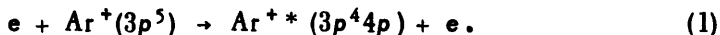


СЕЧЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ЛИНИЙ Ar II ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

А. И. Ижре, А. И. Дашенко, И. П. Запесочный,
В. А. Кельман

Исследование механизма генерации в ионном аргоновом ОКГ непрерывного действия [1 – 3] показывает, что преобладающий вклад в заселение верхних лазерных уровней должно вносить электронное возбуждение с основного состояния иона. Правда, этот вывод основан на использовании сечений возбуждения ионов аргона, рассчитанных в борн-кулоновском приближении для переходов между электронными конфигурациями, а не между соответствующими энергетическими уровнями иона. Поэтому очень важно экспериментально измерить сечения возбуждения ионов аргона в области малых энергий электронов. Однако, такого рода исследования представляют исключительно трудную задачу. Об этом свидетельствуют опубликованные к настоящему времени экспериментальные работы, в каждой из которых исследовался процесс возбуждения только одного уровня или линии, имеющий наибольшую вероятность, а именно: метастабильного уровня $\text{He}^+(2s)$ [4] и резонансных линий Ba II [5] и Ca II [6].

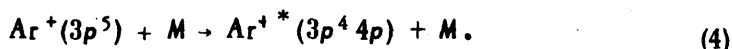
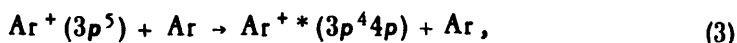
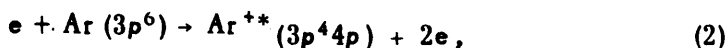
В нашей лаборатории создана крупногабаритная масс-спектрометрическая установка с пересекающимися электронным и ионным пучками для исследования процессов возбуждения медленными электронами различных ионных объектов в широком диапазоне излучаемых длин волн. В данной статье сообщается об экспериментах по возбуждению группы лазерных линий, возникающих при непосредственном столкновении медленных электронов с ионами аргона, находящимися в основном состоянии, т. е. в процессе:



Ионы аргона вытягивались электрическим полем из источника и разделялись по отношению e/m в масс-спектрометре с неоднородным магнитным полем. Сформированный системой прямоугольных щелей ионный пучок пересекался под прямым углом электронным пучком. Концентрация ионов аргона в области пересечения пучков при энергии 15 кэВ была $\sim 2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$, а плотность тока электронов в диапазоне энергий $10 + 100 \text{ эВ}$ равнялась $(3 + 5) \cdot 10^{-3} \text{ а/см}^2$. Энергетическая неоднородность электронов составляла $\sim 2 \text{ эВ}$. Спектральное разделение излучения возбужденных ионов производилось монохроматором МДР-2. Относительная яркость исследуемой линии регистрировалась фотоумножителем, работающим в режиме счета отдельных фотоэлектронов.

Предельное давление остаточных газов в дифференциально откачиваемой камере столкновений было $5 \cdot 10^{-8} \text{ тор}$. В рабочих условиях оно повышалось до $5 \cdot 10^{-7} \text{ тор}$ из-за нейтрализации ионов на поверхностях

и в приемнике, а также из-за газовой эффузии аргона из источника ионов. В этих условиях концентрация нейтральных частиц газа (преимущественно аргона) в камере столкновений почти на два порядка превосходит концентрацию ионов аргона в пучке. Поэтому выделение полезного сигнала (процесс (1)) необходимо осуществлять на значительном фоне излучения той же длины волны, обусловленного столкновениями электронов и ионов с атомами аргона, а также молекулами атмосферных газов, а именно:



В общем случае для этой цели на установке использовалась модуляционная методика двух пучков. В данном же случае (возбуждение Ar^+) оказалось возможным ограничиться модуляцией только одного электронного пучка (из-за сравнительно высокого порога процесса (2)). Она осуществлялась прямоугольными импульсами с синхронной регистрацией импульсных сигналов с ФЭУ на два пересчетных канала. Эта методика дает возможность исследовать процесс возбуждения ионов электронным ударом до энергий, соответствующих порогу реакции (2) (т. е. до энергии ~ 35 эв). В этом диапазоне энергий нами были впервые измерены функции возбуждения и определена эффективность возбуждения и определена эффективность возбуждения четырех лазерных переходов Ar II с уровнями $4p^2 P_{1/2}^{\circ}$, $4p^2 P_{3/2}^{\circ}$, $4p^2 D_{3/2}^{\circ}$ и $4p^2 D_{5/2}^{\circ}$, потенциалы возбуждения которых соответственно равны: 19,80; 19,87; 19,76 и 19,68 эв.

Энергетические зависимости сечений возбуждения исследованных линий представлены на рис. 1 и 2. На кривых показан 90%-й доверительный интервал (вертикальные отрезки) относительных измерений функции возбуждения, пунктиром обозначены пороги возбуждения верхних уровней соответствующих переходов. Абсолютные сечения были получены путем калибровки системы регистрации по известным сечениям возбуждения исследуемых переходов с основного состояния атома аргона, т. е. процесса (2) [7]. При этом была введена поправка, учитывающая долю возбужденных ионов, излучающих в области обзора детектора фотонов, в зависимости от скорости их движения и времени жизни возбужденных состояний. Среднеквадратичная погрешность в определении эффективных сечений возбуждения составляет $\pm 40\%$.

