

## ОСОБЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОЛИТНЫМ КАТОДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ

*Х.К. Тазмеев, И.М. Арсланов, Г.Х. Тазмеев*

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета  
[tazmeevh@mail.ru](mailto:tazmeevh@mail.ru)

Экспериментально исследованы спектральные характеристики газового разряда между жидким электролитным катодом (водный раствор хлорида натрия) и металлическим анодом при повышенных токах (до 20 А). Обнаружено расщепление желтого дублета натрия и установлены факторы, влияющие на расщепление.

### Введение

Практический интерес к газовому разряду с жидким электролитным катодом обусловлен тем, что он позволяет создать плазму со значительным геометрическим объемом при атмосферном давлении с помощью сравнительно простых технических средств. В связи с этим он может найти применение в плазмохимических технологиях, в частности в плазменной газификации отходов полимерных материалов [1]. Для рационального использования плазмы газового разряда требуются его подробные характеристики в широком диапазоне изменения энергетических параметров. Целью данной работы явилось изучение спектральных характеристик газового разряда при повышенных токах.

### Эксперимент

Разряд зажигался между жидким электролитным катодом 1 и металлическим анодом 2. Электролит вытекал из цилиндрического стакана 3, внутри которого была смонтирована графитовая пластина 4 для подвода тока. В качестве электролита использовался раствор поваренной соли в дистиллированной воде.

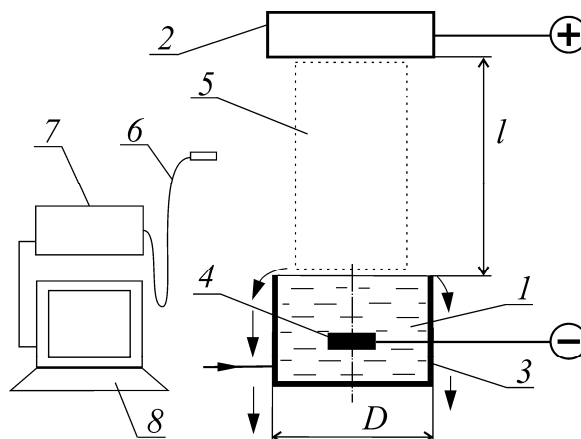


Рис. 1. Газоразрядный узел. Стрелками указано направление движения электролита.

Источником питания служил трехфазный двухполупериодный выпрямитель, подключенный к вторичным обмоткам повышающего трансформатора. Пульсации напряжения сглаживались П-образным фильтром. Ток менялся ступенчатым варьированием балластного сопротивления.

Спектры излучения регистрировались высокоскоростным оптоволоконным спектрометром AvaSpec-3648 в диапазоне длин волн 484-708 нм с разрешением 0,15 нм (дифракционная решетка 1200 штрихов/мм, входная оптическая щель 10 мкм). Излучение от разрядной области 5 проецировалось на вход оптического кабеля 6 при помощи коллимационной линзы, установленной на его приемном окончании. Спектрометр 7 был функционально связан с компьютером 8.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведен спектр разряда и его усиленные фрагменты в видимой области излучения. На спектре наблюдается головная линия главной серии натрия (желтая  $D$ -линия). Спектр можно считать практически однолинейной. По сравнению с  $D$ -линией интенсивности других компонент ничтожно малы. На фоне  $D$ -линии они неразличимы. В режиме с увеличенным временем интегрирования (при наличии насыщения в ПЗС детекторе для центральной области спектра) получились спектры, в которых наблюдаются дублетные линии атома натрия. Среди них наиболее интенсивным является дублет диффузной серии, образуемый при переходах  $4^2D_{3/2} \rightarrow 3^2P_{1/2}$  (568,3 нм),  $4^2D_{3/2} \rightarrow 3^2P_{3/2}$  (568,8 нм) и  $4^2D_{5/2} \rightarrow 3^2P_{3/2}$  (568,8 нм). Дублет, относящийся к резкой серии, обладает меньшей интенсивностью. Он состоит из линий  $5^2S_{1/2} \rightarrow 3^2P_{1/2}$  (615,4 нм) и  $5^2S_{1/2} \rightarrow 3^2P_{3/2}$  (616,1 нм). Еще меньшей интенсивностью обладает дублет натрия, состоящий из линий 497,9 и 498,3 нм.

