5	0,3—1,4
Калий	0,6—7,6	0,5—1,8	0,2—0,7
Рубидий	0,7—4,7	0,5—1,3	0,2—0,6
Цезий	0,4—1,1	0,6—1,3	0,2—0,3

Для нахождения средней длины свободного пробега электрона мы пользовались экспериментальными величинами полного сечения рассеяния электронов на атомах калия, рубидия, цезия [4] и натрия [5]. Найденные по формуле (1) величины фактора энергетических потерь представлены на рисунке темными точками.

С другой стороны, как это сделано в [1], принимая во внимание упругие и неупругие удары первого и второго родов электронов с атомами и ионами, фактор энергетических потерь можно рассчитать. Подробный анализ баланса энергии электронов, проведенный одним из нас

[6], показал, что в условиях нашего эксперимента потери энергии обусловлены соударениями электронов с атомами в основном и первом возбужденном состояниях. При малых величинах концентрации электронов и давления паров щелочных металлов основным механизмом потерь энергии электронами является возбуждение резонансных уровней атомов. При увеличении концентрации электронов и давления возрастает роль ступенчатого возбуждения с резонансных уровней, и в разряде рубидия и цезия потери энергии на ступенчатое возбуждение становятся сравнимыми с потерями на возбуждение резонансных уровней из основных состояний атомов электронным ударом. Во всех исследованных условиях эксперимента потери, обусловленные столкновениями электронов с ионами, ионизацией, уходом на стенки разрядной трубки,



Фактор энергетических потерь электрона в положительном столбе разряда в парах натрия (а), калия (б), рубидия (в) и цезия (г): ● — измеренный, ○ — вычисленный.

и прибыль энергии за счет ударов второго рода несущественны. Таким образом, в нашем случае расчетная формула приобретает следующий простой вид:

$$\kappa_e' = \sum_{k \geq 1} \frac{\bar{\sigma}_{0k} V_{0k}}{\bar{\sigma}_d V_e} + \sum_{k \geq 2} \frac{\bar{\sigma}_{1k} n_1 V_{1k}}{\bar{\sigma}_d n_a V_e}, \quad (2)$$

где $\bar{\sigma}_{0k}$, V_{0k} — эффективные сечения и потенциалы прямого возбуждения, $\bar{\sigma}_{1k}$, V_{1k} — эффективные сечения и потенциалы ступенчатого возбуждения с резонансных уровней, $\bar{\sigma}_d$ — транспортное сечение атомов, V_e — электронная температура в электронвольтах, n_a , n_1 — концентрация атомов в основном и первом возбужденном состояниях. Все эффективные сечения усреднены по максвелловскому распределению электронов по скоростям, которое имеет место в условиях нашего эксперимента [3]. Для транспортных сечений атомов, эффективных сечений прямого и ступенчатого возбуждений атомов электронным ударом мы брали экспериментальные значения из наших предыдущих работ [3, 7], которые хорошо согласуются с результатами других авторов. Вычисленные по формуле (2) значения фактора энергетических потерь электрона представлены на рисунке светлыми кружочками. Как видно из рисунка, измеренные и вычисленные величины фактора энергетических потерь электрона практически совпадают. Факторы энергетических потерь электрона в разряде в парах натрия, калия и рубидия исследованы впервые. А в разряде в парах цезия наши данные трудно сравнить с результатами Сугавары и Чена, так как в наших экспериментах давление паров металлов мало и поэтому параметр E/n_a у нас почти на порядок величины выше, чем в [1]. Но при экстраполяции наших данных к малым значениям E/n_a мы получили для цезиевого разряда $\kappa_e' \approx 2 \cdot 10^{-3}$, что очень близко к результату [1].

Для учета возможного влияния молекулярных ионов на результаты эксперимента мы оценили скорости их генерации в наших условиях. Эффективные сечения ассоциативной ионизации при столкновении двух резонансно возбужденных атомов щелочных металлов экспериментально определены многими авторами и приведены в [8]. Константы образования молекулярных ионов с использованием эффективных сечений ассоциативной ионизации из [8] оказались в наших условиях на 2—3 порядка ниже соответствующих констант генерации атомарных ионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sugawara M., Chen C. J. Phys. Rev. A, 1970, 1, p. 1674. [2] Грановский В. Л. Электрический ток в газе. Т. 1. М.—Л., 1952, с. 252. [3] Девятков А. М., Волкова Л. М., Соловьев Т. Н. ТВТ, 1974, 12, с. 705. [4] Visconti P. J., Slevin J. A., Rubin K. Phys. Rev. A, 1971, 3, p. 1310. [5] Kasdan A., Miller T., Bederson B. Phys. Rev. A, 1973, 8, p. 1562. [6] Solovyev T. J. Phys. D: Appl. Phys., 1980, 13, p. 1291. [7] Девятков А. М., Соловьев Т. Н., Волкова Л. М. ТВТ, 1975, 13, с. 264. [8] Huennekens J., Gallagher A. Phys. Rev. A, 1983, 28, p. 1276.

Поступила в редакцию
19.12.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 4

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 621.373.826

САМОВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ СО СЛУЧАЙНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

А. С. Чиркин, Ф. М. Юсубов

(кафедра научной информации МГУ; кафедра общей физики и волновых процессов)

1. **Введение.** Интерес к изучению явления самовоздействия световых пучков со случайной модуляцией вызван прежде всего проблемой подавления нежелательных эффектов, которые сопровождают это явление и ограничивают мощность пучков, распространяющихся в среде без искажения.

Для анализа самовоздействия случайных пучков с гауссовской статистикой использовались приближение сохранения статистики в нелинейной среде [1], приближение заданного канала [2] и метод статистических испытаний [3]. Исследование самовоздействия пучков со случайной фазовой модуляцией к настоящему времени выполнено с помощью кинетического уравнения для функции Вигнера, полученного в геометрикооптическом приближении [4—5]. Такой подход не учитывает, однако, дифракционный эффект на апертуре пучка.

В предлагаемой работе для анализа самовоздействия пучков со случайной фазой использован метод Фейнмана интегрирования по траекториям. Получено выражение для критической мощности волноводного распространения случайного пучка в случае произвольного соотношения между радиусом пучка и радиусом корреляции. Рассмотрена эволюция случайного пучка в нелинейной среде.

2. **Основные соотношения.** В общем случае самовоздействие световых пучков описывается следующим нелинейным параболическим уравнением: