

О. П. СЕМЕНОВА, Г. Б. СУХАНОВА, З. С. ТЕОДОРОВИЧ

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЛИЯНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ
И РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИЗЛУЧЕНИЕ ПАРОВ Cu,
Ag, Au В СИЛЬНОТОЧНОМ ПОЛОМ КАТОДЕ**

(Представлено академиком И. В. Обреимовым 25 V 1971)

Описанное в литературе влияние резонансных процессов (соударения II рода, перезарядка, ионизация Пеннинга) на излучение паров металлов в электрических разрядах сводится к усилению отдельных спектральных линий или групп линий без изменения общего характера спектра излучения, задаваемого параметрами разряда.

Данная работа поставлена с целью получения наиболее резкого изменения спектра паров металлов в разряде за счет действия процессов перезарядки и ионизации Пеннинга путем подбора электрического разряда, паров металла и инертного газа, обеспечивающих наиболее выгодные условия для этих процессов.

Для исследования выбран сильноточный разряд в полом катоде ⁽¹⁾ в атмосфере He и Ag и пары металлов Cu, Ag и Au. У Cu, Ag и Au много возбужденных состояний под резонанс для процессов перезарядки и ионизации Пеннинга с He. Так, например, для 96 возбужденных состояний Cu острота резонанса $< 0,22$ эв. В Ag за счет процессов перезарядки могут возбуждаться лишь линии $\text{Cu}^+ + \varepsilon_a \sim 8,2\text{--}8,5$ эв, у Ag^+ нет состояний под резонанс, у Au^+ нет состояний под резонанс для перезарядки и могут возбуждаться лишь низкие метастабильные состояния. $\text{Au}^+ - {}^3D_{3,2}$ за счет Пеннинга с участием атомов Ag в состояниях ${}^3p_2^0$ и 3p_0 . Выбранные атомы Cu, Ag и Au имеют низкие Бейтлеровские состояния, которые должны сказываться на излучении паров этих металлов через процессы рекомбинации, поскольку образовавшиеся за счет резонансных процессов возбужденные ионы металлов при своем разрушении будут заселять низкие метастабильные состояния 3D и 1D ($3d^94s$, $4d^95s$ и $5d^96s$ соответственно у Cu, Ag и Au), представляющие границы ионизации этих Бейтлеровских состояний. Кроме того из-за наличия у Cu, Ag и Au автоионизационных состояний возможна и безызлучательная рекомбинация. Указанные механизмы рекомбинации должны обусловить повышенные заселенности Бейтлеровских состояний.

Сильноточный разряд в полом катоде весьма удобен для исследования в связи с тем, что концентрация быстрых электронов в нем значительно меньше концентрации медленных ($n_{\text{еб}} \sim 10^{10}\text{--}10^{11}$ ⁽²⁾, $n_{\text{ем}} \sim 10^{13}$ см⁻³ ^(1, 2)), благодаря чему возбуждение атомов при соударениях с быстрыми электронами должно играть значительно меньшую роль, чем резонансные процессы, в которых участвуют ионы и метастабильные инертных газов, присутствующие в разряде в значительно больших концентрациях ($n_{\text{ион}} \sim 10^{13}$ см⁻³). Этому же способствуют и большие эффективные сечения резонансных процессов ⁽³⁾. Обычно спектры паров металлов в полом катоде имеют дуговой характер, обусловленный медленными электронами, с несколько повышенной за счет наличия быстрых электронов интенсивностью ионных линий.

Нами подробно изучены спектры паров металлов Cu, Ag и Au в полом катоде в He ($p = 12\text{--}13$ мм рт. ст.) и Ag ($p = 6$ мм рт. ст.) в широком

интервале токов 0,05—1,2 а (табл. 1). Пары металлов в разряд вводились пропитыванием катода в растворах CuSO_4 и AgNO_3 и закладкой в катод проволоочки из чистого золота. Излучение паров Cu исследовано в области

Таблица 1

Спектральные линии (Å) атомных спектров Cu , Ag , Au (рис. 1)

Линия	Cu I	Cu II	Ag I	Ag II	Au I	Au II
1	3273,9	2743,5	3382,9	2938,6	3282,9	3251,3
2	3247,5	2703,2	3280,7	2902,1	3122,8	2918,2
					3123,8	
3	3208,2	2700,9	2375,1	2896,5	3029,2	2893,3
4	3194,1	2689,3		2799,7	2748,2	2846,9
5	3093,9	2666,3		2767,5	2700,9	2825,4
						2823,1
						2822,5
						2819,8
6	3073,8	2600,3		2756,5	2688,7	2616,4
7	3063,4			2741,2	2675,9	2552,8
8	3036,1			2681,4	2644,5	2533,5
9	3010,8			2614,6	2427,9	
10	2997,4			2606,2		
11	2961,1			2598,7		
12	2882,9			2595,6		
13	2824,4			2580		
14	2766,4			2506,6		
15	2618,4			2504,1		
16	2492,1			2473,8		
17	2441,6			2437		
18				2413,2		
19				2411,3		
20				2358,9		
21				2331,4		
22				2325,1		
He		2945,1				3187,7
Ag II		2942,9				

спектра 6500—2000 Å, Ag и Au — в области 4500—2000 Å. Спектры полого катода сопоставлены со спектрами излучения этих же металлов в дуговом и искровом разрядах.

