

6. Вол А. Е. Строение и свойства двойных металлических систем, Госизд. Физ.-мат. лит., М., 1962, т. II, с. 55.
7. Саркисян Р. С., Селицкий Я. П. ФММ, 37, 832 (1974).
8. Гоманьков В. И., Пузей И. М. Проблемы магнетизма, Изд. Наука, М., 1972, с. 158.
9. Мицек А. И. ФММ, 64, 448 (1987).

ՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ՆՈՒՐԲ ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ԵՎ ՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԸ Ni_2Fe-Ni_3V ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻՈՆ ԱՆՑՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա. Զ. ԳՅՈԶԱԼՅԱՆ, Վ. Ի. ԳՈՄԱՆԿՈՎ, Բ. Ն. ՏՐԵՏՅԱԿՈՎ, Վ. Վ. ՍՈՒՄԻՆ

Նկարողությունները և մագնիսական ընկալունակության շաղկապը միջուկի ստացված են Ni_3Fe և Ni_3V զերկառուցվածքների հեռավոր ատոմական կարգի պարամետրերի կոնցենտրացիոն կախվածությունները և նաև Կլուրիի ու սպինային ապակու ռազման ջերմաստիճանները: Հաստատված է, որ կոնցենտրացիոն կառուցվածքային անցումը տեղի է ունենում համապատասխան կարգավորված ֆազերի ծննդի և աճի մեխանիզմով, իսկ ֆերրոմագնիսականության զարգացումը սկսվում է կլաստերային սպինային ապակու ձևավորումով Ni_3Fe զերկառուցվածքի ծնունդից:

THIN CRYSTALLINE AND MAGNETIC STRUCTURES OF ALLOYS UNDER Ni_3Fe-Ni_3V CONCENTRATION TRANSITION

A. J. GYOZALYAN, V. I. GOMAN'KOV, B. N. TRET'YAKOV,
V. V. SUMIN

The parameters of atomic and magnetic ordering have been measured by means of neutron diffraction analysis and magnetic methods. The long range atomic orders of Ni_3Fe and Ni_3V superstructures, as well as the temperatures of Cuire and of spin glass "freezing" were obtained. It is shown, that the concentration structure transition is the first kind phase transition and the establishment of long range ferromagnetic order goes together with the formation of cluster spin glass. It was found out that the cluster spin glass was formed by the nucleus of an ordered phase of Ni_3Fe in paramagnetic matrix Ni_3V .

Изв. АН Армении, Физика, т. 26, вып. 2, 87—94 (1991)

УДК 533.521

КОЛЕБАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗВУКОВЫХ ВОЛН

М. А. АНТИНЯН, Г. А. ГАЛЕЧЯН, А. Р. МКРТЧЯН, Л. Б. ТАВАКАЛЯН

Институт прикладных проблем физики АН Армении

(Поступила в редакцию 5 сентября 1990 г.)

Приведены результаты экспериментального исследования влияния звуковой волны на величину разрядного тока, вольтамперные характеристики в разряде азота и смесей N_2+Ar и N_2+He . Исследована зависимость разности фаз между колебаниями звука и разрядного тока от интенсивности звука.

Молекула азота N_2 , как одна из основных компонент воздуха, представляет большой интерес для газовой динамики. Для гомоядерных молекул, к которым относится и N_2 , вращение молекул не играет существенной роли в процессах колебательного возбуждения или дезактивации при столкновениях частиц [1]. Основной вклад в общий механизм колебательно-вращательно-поступательного ($V-R-T$) обмена энергией дает $V-T$ процесс.

Подробный обзор состояния теоретических и экспериментальных исследований процесса ($V-T$)-обмена энергией при столкновениях гомоядерных двухатомных молекул приведен в [1]. Как теоретические, так и экспериментальные исследования показали, что механизмы дезактивации первого возбужденного колебательного уровня двухатомной молекулы зависят от структуры сталкивающихся частиц.

С динамической точки зрения наиболее простой системой является смесь N_2+He . Колебательная дезактивация $N_2(v=1)$ атомами гелия исследована экспериментально в работах [2-4]. В [2] измерения проводились при $T=295^\circ K$ методом ВКР. Имеются результаты измерения методом оптического титрования при $100 < T < 291 K$ [3]. Данные при $1900 < T < 3100 K$ получены в [4] на ударной трубке. Практически нет данных эксперимента в области температур $300 < T < 1900^\circ K$. Данные о колебательной релаксации молекул азота в смеси N_2+Ar в обзоре [1] не приводятся.

