

УДК 539.2

ПОВЕДЕНИЕ АТОМАРНОЙ ПЛАЗМЫ В ПОЛЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ

А.Р. МКРТЧЯН¹, А.С. АБРААМЯН¹, Р.Б. КОСТАНЯН²,
К.П. АРОЯН¹, К.С. МКРТЧЯН¹

¹Институт прикладных проблем физики НАН Армении

²Институт физических исследований НАН Армении

(Поступила в редакцию 11 марта 2005 г.)

Исследовано поведение аргоновой плазмы в акустическом поле. Наблюдались скачкообразные вольтамперные характеристики, зависящие от давления газа, частоты модуляции и величины переменной компоненты разрядного тока. Экспериментально полученный переход плазмы из невозмущенного состояния в состояние плазмы с акустическим возмущением описывается в рамках "теории катастроф" как фазовый переход из газовой фазы в фазу жидкости со сверхрешеткой или одноосного квазикристалла.

В последние годы в области низкотемпературной плазмы актуальным является вопрос исследования устойчивости и управления параметрами молекулярной и атомарной неравновесной плазмы. Одна из основных задач в этом направлении – исследование влияния внешних воздействий на параметры плазмы. Первые работы в этой области были посвящены влиянию внешних электромагнитных воздействий и позволили, в частности, объяснить многие вопросы в области нагрева плазмы и некоторые явления, происходящие в ионосфере.

В последние годы интенсивно проводятся исследования, когда внешним воздействием является акустическое поле, возбуждаемое электродинамическим излучателем [1-3] и модуляцией тока разряда [3-5]. Эти работы проводились при низких давлениях плазмы (< 100 Торр) и невысоких интенсивностях звука. Обычно в области небольших токов (области нормального тлеющего разряда) вольтамперная характеристика (ВАХ) на постоянном токе имеет вид прямой, параллельной оси тока или слабо падающей [6], однако иногда ВАХ может отличаться от стандартной и становиться нелинейной [5,7].

В настоящей работе изучены вольтамперные характеристики плазмы атомарного газа аргона, в которой акустическое поле возбуждается при помощи модуляции тока разряда, при давлениях в области 200–350 Торр.

Последовательно с разрядной трубкой включаются балластное сопротивление и лампа высоковольтного модулятора, которая работает в режиме

управляемого сопротивления. В экспериментах используется кварцевая разрядная трубка с внутренним диаметром 25 мм и длиной 500 мм. На концах трубки установлены плоские цилиндрические латунные электроды диаметром 24 мм, а длина разрядного промежутка равна 460 мм.

Ток в разрядной трубке управляется при помощи лампы высоковольтного модулятора. Разрядный ток содержит постоянную ($I(=)$) и синусоидальную переменную ($I(\sim)$) компоненты. Постоянная компонента тока формирует рабочую точку на вольтамперной характеристике разряда. При модуляции тока разряда в разрядной трубке возбуждаются акустические колебания. Разрядная трубка ведет себя как акустический резонатор и частота модуляции разрядного тока соответствует его резонансным модам, при которых амплитуда акустических колебаний максимальна.

На рис.1 приведены экспериментально полученные ВАХ в аргоновой плазме при наличии модуляции тока разряда на частоте $f=0,402$ кГц, при различных режимах разряда, управляемых балластным сопротивлением R_{bal} .

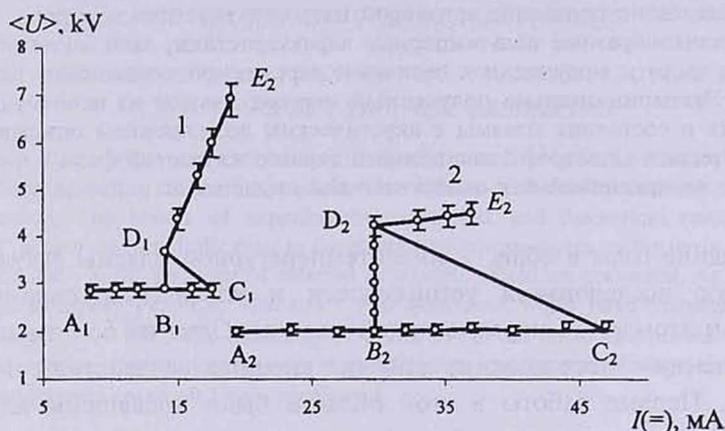


Рис.1. ВАХ при $I(\sim) = 1,58$ мА, $f = 0,402$ кГц и давлении газа в разрядной трубке $P_0 = 200$ Торр; 1. $R_{bal} = 520$ кΩ, 2. $R_{bal} = 270$ кΩ.

