

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСКРОВЫХ ЛИНИЙ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕЙ АРГОНА В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ 300—1000 Å

Э. Т. Верховцева, П. С. Погребняк, Е. В. Гнатченко и Я. М. Фогель

При исследовании спектрального состава излучения аргона в области вакуумного ультрафиолета, полученного с помощью газоструйного источника [1], выяснилось, что это излучение в интервале длин волн 300—1000 Å состоит из линий спектра нейтральных атомов и ионов различной кратности ионизации [2], а также непрерывного спектра в области 1000—2000 Å [1]. В работах [3—5] установлено, что атомные и молекулярные эмиссии аргона возникают не только благодаря взаимодействию электронов с атомарной компонентой струи аргона. Существенный вклад в их образование вносят процессы взаимодействия электронов с двухатомными Ar_2 и многоатомными Ar_n молекулами (кластерами), присутствующими в струе [6]. В настоящем сообщении изложены результаты изучения влияния состава сверхзвуковой струи аргона на интенсивность спектральных линий, испускаемых возбужденными ионами аргона с различной кратностью ионизации в спектральной области 300—1000 Å. С этой целью исследовались

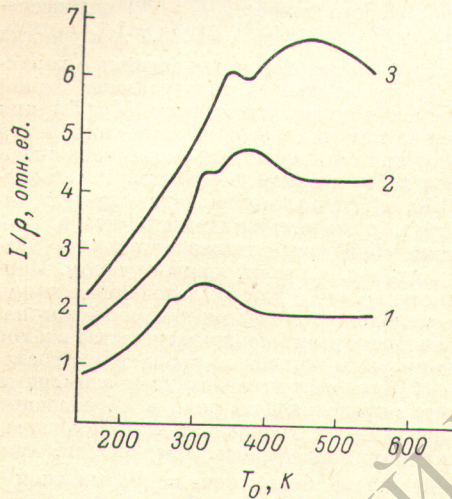


Рис. 1. Зависимость $I/\rho(T_0)$ для линии $\lambda=919.8 \text{ Å}$ ($Ag \text{ II}$) при $P_0=1, 2, 3$ атм.

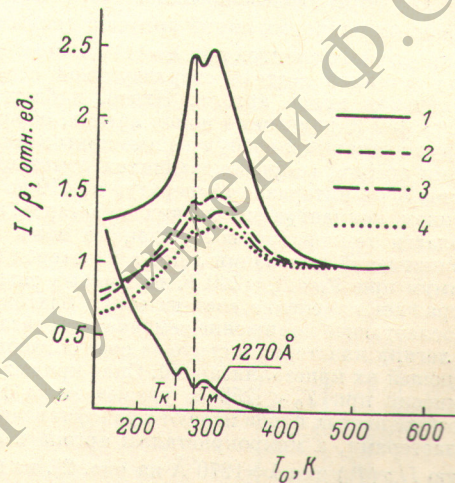


Рис. 2. Зависимость $I/\rho(T_0)$ при $P_0=1$ атм для максимума непрерывного спектра $\lambda=1270 \text{ Å}$ и для разных линий.

1 — $\lambda=1066.7 \text{ Å}$ ($Ar \text{ I}$); 2 — $\lambda=919.8 \text{ Å}$ ($Ag \text{ II}$);
3 — $\lambda=476.4 \text{ Å}$ ($Ag \text{ III}$); 4 — $\lambda=850.6 \text{ Å}$ ($Ag \text{ IV}$).

зависимости интенсивности излучения различных искровых линий от температуры T_0 и давления P_0 газа на входе в сопло.

Эксперименты проводились с помощью газоструйного источника, конструкция и характеристики которого подробно изложены в работе [1]. Вакуумным монохроматором ВМ-140 [7] из спектра излучения струи аргона выделялись линии с $\lambda=1066.7 \text{ Å}$ ($Ar \text{ I}$), 919.8 Å ($Ag \text{ II}$), 850.6 Å ($Ag \text{ IV}$) и 476.4 Å ($Ag \text{ III}$). Измерялась интенсивность излучения I указанных линий от температуры газа T_0 для давлений $P_0=1, 2, 3$ атм. Величина T_0 изменялась в пределах (150—550) К.¹

На рис. 1 представлены зависимости $I/\rho(T_0)^2$ для линии 919.8 Å ($Ag \text{ II}$) при $P_0=1, 2, 3$ атм. В ходе приведенных зависимостей надо отметить следующие особенности: плато в области высоких температур, два максимума интенсивности при более низких температурах и спад величины I/ρ при дальнейшем уменьшении температуры. Наблюдается сдвиг плато и максимумов интенсивности в область больших значений T_0

¹ При указанных выше пределах изменения величин P_0 и T_0 давление и температура аргона в месте возбуждения струи, по расчетным данным, изменялись соответственно в пределах (1.5—4.5) мм рт. ст. и (12—45) К.

² ρ — концентрация частиц в месте пересечения струи электронным пучком.

³ В случае зависимости $I/\rho(T_0)$ при $P_0=3$ атм максимальная температура эксперимента оказалась недостаточно высокой для достижения области плато.