Сведения о колебательной релаксации молекул азота могут быть извлечены также из результатов исследований плазмы азота и смесей N_2+He и N_2+Ar в поле звуковой волны. Эти сведения могут быть использованы для выяснения механизма ($V-T$) релаксации в неравновесной плазме и представляют интерес для газовой динамики.

В данной работе экспериментально исследовано влияние звуковой волны на параметры слабоионизованной плазмы разряда азота и смесей N_2+He и N_2+Ar . Установлено, что создание звуковой волны вызывает модуляцию разрядного тока в азоте. Исследована зависимость глубины модуляции разрядного тока от частоты звука, давления газа, разрядного тока, интенсивности звука и добавок гелия и аргона в разряд азота. Получены ВАХ разряда в азоте и смесях N_2+He и N_2+Ar при различных интенсивностях звука. Измерена разность фаз между колебаниями разрядного тока и звуковыми колебаниями. Установлена зависимость разности фаз от интенсивности звука.

Экспериментальные измерения проводились на кварцевой разрядной трубке длиной 52 см, диаметром 9,8 см, расстояние между кольцевыми сетчатыми электродами составляло 27 см. К нижнему торцу трубки, установленной вертикально, был прикреплен электродинамический излучатель звуковых волн, к верхнему—микрофон для контроля параметров звуковой волны. Сигнал с микрофона подавался на двухлучевой осциллограф, колебания разрядного тока регистрировались на том же осциллографе. Калибровка сигнала с микрофона производилась при помощи анализатора спектров в реальном масштабе времени «Robotron-01012». Фланец, к которому крепился микрофон, имел полость с диаметром, превышающим внутренний диаметр трубки. Акустический резонатор такой конструкции аналогичен цилиндрическому резонатору с открытым

концом. Собственные частоты такого резонатора могут быть вычислены по формуле [5]

$$f_k = \frac{ck}{4(L + 0,8R)},$$

где c —скорость звука, $k=1, 3, 5, \dots$, L —длина трубки, R —радиус трубки. В случае резонанса на длине трубки, или точнее на длине $L+0,8R$, укладывается нечетное число четвертей волн. Именно эти резонансные частоты и наблюдались в условиях нашего эксперимента в режиме стоячей звуковой волны.

Экспериментальные измерения проводились при давлениях $P=10-50$ мм рт. ст., разрядных токах $I_p=30-90$ мА. Интенсивность звука варьировалась от 70 до 98 дБ.

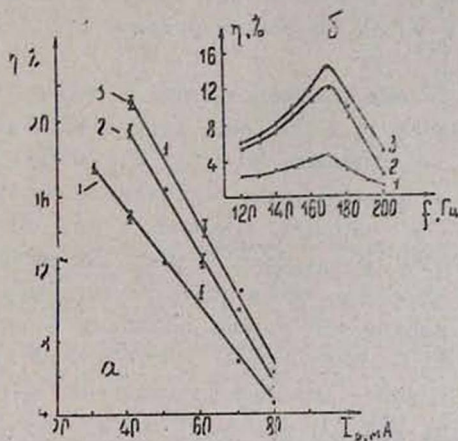


Рис. 1. Зависимость глубины модуляции тока η от частоты звука и разрядного тока в азоте: 1а. Зависимость η от частоты при $P=20$ мм рт. ст., $I_p=40$ мА: 1— $J=88$ дБ, 2—94 дБ, 3—96 дБ. 1б. Зависимость η от разрядного тока при $J=96$ дБ ($f_1=170$ Гц): 1— $P=20$ мм рт. ст., 2—40 мм рт. ст. 3—50 мм рт. ст.

Экспериментальные исследования показали, что во всем рассматриваемом диапазоне токов и давлений создание звуковой волны в разряде азота приводит к модуляции разрядного тока с частотой, равной частоте звуковой волны. Исследования глубины модуляции η от частоты звука показали, что максимумы достигались при резонансных частотах звука, когда в трубке образуются стоячие волны. На рис. 1 приведены зависимости глубины модуляции разрядного тока от частоты вблизи первого резонанса при различных значениях интенсивности звука. Из графиков видно, что максимальное значение η достигается при резонансной частоте звука $f_1=170$ Гц, и возрастает с увеличением интенсивности звука. В трубке без разряда $f_1=140$ Гц. Увеличение f_1 на 30 Гц при включении разряда связано с повышением температуры среды и зависимостью скорости звука от температуры. Термпарные измерения в центральной области разрядной трубки показали, что температура газа

на оси при включении разряда повышалась на 150—200°C (в разряде азота).

