

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 — 1966

УДК 535.33 : 537.525

О. САНДЫБАЕВ

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ АТОМОВ В ПОЛОМ КАТОДЕ С ДВОЙНЫМ АНОДОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОДВОДИМОЙ МОЩНОСТИ

Исследовалось возбуждение атомов натрия в полом катоде. Изучена зависимость интенсивности *D*-линий натрия от рода и давления газа. Используются газы: аргон, гелий, неон. Определены относительные интенсивности компонентов *D*-линии натрия в зависимости от силы тока.

Введение

Разряд в полом катоде использовался спектроскопистами со времени его открытия в 1916 г. Пашеном и играет важную роль при анализе спектра. Первое спектроскопическое изучение возбуждения и ионизации разряда в полом катоде опубликовано Шюлером в 1926 г. В процессах возбуждения атомов и ионов газа, сопровождающего разряд в полом катоде, важнейшую роль играют соударения с электронами [1]. Большие энергии электронов и процесс «качания» их в полости способствуют возбуждению интенсивных дуговых и искровых спектров в широком диапазоне от далекого ультрафиолета до видимой области включительно. Теория разряда в полом катоде наиболее полно рассмотрена Литтлом и Энгелом, которые, экспериментально изучая разряд в полом катоде, установили связь с тлеющим разрядом [3]. В этой теории главная роль в процессах, поддерживающих разряд, приписывается интенсивному ультрафиолетовому излучению, возникающему в тлеющем свечении, а не положительным ионам. Изучая возбуждение и ионизацию некоторых элементов в полом катоде, Митчел показал, что для ионизации характерны соударения второго рода и наличие метастабильных уровней. Механизмы возбуждения и ионизации существенно различны [4]. Исследование возбуждения паров металла в полом катоде соударениями второго рода опубликовано Фришем и Коганом [5]. Возбуждение и ионизация могут происходить в результате соударения атомов пробы с электронами и метастабильными атомами инертного газа. Раньше многие исследователи считали, что возбуждение в основном обусловлено соударениями 2-го рода с метастабильными атомами газа. Но появление в спектрах интенсивных линий с самыми различными потенциалами возбуждения свидетельствует о том, что атомы интенсивно возбуждаются электронными ударами. В работе [4] эксперименты,

произведенные с азотом, показали, что катодный ток состоит на 80% из электронного и на 20% из ионного тока.

Области применения разрядной трубки с полым катодом как источником света очень разнообразны. В зависимости от решаемых задач применяют различные конструкции полого катода. Для использования большой силы тока в разрядной трубке с полым катодом, как показали Пашен и Ритшль, можно применять полый катод с двойным анодом. Большой ток увеличивает яркость источника, при этом хорошо возбуждаются линии, принадлежащие к высоким термам.

В данной работе исследуется состояние интенсивности спектральных линий при возбуждении в полым катодом в зависимости от мощности возбуждающего тока. При этом ставится задача, выяснить, как изменяются условия возбуждения — приближаются ли они с возрастанием интенсивности возбуждения к равновесным условиям или наблюдается обратная картина. Изучение этих вопросов имеет большое значение при изучении процессов заселения различных уровней энергии.

Результаты эксперимента

Для изучения возбуждения спектральных линий в полым катодом была использована разрядная трубка (рис. 1), позволяющая использовать ток большой силы. Разрядная трубка питалась от выпрямителя напряжением 1500 в током до 6 а. Полый катод с двумя анодами сделан

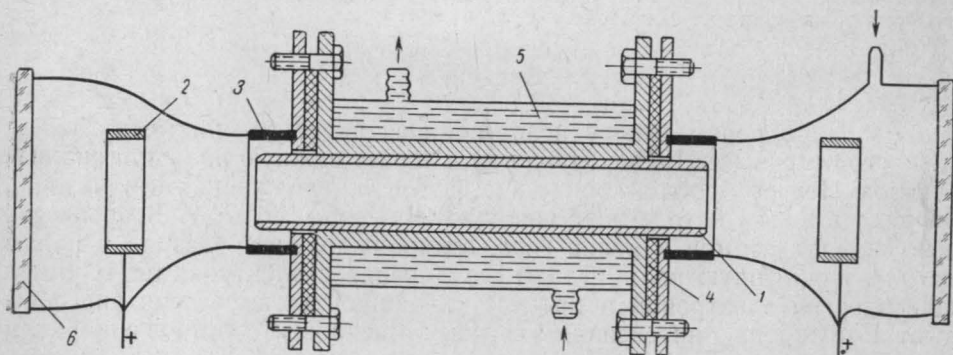


Рис. 1. Разрядная трубка (разборная) с полым катодом. 1 — полый катод, 2 — анод, 3 — ковар, 4 — резина вакуумная, 5 — вода, 6 — стекло

из алюминия, его длина 180 мм и диаметр 26 мм. Полый катод охлаждается водой.

