

## РАДИОФИЗИКА

УДК 533.932:533.9.082.5

### ПРИМЕНИМОСТЬ ЗАКОНА БЛАНКА К ДИФФУЗИИ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМОВ В БИНАРНЫХ СМЕСЯХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Ф. А. Аушева, А. М. Девятов, В. М. Шибков

(кафедра физической электроники)

Впервые получены зависимости коэффициентов диффузии атомов  $\text{Xe}(^3P_2)$  в смеси  $\text{Ne—Xe}$  и  $\text{Ne}(^3P_{0,2})$  в смеси  $\text{Ne—Ne}$  от процентного состава смеси и подтверждения возможности оценки этих зависимостей по закону Бланка.

Известно [1, 2], что для подвижностей ионов в смесях газов выполняется закон Бланка, выражающийся следующей формулой:

$$(n_1 + n_2)/b = n_1/b_1 + n_2/b_2, \quad (1)$$

где  $n_1, n_2$  — концентрации одного и второго сортов атомов;  $b, b_1, b_2$  — подвижности исследуемых ионов в смеси, в газе первого и второго сортов соответственно. Подвижность связана с коэффициентом диффузии  $D$  известным соотношением Эйнштейна  $D = bT$ , где  $T$  — температура газа. Подвижность есть, по определению, коэффициент пропорциональности между средней скоростью, приобретаемой частицей газа во внешнем поле, и действующей на частицу со стороны поля силой [3]. В случае ионов таким полем является электрическое поле, подвижность же метастабильных атомов определяется радиальным градиентом их концентрации. Очевидно, что соотношение Эйнштейна позволяет в формуле (1) заменить подвижности соответствующими коэффициентами диффузии:

$$(n_1 + n_2)/D = n_1/D_1 + n_2/D_2. \quad (2)$$

Возможность оценки коэффициентов диффузии метастабильных атомов по формуле (2) была экспериментально проверена в смесях  $\text{Ne—Ne}$ ,  $\text{Ne—Xe}$ . Коэффициенты диффузии определены из анализа результатов оптических и электрокинетических измерений в послесвечении газоразрядной плазмы. Выбиралось условия эксперимента, при которых основным механизмом, приводящим к гибели возбужденных частиц в стадии деионизации плазмы, является их диффузионный уход на стенки разрядной трубки, а протекание разрядного тока в активной фазе не приводит к заметному разогреву газа. В таком случае решением уравнения Фика  $\partial n/\partial t = \nabla D \nabla n$ , которому подчиняется диффузия частиц, является  $n(t) = n(0)e^{-t/\tau}$ , где  $\tau = \Lambda^2/D$  — характеристическое время диффузии,  $\Lambda$  — диффузионная длина. Концентрация атомов измерялась по поглощению спектральных линий с длиной волны  $\lambda = 8231 \text{ \AA}$ ,  $6402 \text{ \AA}$ ,  $6163 \text{ \AA}$  соответственно для состояний  $\text{Xe}(^3P_2)$ ,  $\text{Ne}(^3P_2)$ ,  $\text{Ne}(^3P_0)$  методом двух идентичных  $U$ -образных трубок. Закон уменьшения концентрации электронов, знание которого было необходимо для проведения анализа изменения концентрации возбужденных атомов в стадии послесвечения, наблюдался методом второго импульса [4].

Измерения коэффициентов диффузии  $\text{Xe}(^3P_2)$  в смеси  $\text{Ne—Xe}$  при изменении процентного содержания ксенона в ней от 0,1% до 100% проводились при следующих условиях: давление смеси  $0,1 \div 0,05 \text{ Тор}$ , разрядный ток  $50 \div 70 \text{ мА}$ , длительность импульса  $\sim 100 \text{ мкс}$ , режим горения разряда разовый. При этих условиях, как показывают оценки, основным процессом, приводящим к изменению плотности метастабильных атомов  $\text{Xe}(^3P_2)$  в позднем послесвечении, является диффузионный уход частиц на стенки. Основным конкурентоспособным диффузионному уходу процессом мог быть процесс ступенчатого возбуждения атомов  $\text{Xe}(^3P_2)$  за счет соударений с электронами на резонансный уровень  $^3P_1$ , поскольку остальные процессы происходят с частотами намного меньшими, чем частоты этих двух процессов. Так, частота взаимодействия двух атомов  $\text{Xe}(^3P_2)$  при данных условиях порядка  $1 \text{ с}^{-1}$  [5], частота ступенчатого возбуждения на все вышележащие состояния, кроме уровня  $^3P_1$ , и частота ступенчатой ионизации намного меньше, чем  $10 \text{ с}^{-1}$  [6], частота тушения за счет взаимодействия с нейтральными атомами неона — порядка  $1 \text{ с}^{-1}$  [7]. В активной фазе разряда ступенчатое возбуждение на уровень  $^3P_1$  происходит с частотой  $\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$  [8], сравнимой с частотой диффузионного ухода на стенки. Поэтому измерения проводились в позднем послесвечении, где концентрация электронов уменьша-