На рис. 16 приведены зависимости глубины модуляции разрядного тока от величины полного тока при интенсивности звука $J = 96$ дБ с частотой $f_1 = 170$ Гц при различных давлениях. Из представленных графиков видно, что с увеличением разрядного тока глубина модуляции η уменьшается. Так, например, при $P = 50$ мм рт. ст. увеличение тока от 40 до 80 мА приводило к уменьшению η от 22 до 6% (рис. 16).

Из графиков рис. 16 видно, что при фиксированном значении разрядного тока увеличение давления газа приводит к росту глубины модуляции η . Рост η происходил также при фиксированном значении и при постоянном полном токе с ростом интенсивности звука. При давлении азота $P = 10$ мм рт. ст. и $I_p = 40$ мА увеличение интенсивности звука от 74 до 92 дБ приводило к возрастанию η от 0,4 до 4,4%, а при $P = 50$ мм рт. ст. и том же разрядном токе, при изменении интенсивности от 88 до 98 дБ, η увеличивалась от 11,2 до 25% (частота звука $f_1 = 170$ Гц).

Рассмотрим влияние добавок аргона и гелия к азоту на величину модуляции разрядного тока. На рис. 2 приведены графики зависимости η от процентного содержания Ar (рис. 2а) и He (рис. 2б) в смесях $N_2 + Ar$ и $N_2 + He$ при постоянном давлении в смесях $P = 40$ мм рт. ст. и разрядном токе $I_p = 40$ мА. График 1 рис. 2а получен при $J = 96$ дБ, 2—при $J = 90$ дБ, график 1 рис. 2б соответствует $J = 90$ дБ, 2—86 дБ. Из рис. 2 видно, что в азоте глубина модуляции равна приблизительно 20%, добавление аргона приводит к уменьшению η и при содержании 75% Ar в смеси $N_2 + Ar$ $\eta = 4\%$ (рис. 2а). При $J = 90$ дБ добавки Ar и He к азоту вызывают уменьшение η с 10 до $\sim 2\%$ (при содержании в смесях 75% Ar и He). В смеси $N_2 + Ar$ резкое уменьшение η наблюдается при содержании аргона более 50%. В разряде смеси $N_2 + He$ резкий спад η наблюдался при процентном содержании гелия более 10%. Все измерения, представленные на рис. 2, выполнены при резонансных условиях, т. е. когда в разряде образуются стоячие звуковые волны. Добавление гелия или аргона к плазме азота вызывало смещение частоты звука. В разряде смеси $N_2 + He$ при соотношении $N_2 : He = 1 : 3$ происходил сдвиг частоты вниз на 20 Гц, в разряде смеси $N_2 + He$ увеличение добавок гелия приводило к сдвигу резонансной частоты вверх (рис. 3). В смеси $N_2 : He = 1 : 3$ f_1 достигала 290 Гц. Все кривые на рис. 2 получены при резонансных частотах. На рис. 3 приведены также значения резонансной частоты в разряде чистого аргона и гелия.

В разряде азота увеличение давления от 10 до 50 мм рт. ст. при $I_p = 40$ мА приводило к уменьшению диаметра видимой границы положительного столба разряда с 3,5 до 1,5 см, а при $I_p = 80$ мА с 5 до 1,6 см. При включении звука происходило некоторое увеличение параметра E/P . Среднее значение концентрации электронов в пределах видимой границы столба при $I_p = 40$ мА $n_e \approx 9 \cdot 10^{10}$ см⁻³ и $n_e \approx 2 \cdot 10^{11}$ см⁻³ при $I_p = 80$ мА (оценки концентрации электронов выполнены по проводимости плазмы положительного столба). Создание

стоячей звуковой волны приводило к некоторому увеличению диаметра столба. При этом, увеличивалась также длина положительного столба (за счет уменьшения длины темного катодного пространства). В поле звуковой волны свечение разряда становилось более ярким, чем в разряде без звука. В разряде смесей N_2+Ar и N_2+He наличие стоячей звуковой волны незначительно увеличивало диаметр положительного столба.