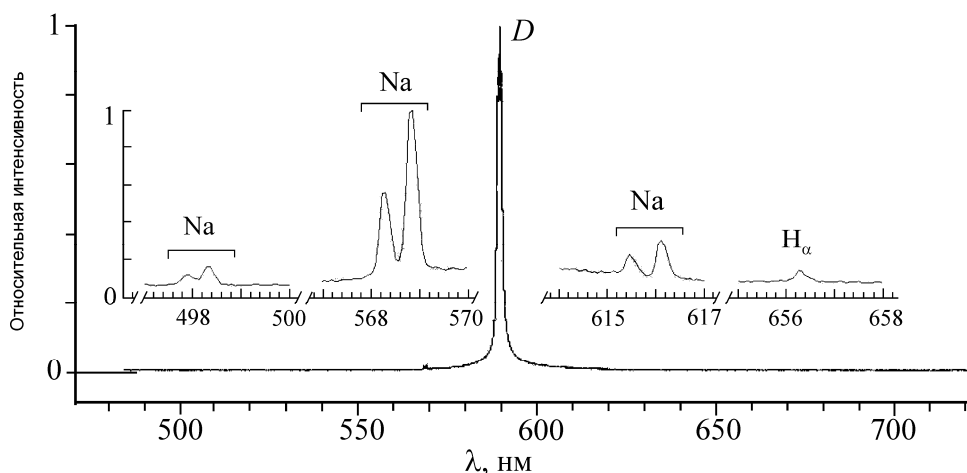


Рис. 2. Спектр излучения разряда.

В усиленном фрагменте спектра (на правом краю снизу рис. 2) явно выделяется бальмеровская линия водорода  $H_\alpha$  (656,3 нм). Такая линия соответствует излучательному переходу с уровня с потенциалом возбуждения 12,088 эВ [2]. Поэтому присутствие в спектре линии  $H_\alpha$  позволяет высказать предположение о наличии в плазме высокоэнергичных электронов, способных перевести атомы водорода из основного в возбужденное состояние с электронной конфигурацией  $3d$ .

Исследование спектра в узком диапазоне длин волн показало, что желтая  $D$ -

линия натрия имеет тонкую структуру. Согласно диаграмме Гротриана [2] она должна представлять собой дублет (называемый «желтым дублетом натрия»), состоящий из линий  $3^2P_{1/2} \rightarrow 3^2S_{1/2}$  ( $\lambda = 589,6$  нм) и  $3^2P_{3/2} \rightarrow 3^2S_{1/2}$  ( $\lambda = 590,0$  нм). Само по себе наблюдение мультиплетного расщепления желтой  $D$ -линия натрия с образованием дублета вполне закономерно и ожидаемо, поскольку разрешение спектрометра AvaSpec-3648, использованного в экспериментальных исследованиях, позволяет увидеть такой результат.

Особенности излучения, которые проявились в экспериментах, заключаются в том, что в условиях газового разряда кроме мультиплетного расщепления желтая  $D$ -линия натрия подвергается дополнительному расщеплению. При этом число компонент не является постоянным и зависит от режимов горения разряда. Примечательно то, что расщепление спектральной линии происходит при отсутствии внешних электрических и магнитных полей.

На рис. 3 представлены фрагменты спектров, полученные при разных значениях разрядного тока. Как видно, при малых токах расщепление отсутствует (рис. 3а). Оно появляется при повышенных токах (рис. 3б) и увеличивается с ростом тока (рис. 3в). Поскольку дополнительное расщепление спектральной линии обусловлено природой самого разряда, можно предположить, что оно присутствует и при малых токах. Его обнаружение возможно спектральным прибором с большей разрешающей силой.