ется на порядок величины, соответственно частота этого процесса уменьшается во столько же раз.

В смеси He—Ne, в которой были проведены измерения коэффициентов диффузии метастабильных атомов  $\text{Ne}(^3P_{0,2})$  при изменении содержания неона в ней от 1 до 100%, выбранные условия эксперимента были следующие: давление смеси  $0,1 \div$

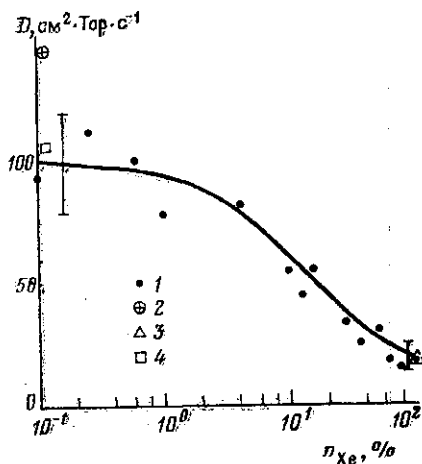


Рис. 1. Зависимость коэффициента диффузии атомов  $\text{Xe}(^3P_2)$  от процентного содержания Xe в смеси неон—ксенон  $n_{\text{Xe}}$ ; эксперимент: 1 — данная работа; 2 — [6]; 3 — [13]; расчет: 4 — [17]; кривая — по формуле (2)

$\div 0,2$  Тор, ток  $15 \div 50$  мА, длительность импульса  $\sim 100$  мкс, режим горения разряда разовый. При этих условиях частота тушения метастабильных атомов за счет взаимодействия с электронами  $\sim 5 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$  [9] может быть сравнима с частотой диффузионного ухода  $10^3 \text{ с}^{-1}$ . Поэтому измерения коэффициентов диффузии проводились

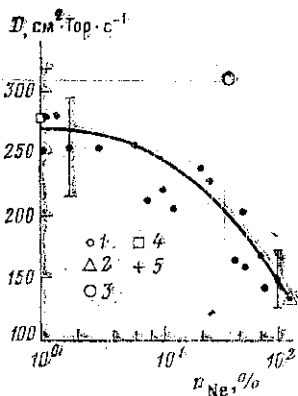


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузии атомов  $\text{Ne}(^3P_2)$  от процентного содержания Ne в смеси гелий—неон  $n_{\text{Ne}}$ ; эксперимент: 1 — данная работа; 2 — [14]; 3 — [15]; расчет: 4 — [17]; 5 — [16]; кривая — по формуле (2)

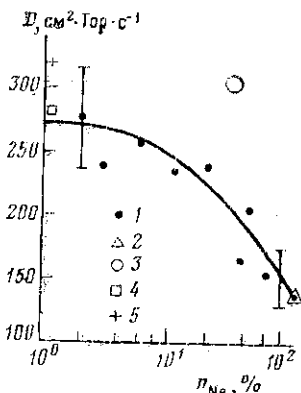


Рис. 3. Зависимость коэффициента диффузии атомов  $\text{Ne}(^3P_0)$  от процентного содержания неона в смеси гелий—неон  $n_{\text{Ne}}$ ; эксперимент: 1 — данная работа; 2 — [14]; 3 — [15]; расчет: 4 — [17]; 5 — [16]; кривая — по формуле (2)

в позднем послесвечении, когда процессами, связанными с электронным разрушением метастабильных атомов, можно было пренебречь из-за уменьшения температуры и концентрации электронов. Все процессы взаимодействия метастабильных атомов неона с нейтральными и возбужденными атомами происходят с частотами намного меньшими, чем частота диффузионного ухода их на стенки. Так, оценки дают, что

частоты взаимодействия атомов  $\text{Ne}(^3P_2)$  с атомами  $\text{Ne}(^3P_{1,2})$  меньше  $10 \text{ с}^{-1}$  [10], атомов  $\text{Ne}(^3P_{0,2})$  с атомами неона в основном состоянии меньше  $10^2 \text{ с}^{-1}$  [11], частоты гибели атомов  $\text{Ne}(^3P_{0,2})$  при взаимодействии с нейтральными атомами  $\text{Ne}$  меньше  $1 \text{ с}^{-1}$  [12].