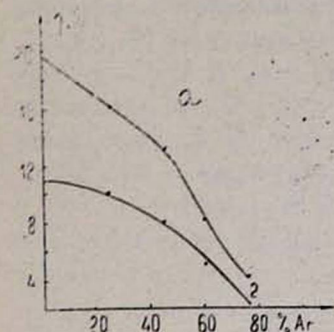


Рис. 2.

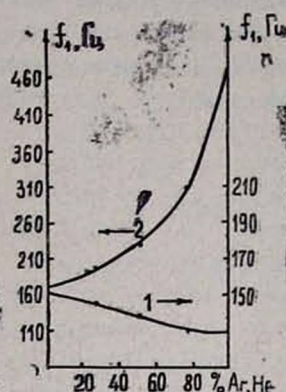
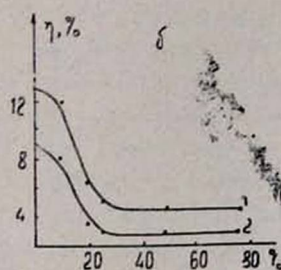


Рис. 3.

Рис. 2. Графики зависимости η от процентного содержания аргона и гелия в смесях с азотом при $P=40$ мм рт. ст., $I_p=40$ мА. 2а. В смеси N_2+Ar : 1— $J=96$ дБ, 2—90 дБ. 2б. В смеси N_2+He : 1— $J=90$ дБ, 2—86 дБ.

Рис. 3. Зависимость первой резонансной частоты звука от процентного содержания Ar и He в смесях: 1— N_2+Ar , 2— N_2+He .

Измерения ВАХ в разряде азота без добавок атомарных газов показали, что создание стоячей звуковой волны в трубке приводит к росту разрядного напряжения U_p (рис. 4). Наибольший рост U_p наблюдался в режиме стоячей звуковой волны. С ростом давления газа и интенсивности звука сдвиг ВАХ в сторону более высоких напряжений увеличивается (рис. 4).

Измерены также ВАХ разряда в смесях N_2+He и N_2+Ar (рис. 4б, в). Из графиков видно, что создание стоячей звуковой волны в разряде чистого азота приводит к увеличению U_p , однако с увеличением процентного содержания He или Ar сдвиг ВАХ уменьшался. Для сравнения на рис. 4 приведены также ВАХ в чистом аргоне и гелие.

Отметим, что экспериментальное исследование влияния звука на ВАХ разряда проводилось в [6]. В работе получено, что с ростом интенсивности звука, направленного вдоль положительного столба, электрическое напряжение на разрядном промежутке возрастает. Однако эти измерения проводились в атомарном аргоне. В данной работе подобное исследование проведено в разряде молекулярного газа и в его смесях с атомарными газами.

В результате экспериментальных исследований обнаружено наличие разности фаз между колебаниями разрядного тока и звуковыми колебаниями в разряде азота. Получены зависимости разности фаз $\Delta\phi$ от интенсивности звука. На рис. 5 приведены графики зависимости $\Delta\phi$ от

интенсивности звука (при частоте 170 Гц) для различных давлений азота. Из приведенных графиков видно, что с увеличением интенсивности звука при постоянном давлении азота и тока разность фаз $\Delta\varphi$ между колебаниями разрядного тока и звуковыми колебаниями уменьшается. Для определения фазовой разности между сигналами одной и той же частоты (колебаниями звуковыми и разрядного тока) использовался метод измерения фазы $X-U$. В этом методе один из синусоидальных сигналов обеспечивает горизонтальное отклонение (X), в то время, как другой сигнал обеспечивает вертикальное (Y). Значение фазового отклонения между двумя сигналами определялось по фигурам Лиссажу.