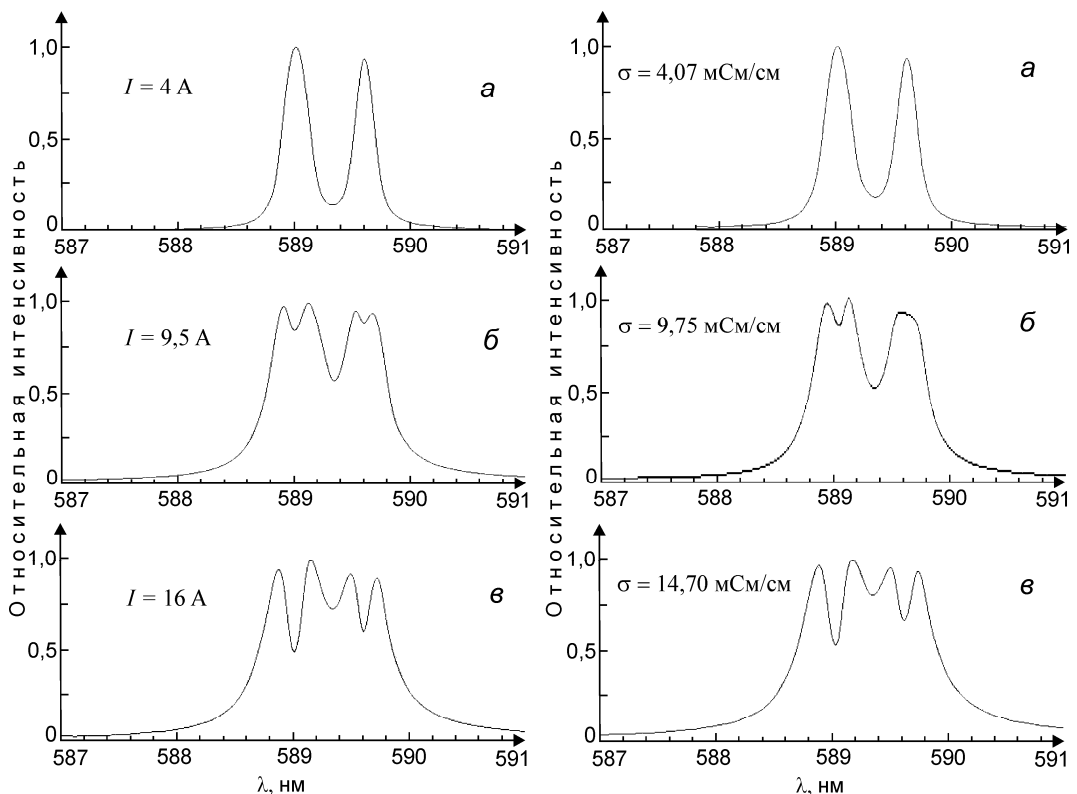


Рис. 3. Расщепление желтого дублета натрия в зависимости от разрядного тока.  $\sigma = 10$  мСм/см.  $l = 7$  см.  $D = 75$  мм. Анод – медь.

Рис. 4. Расщепление желтого дублета натрия в зависимости от удельной электрической проводимости электролита  $\sigma$ .  $I = 9,5$  А.  $l = 7$  см.  $D = 75$  мм. Анод – медь.

Аналогичная картина наблюдается при увеличении удельной электрической проводимости электролита (рис. 4). При влиянии обоих факторов, повышения  $I$  и увеличения  $\sigma$ , расщепление линии  $3^2P_{1/2} \rightarrow 3^2S_{1/2}$  ( $\lambda = 589,6$  нм) больше чем у линии  $3^2P_{3/2} \rightarrow 3^2S_{1/2}$  ( $\lambda = 590,0$  нм). Это явно видно на рисунках 3б и 4б. Следует также отметить, что и повышение тока, и увеличение удельной электрической проводимости электролита приводят к усилению интенсивности излучения газового разряда. Количественно этот эффект подтверждается расширением спектральной полосы на рис. 3 и 4.