На рис. 1 приведены спектры излучения паров Cu , Ag и Au в полном катоде при силе тока 0,3—0,35а в He и Ag в интервале длин волн 3400—2200 Å и спектры излучения дугового разряда между металлическими электродами из меди, серебра * и золота.

Рис. 1 хорошо иллюстрирует ожидаемое влияние резонансных и рекомбинационных процессов на излучение паров Cu , Ag и Au в полном катоде в токе He и Ag . Так как спектры паров Cu и Au в полном катоде в He богаты линиями как атомов, так и ионов Cu и Au , то можно сказать, что их спектры представляют наложение дугового на искровой. Особенности этих спектров: резко усиленный по сравнению с нормальным смещенный спектр Cu и Au , особенно линий в нем с $\varepsilon_a < V_{i1}$ (в 20—30 раз). Кроме того, группа линий Au^+ с $\varepsilon_a \sim 15$ эв, интенсивность которой на фоне остальных линий Au^+ , сопоставимых по интенсивности с искровым спектром паров Au , значительно усилена (в 20—30 раз). В Ag очень интенсивны лишь линии Cu с $\varepsilon_a \sim 8,2$ —8,5 эв, лежащие в коротковолновой области спектра, не приведенной на рис. 1. Ионный спектр Au в полном катоде в Ag мало интенсивен. Смещенный спектр с $\varepsilon_a < V_{i1}$ у Cu и Au в полном катоде в Ag , так же как

* Приведен спектр прикатодного слоя дуги между Ag -электродами, содержащими примеси Cu .

и в He, резко усилен. Спектр излучения Ag носит искровой характер. В полном катоде в Ag ионный спектр Ag слабый, по интенсивности сопоставимый со спектром прикатодной части дуги.

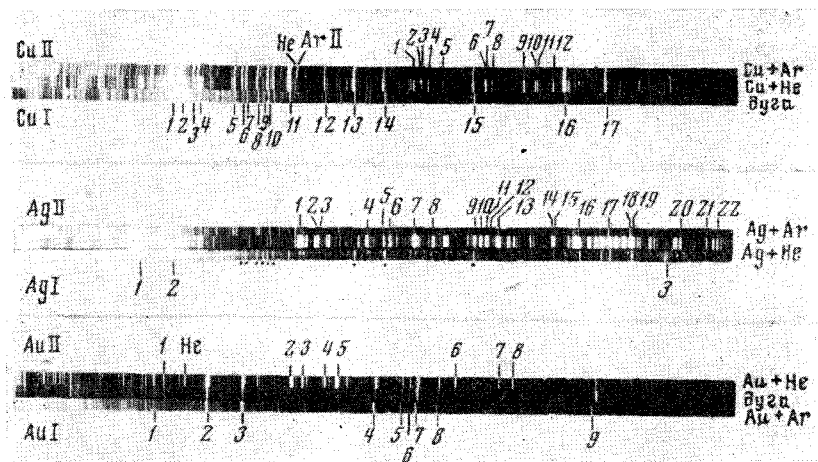


Рис. 1. Спектры разряда в полном катоде. Точками на спектре Ag + He отмечены линии Cu. Номера спектральных линий соответствуют номерам в табл. 1

Выполнены измерения абсолютных интенсивностей 7 ионных и 22 атомных спектральных линий Cu в спектре полого катода в He при токах 0,05—1,2а. Оценены заселенности 9 Бейтлеровских и 9 нормальных возбужденных состояний атомов Cu. Заселенности возбужденных состояний ионов Cu не определялись из-за отсутствия данных о вероятностях перехода.

Установлено, что заселенности Бейтлеровских состояний, расположенных ниже и выше границы ионизации, значительно выше заселенностей нормальных состояний. Это наглядно иллюстрируется зависимостью $\lg(N^*/g)$ от ϵ , представленной на рис. 2 для тока в полном катоде 0,2а. Установлено, что с ростом тока различия в заселенностях Бейтлеровских и нормальных состояний уменьшаются.

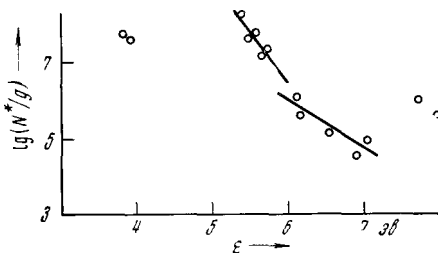


Рис. 2. Зависимость $\lg(N^*/g)$ от ϵ

Авторы выражают глубокую благодарность проф. Н. А. Прилежаевой за интерес к работе и участие в ее обсуждении.

Сибирский физико-технический институт
им. В. Д. Кузнецова
при Томском государственном университете

Поступило
24 V 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ О. П. Семенова, Т. М. Горбунова и др., ЖПС, 9, 937 (1968). ² Р. А. Вугер, W. Fink, Zs. Phys., 236, 314 (1970). ³ В. И. Былкин, Оптика и спектроскопия, 29, 1036 (1970); В. С. Алейников, Там же, 28, 31 (1970); D. J. Dyson, Nature, 207, 361 (1965).