Исследуемое вещество наносится тонким слоем на поверхность катода. После просушки слоя катод помещается в разрядную трубку. Затем трубка откачивается вакуумной системой. После определенного времени тренировки свечение концентрируется внутри полого катода, и происходит возбуждение атомов исследуемых элементов. В данном случае катод заряжался тонким слоем водного раствора NaCl.

Спектр регистрировался спектрографом ИСП-51 с камерой $f=270$ мм. Обработка полученных спектрограмм проводилась обычным методом фотографической фотометрии с использованием марок почернений (ступенчатый ослабитель). Полученные спектрограммы фотометрировались на микрофотометре МФ-2.

В качестве рабочего газа использовались газы аргон, гелий и неон.

Как показывает эксперимент, атомы натрия достаточно хорошо возбуждаются при разряде во всех этих газах. Но интенсивность свечения зависит от давления и рода газа. При сравнительно небольших токах натрий хорошо возбуждается при разряде в неоне и аргоне, а при больших токах и в гелии. Это обусловлено более лучшим распылением навески в аргоне и неоне, чем в гелии. На рис. 2 показана зависимость интенсивности линии натрия 5890 Å от давления и рода газа, при силе тока: с аргонем 420 ма, с гелием 435 ма и с неонем 400 ма.

Аналогичная зависимость может быть построена и для линии 5896 Å. Из рис. 2 видно, что интенсивность линии 5890 Å достигает максимума в определенном интервале давлений в зависимости от рода газа. Далее изучалась зависимость интенсивности компонентов D-линий натрия от силы тока, проходящего через трубку. Результаты эксперимента показаны на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что интенсивность D-линий натрия сначала растет быстро, но после достижения некоторого значения силы тока рост интенсивности сильно замедляется.

Давление газов: в неоне 0,6 мм рт. ст., в гелии 0,7 мм рт. ст., в аргоне 0,30 мм рт. ст.

Измерялось отношение интенсивностей компонентов D-линии натрия при различных значениях силы тока. Это отношение изменяется с изменением силы тока, причем с увеличением силы тока отношение интенсивностей уменьшается. Результаты показаны в таблице.

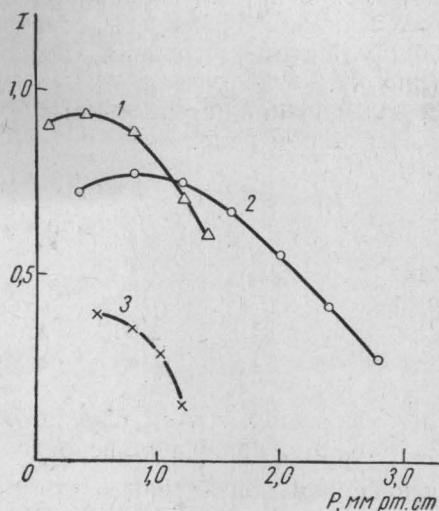


Рис. 2. Зависимость интенсивности линии 5890 Å от давления газов при значении тока 1 — аргон 420 ма, 2 — неон 435 ма и 3 — гелий 400 ма

Сила тока I_a	$P = 0,6 \text{ мм рт. ст.}$	$P = 0,3 \text{ мм рт. ст.}$	$P = 0,7 \text{ мм рт. ст.}$
	$\frac{I_1 (5890\text{Å})}{I_2 (5896\text{Å})}$ (неон)	$\frac{I_1 (5890\text{Å})}{I_2 (5896\text{Å})}$ (аргон)	$\frac{I_1 (890\text{Å})}{I_2 (5896\text{Å})}$ (гелий)
0,2	1,54	1,44	1,52
0,4	1,34	1,50	1,52
0,6	1,32	1,35	1,32
0,8	1,33	1,34	1,30
1	1,26	1,30	1,23
1,2	1,24	1,28	1,20
1,4	1,23	1,28	1,20
1,6	1,23	1,30	1,18
1,8	1,21	1,28	1,18
2	1,21	1,28	1,15

Из таблицы следует, что максимальное значение отношения интенсивностей равно 1,54. В термических источниках света (дуга, искра) это отношение в соответствии с правилами интенсивностей составляет 2. Отступление от правила интенсивностей в нашем случае связано не

только с самопоглощением [6], [8], но и с наличием особых условий возбуждения в полем катоде. Характер возбуждения спектральных линий будет сильно различаться в зависимости от того, является плазма изометрической или неизометрической.