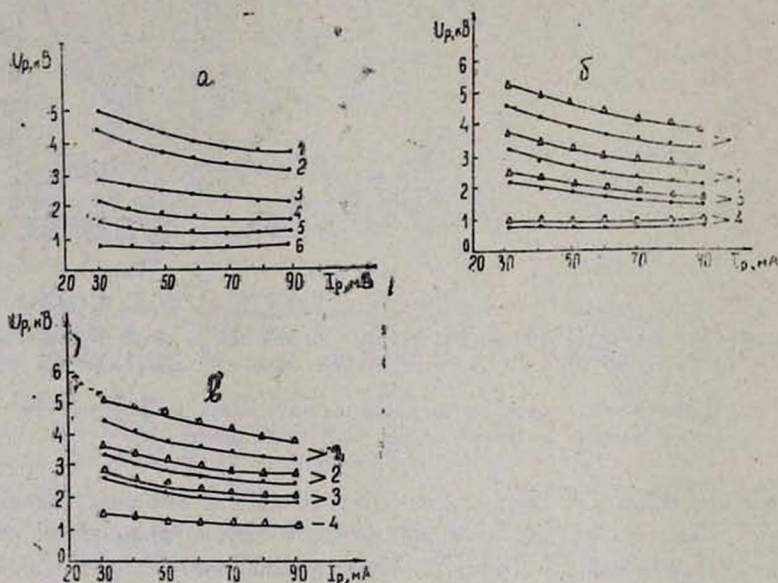


Рис. 4. Вольтамперные характеристики разряда в N_2 и в смесях: аа. В разряде N_2 , Ar и He без звука: 1—4— N_2 ; 5—He; 6—Ar; 1— $P=50$ мм рт. ст., 2, 5, 6—40 мм рт. ст., 3—20 мм рт. ст., 4—10 мм рт. ст. бб. В разряде с добавками Ar: Δ —со звуком ($J=90$ дБ) $\bullet$ —без звука: 1—0% Ar; 2—50%; Ar; 3—75% Ar; 4—100% Ar. вв. В разряде с добавками He: Δ —со звуком ($J=90$ дБ) $\bullet$ —без звука; 1—0% He; 2—50% He; 3—75% He; 4—100% He.

Обзор состояния теории распространения звука в колебательно-неравновесном газе (к которому относится и азот) представлен [7]. Процессы $V-T$ релаксации в плазме рассмотрены в [8].

В разряде молекулярного газа неупругое рассеяние электронов на молекулах может привести к интенсивному возбуждению колебательных степеней свободы. Энергия, запасенная в колебательных степенях свободы, может превышать энергию поступательных степеней свободы, т. е. стационарно поддерживается условие $T_v > T$. Девозбуждение колебательных уровней молекул газа происходит в результате столкновений с заряженными и нейтральными частицами, что приводит к перекачке энер-

тии из колебательных степеней свободы к поступательным. В широкой области параметров процесс $V-T$ релаксации газа описывается моделью Ландау-Теллера. Характерное время $V-T$ релаксации хорошо описывается соотношением [1, 7, 9].

$$\tau \sim \exp[\text{const}/T^{1/2}].$$

Величина τ зависит от температуры и давления, поскольку при изменении этих параметров изменяется частота соударений молекул газа.

В звуковой волне, распространяющейся в плазме, в пучностях волны с ростом интенсивности звука плотность и температура газа будут расти [9, 10]. В этой зоне произойдет возмущение равновесной величины параметра E/N . В силу резкой экспоненциальной зависимости частоты ионизации от E/N [11] в этой зоне концентрация заряженных частиц уменьшится. В разреженных слоях уменьшение плотности газа будет приводить к увеличению концентрации заряженных частиц по сравнению с ее равновесным значением. Таким образом, модуляция концентрации заряженных частиц и разрядного тока будет следить за модуляцией давления, а, следовательно, за модуляцией плотности и температуры газа в звуковой волне. В неравновесном молекулярном газе будет происходить дополнительный нагрев, вызванный $V-T$ релаксацией. Модуляция интенсивности тепловыделения приведет к увеличению глубины модуляции плотности и температуры газа. Вследствие этого возрастет также и модуляция разрядного тока. Пространственная и временная модуляции температуры и плотности газа, обусловленные распространением звуковой волны в неравновесно-молекулярном газе, рассмотрены теоретически в [10].

Рост давления газа в разряде (при постоянном токе) приведет к увеличению плотности колебательно-возбужденных частиц, частоты $V-T$ релаксации и интенсивности тепловыделения в разряде. При этом глубина модуляции температуры и плотности газа, а, следовательно, и разрядного тока возрастет. Добавление аргона или гелия к азоту приведет к уменьшению парциального давления азота и плотности колебательно-возбужденных молекул, что приведет к уменьшению глубины модуляции вышеуказанных параметров.