Полученные результаты приведены на рис. 1—3. Там же представлены кривые, полученные по формуле (2). Как видно из рисунков, в пределах экспериментальных погрешностей расчетная кривая согласуется с результатами наших экспериментов, что свидетельствует о возможности оценивать значения коэффициентов диффузии метастабильных атомов в бинарных смесях, используя закон Бланка.

Нами были проведены подобные измерения коэффициентов диффузии атомов  $\text{Xe}(^3P_2)$  в смеси  $\text{He—Xe}$ , которые также подтверждают применимость закона Бланка для метастабильных атомов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Blanc M. A. // *J. de Physique*. 1908. 7. P. 825. [2] Хастед Дж. Физика атомных столкновений. М., 1965. С. 506. [3] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. М., 1979. Т. 10. С. 59. [4] Герасимов Г. Н., Лягушенко Р. Н., Старцев Г. П. // *Опт. и спектр.* 1971. 30. С. 606. [5] Богданова И. П., Бочкова О. П., Фриш С. Э. // *Спектроскопия газоразрядной плазмы*. Л., 1976. В. 1. С. 3. [6] Левченко М. А., Прилежаева И. А., Сорокин Г. М., Алексеев В. Г. // *Метастабильные состояния атомов и молекул и методы их исследования*. Чебоксары, 1979. С. 93. [7] Wieme W., Lenaerts J. // *J. Chem. Phys.* 1980. 72. P. 2708. [8] Shibkova L. V., Devyatov A. M. // *Proc. ESCAMP VI, Contrib. papers. Oxford, 1982*. P. 45. [9] Бочкова О. П., Сукиасян Э. А. // *Опт. и спектр.* 1986. 61. С. 1180. [10] Демидов В. И., Колоколов Н. Б. // *ЖТФ*. 1978. 48. С. 1832. [11] Phelps A. V. // *Phys. Rev.* 1959. 114. P. 1011. [12] Девдариани А. Э., Загребин А. Л. // *Опт. и спектр.* 1985. 59. С. 256. [13] Lenaerts J., Wieme W. // *ICPIG-XI, Prague, 1973*. P. 37. [14] Molnar J. P. // *Phys. Rev.* 1951. 83. P. 940. [15] Dixon J. R., Graut F. A. // *Phys. Rev.* 1957. 107. P. 118. [16] Загребин А. Л., Павловская Н. А. // *Опт. и спектр.* 1987. 62. С. 27. [17] Смирнов Б. М. *Возбужденные атомы*. М., 1982. С. 30—37.

Поступила в редакцию  
21.06.88

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 3

УДК 535.416.3

## ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА В МЕМБРАННЫХ КОРРЕКТОРАХ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

К. В. Шишаков

*(кафедра общей физики и волновых процессов)*

Предложен алгоритм оптимизации формы электростатических приводов в мембранных корректорах волнового фронта. На его основе рассмотрено проектирование мембранного корректора для компенсации фазовых искажений световой волны, прошедшей слой турбулентной атмосферы.

Компенсация фазовых искажений световой волны позволяет в ряде случаев существенно улучшить качество оптических систем [1]. Для этих целей при работе со слабыми световыми полями перспективно использование мембранных корректоров волнового фронта [2]. Формой поверхности пленочного зеркала в них управляют с помощью усилий, создаваемых плоскими электродами (электростатическими приводами), плотно заполняющими область активной апертуры [2, 3]. Одной из основных задач проектирования мембранных корректоров является обеспечение требуемой точности воспроизведения поверхностью зеркала детерминированных или случайных aberrаций световой волны при наименьшем количестве каналов управления (электродами). Эта задача сводится к оптимизации формы электродов по критерию наименьшей среднеквадратичной ошибки аппроксимации фазовых искажений.

Целью работы является получение алгоритма оптимизации формы электродов и его применение в задаче компенсации фазовых искажений световой волны, прошедшей слой турбулентной атмосферы.