Из рис.1 видно, что ВАХ имеет сложную форму, параметры которой зависят от режима разряда. При возрастании $I(=)$ до определенного значения (участок AC) ВАХ ведет себя так же, как и при постоянном токе. При определенном $I(=)$ поведение ВАХ скачкообразно меняется (CD). При дальнейшем увеличении $I(=)$ ВАХ снова становится линейной (DE), но с другим наклоном. При убывании $I(=)$ ВАХ повторяет прежний ход (ED) до точки D скачка, затем среднее напряжение на разрядной трубке $\langle U \rangle$ (DB) падает до прежних значений (AB). Точки скачков ВАХ при возрастании и убывании не совпадают. С уменьшением балластного сопротивления точки скачков смещаются в область больших значений $I(=)$. Величины скачков напряжения и тока достигают 1–3 кВ и 5–20 мА, соответственно, в зависимости от величины R_{bal} и давления газа в разрядной трубке.

На рис.2 представлены зависимости ВАХ от $I(=)$ и $I(\sim)$ при $P_0=350$ Торр и $f=0,402$ кГц. На рис.3 приведены зависимости ВАХ от $I(=)$ и f при $P_0=350$ Торр и $I(\sim)=1,58$ мА, а на рис.4 – зависимости ВАХ от $I(=)$ и P_0 при $f=0,402$ кГц и $I(\sim)=1,58$ мА.

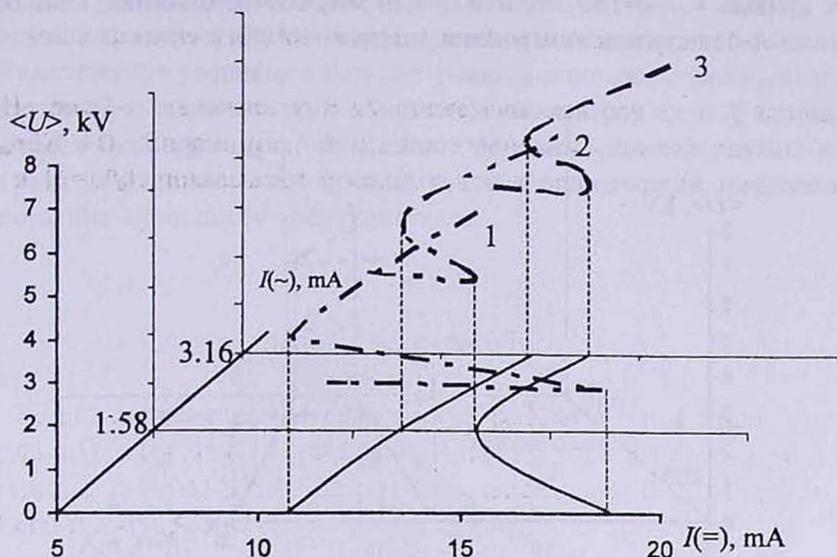


Рис.2. Зависимость ВАХ от $I(=)$ и $I(\sim)$ при $P_0=350$ Торр и $f=0,402$ кГц.

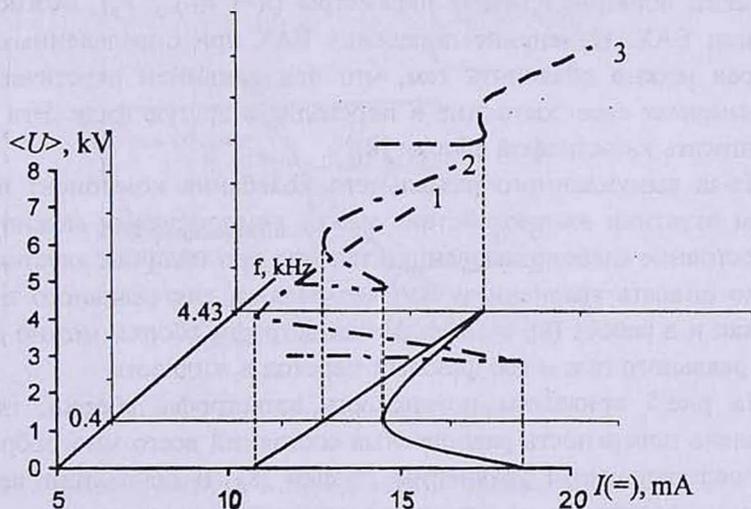


Рис.3. Зависимость ВАХ от $I(=)$ и f при $P_0=350$ Торр и $I(\sim)=1,58$ мА.

