

ДВУХКРАТНАЯ ИОНИЗАЦИЯ МАГНИЯ ПРИ ТЕПЛОВЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ С ИОНАМИ ГЕЛИЯ

Е. Л. Латуш, М. Ф. Сэм

В настоящей работе установлено существование процесса двухкратной ионизации атомов магния при тепловых столкновениях с ионами гелия и показано, что этот процесс может являться эффективным источником создания двухкратно ионизованных атомов примеси и потому играть существенную роль при газовых разрядах в смесях.

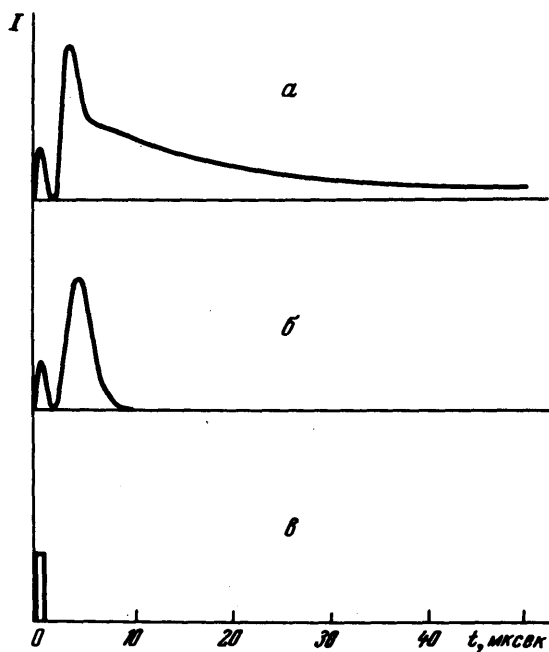
Существует около 30 элементов, у которых энергия двухкратной ионизации меньше энергии ионизации гелия, и для которых энергетически возможна двухкратная ионизация при столкновениях с ионами гелия:



В отличие от обычной перезарядки при тепловых скоростях, для эффективного протекания процесса (1) не требуется резонанса энергий, так как избыток энергии, как и при пеннинг-процессе [1], может передаваться освобождающемуся электрону.

Для обнаружения эффекта наблюдалось послесвечение импульсного газового разряда в смеси гелий – магний. Магний был выбран потому, что энергия, требуемая для его двухкратной ионизации, меньше энергии ионизации гелия на 1,95 эв, но больше энергии метастабильных состояний гелия.

Наблюдения послесвечения показали: 1) при достаточно больших токах в импульсе послесвечение на всех линиях $MgII$ в смеси Mg с He имеет вначале кратковременный всплеск, а затем достаточно интенсивный длительный спад (рис. а). 2) Длительное послесвечение линий $MgII$ не связано с метастабильными гелия, так как добавки в смесь $Mg - He$ аргона в количествах, при которых он сильно уменьшает концентрацию метастабилей гелия посредством пеннинг-эффекта [2], практически не сказывались на виде послесвечения линий $MgII$. 3) Послесвечение линий $MgII$ является по своей природе рекомбинационным, так как, если вслед за первым импульсом на любую точку послесвечения наложить второй, небольшой по величине, импульс, который приводит к некоторому нагреванию электронного газа, свечение во время него прекращается. 4) При увеличении давления паров магния длительность послесвечения линий $MgII$ сокращается. Одновременно с этим сокращается длительность спада линий гелия, послесвечение которых связано с рекомбинацией ионов гелия.



Форма послесвечения линий $MgII$: а — в смеси с гелием, б — в смеси с аргоном, в — импульс тока. Давление гелия и аргона $3,5 \text{ тор}$; давление магния $2 \cdot 10^{-3} \text{ тор}$. Диаметр разрядной трубки 8 мм

Наблюдаемая форма послесвечения $MgII$ линий в смеси $Mg - He$ может быть объяснена следующим образом. Импульс тока создает некоторое количество частиц Mg^{++} . После его окончания и остывания электронов происходит быстрая (из-за большой величины коэффициента ударно-излучательной рекомбинации двухкратно заряженных ионов [3]) рекомбинация Mg^{++} . Это и приводит к первому всплеску интенсивности $MgII$ линий в послесвечении; и, если бы образование ионов Mg^{++} не продолжалось, послесвечение на этом бы и закончилось (что и наблюдается в смеси $Mg - Ar$ (рис. б)). Наличие же длительного послесвечения, которое в соответствии с п. 3 также носит рекомбина-

ционный характер, говорит о том, что в послесвечении продолжается образование Mg^{++} . Из п. п. 2 и 4 следует, что частицами, ответственными за это, могут быть только ионы гелия. Заселение уровней $MgII$ происходит при этом по следующей схеме:



Кинетические уравнения процессов, происходящих в послесвечении разряда, записанные в предположении, что ионы гелия в основном исчезают за счет диффузии на стенки и нейтрализации на атомах магния посредством (II) имеют вид

$$\frac{dN_b^{++}}{dt} = N_a^+ Q v_T N_b - N_b^+ a_b n_e, \quad (1)$$

$$\frac{dN_a^+}{dt} = -\gamma N_a^+ - N_b v_T Q N_a^+. \quad (2)$$

Здесь N_a^+ — концентрация He^+ ; N_b и N_b^{++} — концентрации соответственно атомов и двухкратных ионов магния, a_b — коэффициент ударно-радиационной рекомбинации Mg^{++} , Q — сечение процесса (II), v_T — средняя скорость относительного движения, γ — диффузионная постоянная, n_e — концентрация электронов.

Если наблюдения вести при таких давлениях магния, чтобы выполнялось $N_b Q v_T > \gamma$, то $a_b n_e \approx \text{const}$, и с учетом этого условия решение уравнений (1) и (2) для интенсивности линий $MgII$ дает:

$$I = \text{const} \cdot a_b n_e N_b^{++} = \text{const} [C \exp(-a_b n_e t) + N_a^+(0) Q v_T N_b \exp\{-\gamma t - N_b Q v_T t\}]. \quad (3)$$

При достаточно больших n_e , первый член в (3) показывает быстрый спад в начале послесвечения, а второй — медленный спад, который и обуславливается двухкратной ионизацией магния при столкновениях с ионами гелия. Длительность медленного спада (τ) зависит от давления паров магния:

$$\frac{1}{\tau} = \gamma + N_b v_T Q \quad (4)$$

и из экспериментальной зависимости $(1/\tau) = f(N_b)$ можно найти сечение процесса (II). Измеренное таким образом сечение процесса двухкратной ионизации магния при тепловых столкновениях с ионами гелия оказалось равным $(1,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$.

Следует добавить, что в смеси $Mg - He$ нами наблюдалась генерация когерентного излучения на линиях 9244 и 9218 \AA $4P_{3/2, 1/2} - 4S_{1/2}$

Mg^{II} . Импульс генерации отстоял от импульса тока на 30 – 50 *мксек*, т. е. приходился на ту область послесвечения, где именно процессы (II) и (III) определяют населенность уровней иона магния.

Ростовский
государственный университет

Поступила в редакцию
14 апреля 1972 г.

Литература

- [1] J. В. Hasted, M.A., D.Phil. Physics of Atomic collisions, Butterworths, London 1964. (Дж. Хастед. Физика атомных столкновений. М., изд. Мир, 1965 г.)
- [2] Б.М.Смирнов. Атомные столкновения и элементарные процессы в плазме. М., Атомиздат, 1968.
- [3] D.R.Bates, A.E.Kingston, R.W.P.McWhirter. Proc. Roy. Soc., A267, 297, 1962.
-