при увеличении давления P_0 . Аналогичные особенности зарегистрированы и для других исследованных спектральных линий ионов аргона. С целью выяснения характера влияния состава сверхзвуковой струи на интенсивность спектральных линий ионов аргона обратимся к рис. 2, на котором приведены зависимости $I/\rho(T_0)$ для линий с $\lambda=919.8 \text{ \AA}$ (Ar II), 850.6 \AA (Ar IV) и 476.4 \AA (Ar III), полученные при $P_0=1 \text{ атм.}$ Для сопоставления на этом рисунке изображены также кривые $I/\rho(T_0)$ для резонансной линии $\lambda=1066.7 \text{ \AA}$ (Ar I) и участка непрерывного спектра при $\lambda=1270 \text{ \AA}$. Представленные зависимости нормированы на величину сигнала в области плато. В работе [3] показано, что ход зависимости $I/\rho(T_0)$ для линии $\lambda=1066.7 \text{ \AA}$ и участка непрерывного спектра при $\lambda=1270 \text{ \AA}$ отражает изменения, происходящие в составе сверхзвуковой струи аргона при изменении ее температуры. Плато на кривой $[I/\rho(T_0)]_{1066.7 \text{ \AA}}$ свидетельствует о том, что при $T_0 > 450 \text{ К}$ струя имеет чисто атомарный состав. Рост величины $(I/\rho)_{1066.7 \text{ \AA}}$ до максимума при $T_0 = 300 \text{ К}$ связан с образованием и увеличением концентрации легких кластеров (Ar_2 , Ar_3 и т. д.), а последующий спад интенсивности линии обусловлен появлением в струе более тяжелых образований из атомов аргона, близких по величине к «зародышам» микрокапель. Максимум при $T_0 = 280 \text{ К}$, хорошо совпадающий с минимумом в ходе зависимости $[I/\rho(T_0)]_{1270 \text{ \AA}}$, при $T_0 = T_m$ отражает процесс гомогенной конденсации газа в струе — появление микрокапель аргона. Излом на кривой $[I/\rho(T_0)]_{1270 \text{ \AA}}$ при $T = T_m$ отражает изменение интенсивности при втором фазовом переходе — кристаллизации жидких микрокапель аргона.

С учетом вышеизложенного сопоставление хода зависимостей $I/\rho(T_0)$ для исследованных искровых линий аргона с кривыми $I/\rho(T_0)$ для линии $\lambda=1066.7 \text{ \AA}$ и участка непрерывного спектра при $\lambda=1270 \text{ \AA}$ позволяет сделать некоторые заключения о характере влияния состава сверхзвуковой струи на интенсивность спектральных линий излучения ионов аргона. Плато, наблюдающееся в ходе зависимости $I/\rho(T_0)$ при $T_0 > 450 \text{ К}$ для линий ионов аргона, обусловлено тем, что в этой области температур струя атомарна и возбужденные ионы возникают при столкновениях электронов с атомами аргона, сопровождающихся ионизацией и возбуждением последних. Рост величины I/ρ в интервале температур от 450 до 300 К, обусловленный появлением и увеличением концентрации легких кластеров в струе, позволяет заключить, что в этой области температур возбужденные ионы аргона образуются также в процессе диссоциативной ионизации легких кластеров (Ar_2 , Ar_3 и т. д.) электронным ударом. Максимум при $T_0 = T_m = 280 \text{ К}$ на кривых зависимости $I/\rho(T_0)$ для исследованных линий отражает изменение состава струи благодаря появлению в ней микрокапель аргона. Последующее понижение температуры газа приводит к уменьшению количества атомов и легких кластеров в струе за счет образования и роста жидких микрокапель с последующей их кристаллизацией. Спад кривых $I/\rho(T_0)$ для всех исследованных атомарных эмиссий при $T_0 < 250 \text{ К}$ указывает на то, что определяющую роль в образовании возбужденных ионов играют процессы взаимодействия электронов с атомами и легкими кластерами, а микрокристаллы аргона в отличие от непрерывного спектра (см. кривую $I/\rho(T_0)$ для $\lambda=1270 \text{ \AA}$ на рис. 2), не вносят вклада в излучение искровых линий. Сдвиг плато и максимумов интенсивности в ходе зависимости $I/\rho(T_0)$ в область больших температур T_0 при увеличении давления газа P_0 (рис. 1) связан с тем, что все вышерассмотренные изменения в составе струи при увеличении давления происходят при больших температурах [6]. Уменьшение относительной интенсивности в максимуме кривых $I/\rho(T_0)$ с ростом кратности ионизации атома (рис. 2), по-видимому, обусловлено тем, что с увеличением кратности ионизации атома уменьшается вероятность образования его в процессе взаимодействия электронов с кластерами.

Литература

- [1] Б. И. Веркин, Э. Т. Верховцева, Я. М. Фогель. Физика вакуумного ультрафиолетового излучения. Изд. «Наукова Думка», Киев, 1974.
- [2] Э. Т. Верховцева, П. С. Погребняк, Я. М. Фогель. Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по спектр. ВУФ и взаимодействию излучения с веществом. Ужгород, 1975.
- [3] Э. Т. Верховцева, В. И. Яременко, А. Е. Овечкин, Я. М. Фогель. Опт. и спектр., 37, 224, 1974.
- [4] Э. Т. Верховцева, В. И. Яременко, Е. А. Катрунова, Я. М. Фогель. Письма ЖЭТФ, 20, 479, 1974.
- [5] Э. Т. Верховцева, В. И. Яременко, Я. М. Фогель, А. Е. Овечкин, Е. А. Катрунова. Опт. и спектр., 39, 176, 1975.
- [6] D. Golomb, R. E. Good, A. V. Bailey, M. R. Busby, R. Dawbar. J. Chem. Phys., 57, 3844, 1972.
- [7] С. А. Куликов, Н. А. Павленко, Г. П. Старцев. Опт.-механич. промышл., № 4, 24, 1965.

Поступило в Редакцию 7 июля 1975 г.