Увеличение разрядного тока при постоянном давлении сопровождается ростом температуры газа. При этом уменьшается время релаксации τ колебательно-возбужденных молекул. Уменьшение τ приведет к уменьшению соотношения $\tau/\tau_{\text{зв}}$ (где $\tau_{\text{зв}}$ — период звуковой волны), что облегчает более полное восстановление нарушенного термодинамического равновесия. Следовательно, при этом глубина модуляции параметров разряда уменьшится.

Приведенные здесь качественные соображения хорошо согласуются с нашими экспериментальными результатами.

Изменение разности фаз между колебаниями разрядного тока и звуковыми колебаниями в зависимости от интенсивности можно, по-видимому, объяснить следующим образом. В слабоионизованной низкотемпературной плазме $M_N \sim M_i$ (где M_N — масса атома или молекулы, M_i — масса иона), поэтому наличие звука будет приводить в первую

очередь к колебаниям нейтральных частиц и ионов. Электроны будут вовлекаться в это колебательное движение через их взаимодействие с ионами и нейтралами. При низких интенсивностях звука электроны слабо вовлекаются в колебательное движение, вследствие чего, колебания разрядного тока будут по фазе сильно отличаться от колебаний ионов и нейтралов. Увеличение интенсивности звука, которое повышает плотность газа в сжатом слое, будет приводить к более сильному вовлечению электронов в колебательное движение вместе с ионами и нейтралами, что должно сопровождаться уменьшением разности фаз. Это согласуется с нашими экспериментальными результатами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин Е. Е., Осипов А. И., Уманский С. Я. В сб. «Химия плазмы», Энергоиздат, М., с. 3, 1989.
2. Frey R., Lukasik J., Ducuing J. Chem. Phys. Lett., 14, 524 (1972).
3. Marisq M., Gzegory E., Wiskham-Jones C. Chem. Phys., 75, 347 (1983).
4. White D. R., J. Chem. Phys., 48, 525 (1968).
5. Авадус Э. И. и др. Практикум по общей физике. Просвещение, М., с. 85, 1971.
6. Арамян А. Р., Галечян Г. А. Тез. докл. Всесоюз. конференции по физике газового разряда. Омск, кн. 2, с. 11, 1990.
7. Осипов А. И., Уваров А. В. Инж.-физ. журнал, 55, 149, 1988.
8. Елсукий А. В., Рахимов А. Т. В сб. «Химия плазмы», в. 4, Атомиздат, М., с. 123, 1977.
9. Козан Е. Я., Мальнев В. Н. ЖТФ, 47, 653, (1977).
10. Елсукий А. В., Степанов Е. В. ЦНИИатоминформ, М., Препринт ИАЭ—4638/12, 12с., 1988.
11. Браун С. Элементарные процессы в плазме газового разряда. Госатомиздат, М., 1961.

ՊԼԱԶՄԱՅԻՆ ՀԱՐԱԶԱՓԵՐԻ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ ՁԱՅՆԱՅԻՆ ԱՆԻՔԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՆԵՐՔՈՆ

Մ. Ա. ԱՆՏԻՆՅԱՆ, Գ. Ա. ԳԱԼԵԶՅԱՆ, Ա. Ռ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Լ. Բ. ԹԱՎԱԿԱԼՅԱՆ

Փորձնականորեն հետազոտված է ձայնային ալիքի ազդեցությունը պարպումային հոսանքի մեծության և վոլտամպերային բնութագրի վրա: Պարպումը դիտվում է ազոտում, ինչպես նաև $N_2 + Ar$ և $N_2 + He$ խառնուրդներում: Հետազոտված է ձայնային ալիքի և պարպման հոսանքի տատանումների միջև փուլերի տարբերությունը կախված ձայնի ինտենսիվությունից:

OSCILLATIONS OF PLASMA PARAMETERS UNDER THE ACTION OF SOUND WAVES

M. A. ANTINYAN, G. A. GALEGHYAN, A. R. MKRTCHYAN,
L. B. TAVAKALYAN

The effect of acoustic waves on the current and voltage-current characteristics of the discharge in nitrogen, as well as in $N_2 + He$ and $N_2 + Ar$, was experimentally studied. The dependence of phase difference between the acoustic oscillations and discharge current oscillations on the intensity of sound is discussed.