На рис.2-4 зависимости ВАХ приведены для случая возрастания $I(=)$ при $R_{\text{бар}}=520$ кΩ. Сплошные линии, проведенные в плоскостях $\{I(=), I(\sim)\}$; $\{I(=), f\}$ и $\{I(=), P_0\}$, показывают проекцию траектории напряжения соответст-

вующих скачков. Видно, что величина скачка по оси $I(=)$ уменьшается с увеличением компоненты переменного тока $I(\sim)$, частоты f и давления P_0 , а по оси $\langle U \rangle$ остается прежней. Первая кривая рис.2 соответствует малой величине переменной компоненты разрядного тока $I(\sim) \approx 0.6$ мА. Вторая и третья кривые — $I(\sim) = 1.58$ мА и $I(\sim) = 3.16$ мА, соответственно. При больших значениях $I(\sim)$ наступает контракция разряда.

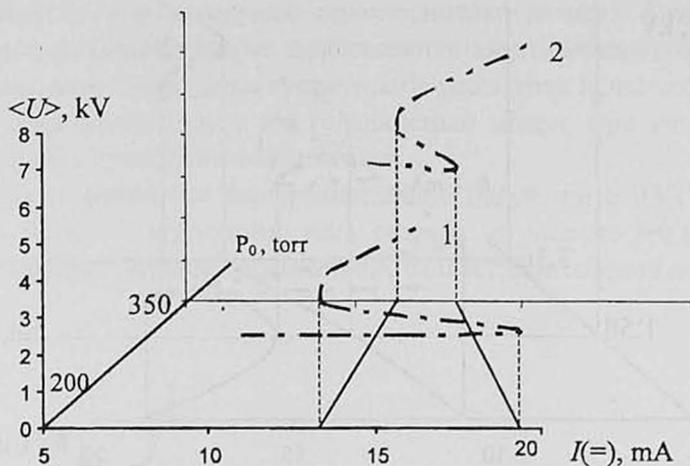


Рис.4. Зависимость ВАХ от $I(=)$ и P_0 при $f=0,402$ кГц и $I(\sim)=1.58$ мА.

Таким образом, изменяя параметры $\{I(=), I(\sim), f, P_0\}$, можно управлять поведением ВАХ. Изменение поведения ВАХ при определенных значениях параметров можно объяснить тем, что под влиянием акустической волны плазма изменяет свое состояние и переходит в другую фазу. Эти результаты можно описать катастрофой сборки [8].

Из-за вынужденного раздельного колебания компонент плазмы под влиянием акустики взаимодействие между компонентами можно не учитывать и состояние слабоионизованной плазмы при наличии акустического поля можно описать уравнением Ван-дер-Ваальса для реального газа. В этом случае, как и в работе [8], с помощью катастрофы сборки можно описать состояние реального газа и его фазовый переход в жидкость.

На рис.5 приведена поверхность катастрофы сборки, где точками представлена поверхность равновесных состояний всего многообразия катастроф, удовлетворяющая уравнению сборки [8]. В основании представлено отображение катастроф на плоскость управляющих параметров. Кривые F складок поверхности многообразия катастроф отображаются на плоскость бифуркационными множествами B_1 и B_2 . При малых флуктуациях управляющих параметров, находящихся на линиях B_1 и B_2 , система смещается или в область E , соответствующую устойчивому равновесию, или в область J , соответствующую скачкам. В области J лежат три листа многообразия катастроф.

Неустойчивые точки, соответствующие скачку фазового перехода, лежат на среднем листе.

Экспериментально полученные кривые рис.2-4 имеют такой же вид и обладают теми же характеристиками устойчивости и неустойчивости состояний. На рис.5 управляющим параметрам соответствуют $\{I(\sim), f, P_0, I(=)\}$ экспериментальных кривых, а внутреннему параметру соответствует $\langle U \rangle$.

Классическое уравнение Ван-дер-Ваальса описывает фазовый переход газа в изотропную жидкость при изменении параметров P, V, T . Результаты, полученные в экспериментах, описывают фазовый переход плазмы из состояния газа в состояние анизотропной среды с акустической сверхрешеткой или в состояние одноосного квазикристалла.