Отношение интенсивностей линий зависит еще от общности верхних и нижних уровней. Рассмотрим случай двух сериальных линий с общим нижним уровнем, возникающих при переходах $1 \rightarrow 3$ и $2 \rightarrow 3$ (рис. 4).

Отношение интенсивностей этих двух линий I_{13} и I_{23} можно записать в следующем виде:

$$\frac{I_{13}}{I_{23}} = \frac{N_1}{N_2} \frac{A_{13}}{A_{23}} \frac{\nu_{13}}{\nu_{23}} \dots \quad (1)$$

или

$$\frac{I_{13}}{I_{23}} = \frac{N_1}{N_2} \frac{g_2}{g_1} \frac{f_{31}}{f_{32}} \left(\frac{\nu_{13}}{\nu_{23}} \right)^3 \dots \quad (1a)$$

Как видно, в этом случае отношение интенсивностей определяется не только отношением вероятностей переходов и частот линий, но и отношением концентраций атомов на верхних уровнях $\frac{N_1}{N_2}$. В зависимости от условий возбуждения заселенность верхних уровней может оказаться различной и отношение $\frac{N_1}{N_2}$ принимать различные значения.

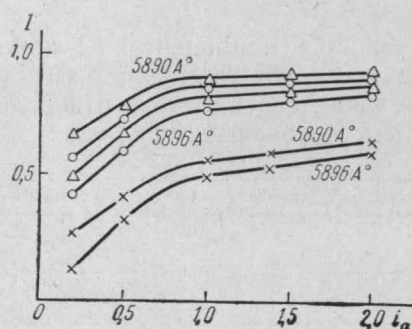


Рис. 3. Зависимость интенсивности линий натрия от силы тока при давлении в неоне—0,6 мм рт. ст. (кружки), в гелии—0,7 мм рт. ст. (крестики), в аргоне—0,3 мм рт. ст. (треугольники)

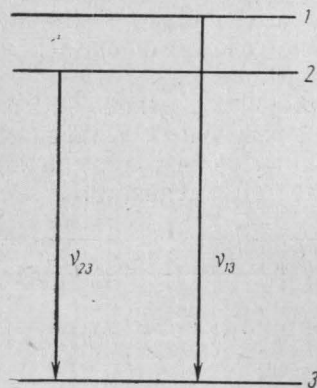


Рис. 4. Случай двух сериальных линий с общим нижним уровнем при $1 \rightarrow 3$ и $2 \rightarrow 3$ переходах

Следовательно, для дублета с общим нижним уровнем отношение интенсивностей его составляющих зависит от условий возбуждения. Оно равно отношению статистических весов $\frac{g_2}{g_1}$ лишь при равновесном распределении атомов по уровням. Таким образом, результаты наших экспериментальных исследований показывают, что в полем катоде условия возбуждения очень далеки от равновесных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев Ф. А. «Спектроскопия высокой разрежающей силы». М., ГИТТЛ, 1953.
2. Толанский. «Спектроскопия высокой разрежающей силы». М., ГИТТЛ, 1955.
3. Литтл, Энгель. Proc. Roy. Soc., A 224, 209, 1954.
4. Митчелл. J. Optics soc. America, No. 8, 1961.
5. Фриш С. Э., Коган. «Вестн. ЛГУ», № 1, 12, 1948.
6. Фриш С. Э. «Успехи физических наук», 63, вып. 4, 512, 1951.
7. Rohatgi V. K. J. Appl. Phys., 32, No. 6, 1173—1174, 1961.
8. Туркин Ю. И. «Оптика и спектроскопия», 2, 290, 1957.
9. Фриш С. Э. «Оптические спектры атомов». М., Физматгиз, 1963.
10. Ферхмин А. А., Фриш С. Э. «Физ. журн.», 9, 466, 1936.
11. Bires F. Spectrochim Acta, 6, 169, 1954.

Поступила в редакцию
13. 5 1964 г.

Кафедра
оптики