Как видно из рисунков, характерной особенностью возбуждения этих переходов является наличие двух максимумов: первого — у порога процесса, второго — в области энергий электронов 28 — 29 эв. Очевидно, что при улучшении монокинетичности электронов первые максимумы на кривых будут сдвигаться к порогам возбуждения и величины сечений у порога соответственно возрастут.

Полученные результаты показывают, что эффективность возбуждения лазерных линий Ar II медленными электронами с ос-

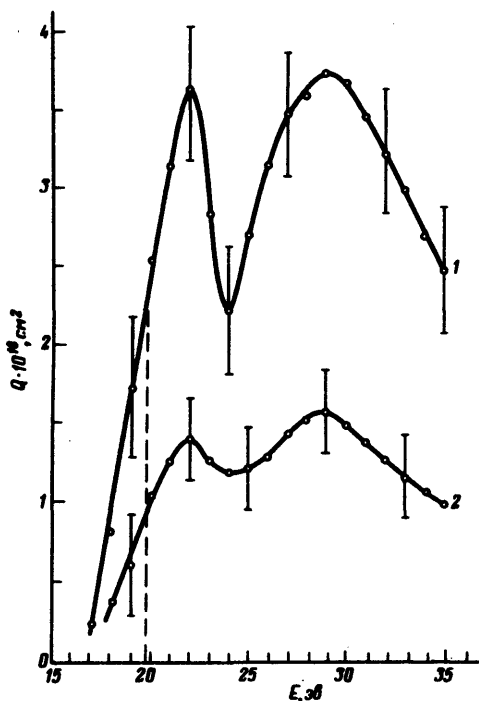


Рис. 1. Абсолютные функции возбуждения линии Ag II:

$$\lambda 4658 \text{ \AA} (4s^2 P_{3/2} - 4p^2 P_{1/2}^o) \quad \text{и} \\ \lambda 4545 \text{ \AA} (4s^2 P_{5/2} - 4p^2 P_{3/2}^o)$$

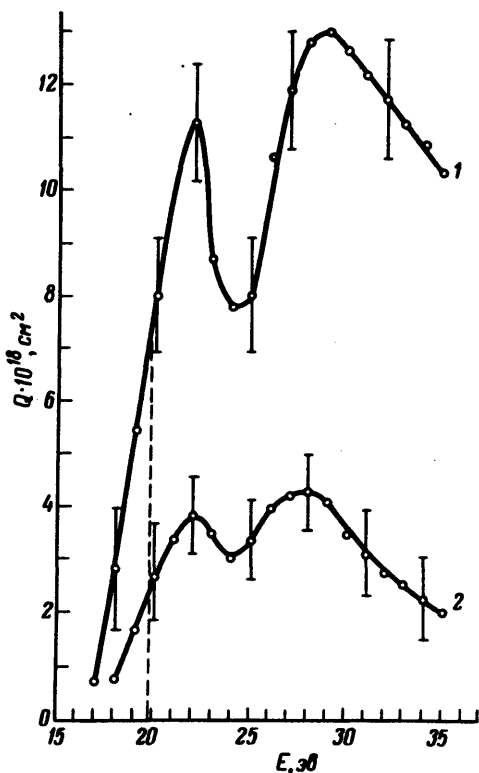


Рис. 2. Абсолютные функции возбуждения линии Ag II:

$$\lambda 4880 \text{ \AA} (4s^2 P_{3/2} - 4p^2 D_{5/2}^o) \quad \text{и} \\ \lambda 4965 \text{ \AA} (4s^2 P_{1/2} - 4p^2 D_{3/2}^o)$$

новного состояния иона в 15 – 30 раз превосходит максимальную эффективность возбуждения этих же линий с основного состояния нейтрального атома. Таким образом, результаты наших экспериментов количественно подтверждают, что основной вклад в заселение рабочих уровней аргонового ОКГ вносит процесс возбуждения с основного состояния иона электронами газоразрядной плазмы.

Авторы выражают благодарность профессору Н.Н.Соболеву за стимулирование настоящего исследования, В.Ф.Китаевой и В.С.Шевере за участие в обсуждении результатов.

Ужгородский
государственный университет

Поступила в редакцию
10 мая 1972 г.

Литература

- [1] В.Ф.Китаева, А.И.Одинцов, Н.Н.Соболев. УФН, **99**, 361, 1969.
- [2] И.Л.Бейгман, Л.А.Вайнштейн, Л.Л.Рубин, Н.Н.Соболев. Письма в ЖЭТФ, **6**, 919, 1967.
- [3] E.I.Gordon, E. F. Labuda, W.B.Bridges. Appl. Phys. Lett., **4**, 178, 1964.

- [4] D.F.Dance, M.F.A.Harrison, A.C.H.Smith. Proc. Roy. Soc., (London), A-290, 74, 1966.
- [5] F.M.Bacon, F.W.Hooper. Phys. Rev., 178, 182, 1969.
- [6] P.O.Taylor, G.H.Dunn. Abstracts of papers, VII ICPEAC Amsterdam, 1971.
- [7] П.В.Фельцман, М.М.Повч. Оптика и спектроскопия, 28, 217, 1970.
-