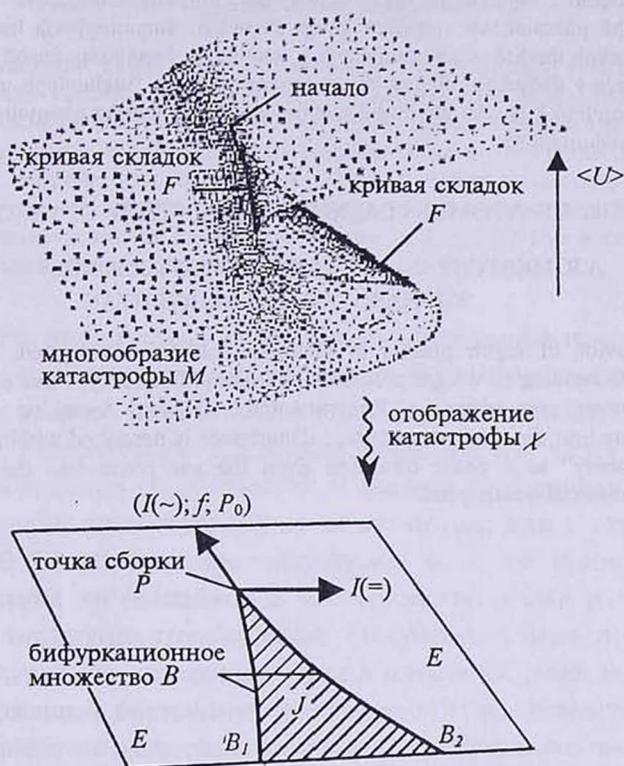


Рис.5. Катастрофа сборки.

Таким образом, плазма с акустическим полем ведет себя как твердое тело с соответствующей вольтамперной характеристикой.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.Subertova. Czech. Journ. Phys., 16, 905 (1966).
2. М.А.Ангина, Г.А.Галечян, Л.Б.Тавакалян. Теплофиз. выс. температур, 29, 1081 (1991).

3. Գ.Ա.Գալեչյան, Ա.Ր.Մկրտչյան. Акустоплазма. Ереван, Апага, 2005.
4. А.С.Абраамյан, К.П.Ароян, Т.Ж.Бежанян, С.А.Геворкян, Р.Б.Костанян. Труды конф. "Лазерная физика – 2003", 14-17 октября 2003, Аштарак, Армения, с.73.
5. А.Р.Арамян, Գ.Ա.Գալեչյան. ЖТФ, 67, N8, 53 (1997).
6. В.Л.Грановский. Электрический ток в газе. Установившийся ток. М., Наука, 1971.
7. А.С.Абраамյан, К.А.Абраамյан, К.П.Ароян, Т.Ж.Бежанян, С.А.Геворкян. Труды конф. "Лазерная физика- 2001", 10- 12 окт. 2001г., Аштарак, Армения, с.63.
8. Т.Постон, И.Стюарт. Теория катастроф и ее приложения. М., Мир, 1980.

ԱՏՈՍԱԿԱՆ ՊԼԱԶՄԱՅԻ ՎԱՐՔԸ ՉԱՅՆԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԴԱՇՏՈՒՄ

Ա.Ր. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Ա.Ս. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ, Ռ.Բ. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ,
Կ.Պ. ՀԱՐՈՅԱՆ, Կ.Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

Հետազոտված է արգոնային պլազմայի վարքը ձայնային դաշտում: Դիտվել են քոիչքաձև վոլտամպերային բնութագրեր կախված գազի ճնշումից, մոդուլացիայի հաճախությունից, պարպումային հոսանքի փոփոխական բաղադրիչի արժեքից: Փորձնականորեն ստացված պլազմայի անցումը չգրգռված վիճակից ակուստիկ գրգռումով վիճակի "աղետների տեսության" շրջանակներում նկարագրվում է որպես փուլային անցում գազային փուլից գերցանցով հեղուկ փուլի կամ միառանցք բվազիլյորելի:

BEHAVIOR OF ATOMIC PLASMA IN THE FIELD OF ACOUSTIC WAVE

A.R. MKRTCHYAN, A.S. ABRAHAMYAN, R.B. KOSTANYAN,
K.P. HAROYAN, K.S. MKRTCHYAN

The behavior of argon plasma in acoustic field is investigated. Jump current-voltage characteristics depending on the gas pressure, modulation frequency, value of the discharge current variable component are observed. Experimentally obtained transition of plasma from the undisturbed state into the state with acoustic disturbance is described within the framework of the "catastrophe theory" as a phase transition from the gas phase into the liquid phase with a superlattice or uniaxial quasicrystal.