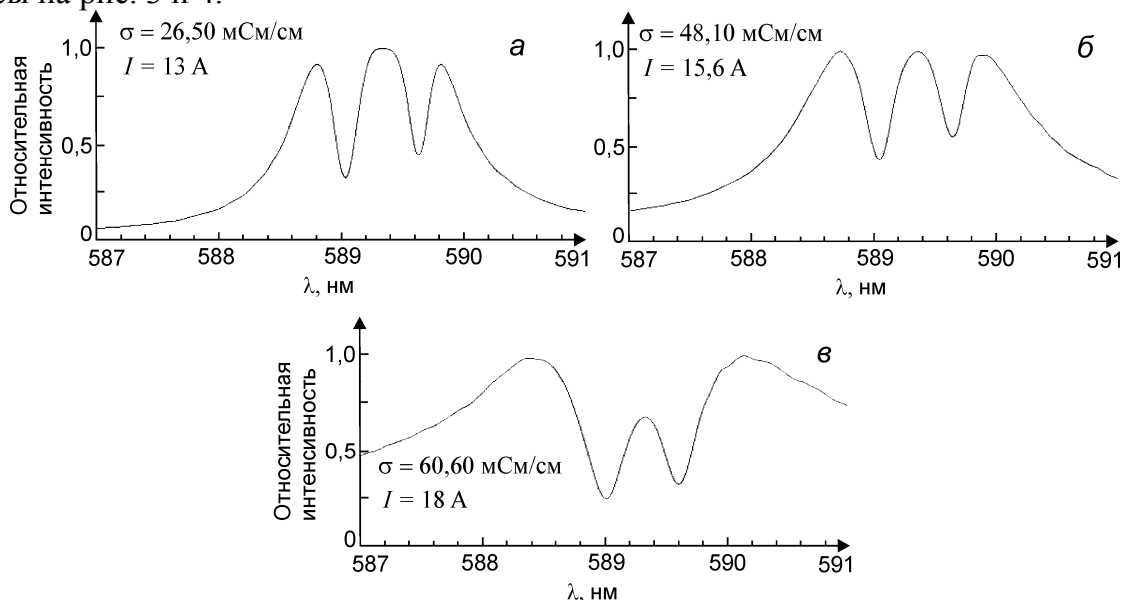


Рис. 5. Усиленное расщепление желтого дублета натрия. *a* и *б* –  $l = 5$  см; *в* – 3 см.  $D = 75$  мм. Анод – чугуи.

При одновременном увеличении  $I$  и  $\sigma$  дополнительное расщепление спектральных линий желтого дублета натрия усиливается (рис. 5). Оно становится сравнимым с мультиплетным расщеплением. Две линии спектра, расположенные посередине, накладываются друг на друга. В результате получается триплет. При этом интенсивность средней линии триплетта уменьшается по мере усиления расщепления. Ее относительная интенсивность становится значительно меньше, чем у крайних линий (рис. 5в).

### Выводы

В газовом разряде с жидким электролитным катодом, при использовании в качестве электролита водных растворов хлорида натрия, происходит расщепление желтого дублета натрия. Повышение тока разряда и увеличение удельной электрической проводимости электролита приводят к усилению расщепления спектральных линий.

Внешние признаки расщепления желтого дублета натрия частично являются схожими со свойствами эффекта Зеемана. Поэтому можно предположить, что наблюдаемое явление обусловлено магнитным полем, причем не внешним, а своим собственным полем газового разряда.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фридланд С.В., Тазмеев А.Х., Мифтахов М.Н., Тазмеев Х.К. О возможности переработки твердых отходов генераторами плазмы с жидкими электродами // Вестник машиностроения. 2006. № 7. С.72-73.

2. Физические величины: Справочник/А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.