

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ ФИЗИКИ

На правах рукописи

АРАМЯН АРТУР РАЗМИКОВИЧ

УДК 533.521

ОСОБЕННОСТИ РАЗРЯДА АРГОНА В ПОЛЕ
ИНТЕНСИВНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ

01.04.06 – Акустика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ЕРЕВАН – 1992

Заказ № 47. Тираж – 100. Цех "КСЕРОКС" М.П.

Работа выполнена в Институте прикладных проблем физики Академии Наук Республики Армения.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
ГАЛЕЧЯН Г.А.


Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
ГРИГОРЯН Л.Ш.;
кандидат физико-математических наук,
БАРХУДАРОВ Э.М.

Ведущая организация: физический факультет Ереванского
Государственного Университета.

Защита состоится "22-28" сентября 1992 г. в "_____"
Орбита
часов на заседании Специализированного Совета Д 005.20.01
Института прикладных проблем физики АН Республики Армения по
адресу: Ереван, 375014, ул. Гр.Нерсисяна, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
прикладных проблем физики АН РА.

Автореферат разослан "21" августа 1992 г.

Ученый секретарь
Специализированного Совета, 
кандидат физико-математических наук М.А. САРКИСЯН

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние десятилетия развитие физики и техники газовых лазеров подняло исследования низкотемпературной плазмы на качественно новый уровень. На повестку дня встал вопрос об устойчивости низкотемпературной плазмы, при повышенных давлениях и возможности управления параметрами плазмы с целью подавления этих неустойчивостей.

Одной из основных неустойчивостей газового разряда является контракция положительного столба, которая приводит к сжатию разряда, увеличению температуры газа в плазме и неполному использованию объема газоразрядной камеры.

Получение неоконтрагированного однородного разряда при повышенных давлениях является ключевой задачей при создании газовых лазеров. Стремление обойти контрагирование разряда при повышении давления привело к развитию новых направлений в физике низкотемпературной плазмы, в частности, таких, как несамостоятельный разряд с предионизацией электронным пучком и разряд в потоке газа. Разряд с высокоскоростной прокачкой газа широко используется в мощных газовых лазерах. Высокоскоростная турбулентная прокачка газа через разрядную область позволяет создавать неоконтрагированный разряд при высоких давлениях, благодаря турбулентностям, генерируемым в потоке. Разряду в потоке газа посвящено достаточно большое количество работ.

Сравнительно новым направлением в физике низкотемператур-

ной плазмы является разряд в поле звуковой волны. Основная часть работ в этом направлении посвящена исследованию влияния плазмы на параметры и устойчивость звуковой волны, распространяющейся по плазме. Несомненный научный и практический интерес представляет исследование влияния звуковой волны на параметры газоразрядной плазмы. Этот интерес вызван не только тем, что влияние звука на параметры плазмы мало изучено. Исследования влияния звуковой волны на свойства стационарного газового разряда важны для выяснения возможности управления параметрами газового разряда звуковой волной и получения однородного неконтрагированного разряда без применения громоздких технических устройств.

Цель работы:

1. Исследование влияния звуковой волны на электрические характеристики плазмы тлеющего разряда в аргоне.
2. Исследование влияния звуковой волны на радиальную однородность положительного столба газового разряда.
3. Выяснение физического механизма, приводящего к перераспределению плотности электронов и выравниванию радиального градиента температуры газа при создании звуковой волны, направленной вдоль положительного столба разряда.

Научная новизна исследований состоит в следующем:

1. Экспериментально показано, что создание звуковой волны, распространяющейся вдоль положительного столба при постоянном давлении газа в разряде приводит к уменьшению разрядного тока и к увеличению разрядного напряжения.
2. Установлено, что создание звуковой волны приводит к существенному повышению энерговыклада в разряд.
3. Показано, что создание звуковой волны в разряде при-

водит к установлению более однородного распределения концентрации электронов по сечению положительного столба, чем в разряде без звуковой волны.

4. Экспериментально обнаружены эффекты охлаждения газа звуком в разряде и уменьшения радиального градиента температуры газа под влиянием звуковой волны.

Практическая ценность. Полученные в работе эффекты увеличения энерговыклада в разряд и создания однородного распределения электронов по радиусу положительного столба звуком при повышенных давлениях могут быть использованы в различных газоразрядных устройствах. Эти результаты могут быть полезны для устранения поперечной неоднородности плазмы в газовых лазерах, улучшения их энергетических и оптических параметров, а также для улучшения характеристик газоразрядных ламп.

Положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментально получено, что создание звуковой волны интенсивностью выше 70 дБ, направленной вдоль положительного столба разряда аргона приводит к значительному увеличению энерговыклада в разряд.
2. Экспериментально показано, что создание звуковой волны приводит к установлению более однородного профиля распределения электронов по сечению положительного столба, чем в разряде без звука. Этот эффект проявляется сильнее с ростом разрядного тока.
3. Установлено, что звуковая волна приводит к уменьшению температуры газа на оси разряда аргона и выравниванию температурного градиента по радиусу положительного столба.
4. Показано, что уплощение профиля распределения электронов по сечению положительного столба аргонового разряда и

уменьшение температурного градиента по радиусу связано с возникновением акустического течения в стоячем звуковом поле, которое приводит к существенному увеличению теплоотвода от оси к стенке разрядной трубки.

Апробация результатов работы и публикации. Результаты диссертационной работы докладывались на 19-ой Международной конференции по ионизационным явлениям в газах (Белград, 1989), на 2-ой Межреспубликанской школе-семинаре молодых ученых по современным проблемам спектроскопии, лазерной физики и физики плазмы (Минск, 1989), на 8-ом Международном симпозиуме по газовым течениям и химическим лазерам (Мадрид, 1990), на I- и 2-ом Всесоюзных семинарах по взаимодействию акустических волн с плазмой (Мегри, 1989; 1991).

Основные результаты работы докладывались на научном семинаре секции низкотемпературной плазмы АН СССР (Москва, 1990), на научных семинарах ИШФ АН РА.

По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ.

Структура диссертации и ее объем. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит страниц машинописного текста (включая рисунки), 26 рисунков и список литературы из 97 наименований.

П. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертации обосновывается актуальность темы, сформулированы цели диссертационной работы, показана новизна и практическая ценность наиболее важных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор работ, которые представля-

ют интерес в области взаимодействия акустических волн с плазмой. Отметим, что большинство работ в этой области посвящено исследованию влияния плазмы на параметры акустических волн и вопросам развития неустойчивостей звуковой волны в плазме. Вопрос влияния звуковой волны на параметры плазмы сравнительно малоизучен. Несомненно, что этот вопрос представляет большой научный и практический интерес с точки зрения управления различными параметрами плазмы акустической волной.

Глава состоит из двух частей. В первой части рассматриваются акустические неустойчивости и вопросы усиления акустических волн в плазме. Во второй части рассматривается влияние акустических волн на параметры газового разряда.

Во второй главе приведено описание экспериментальной установки и методов измерений. В этой главе исследовано влияние звуковых волн, образованных разрядом переменного тока, на параметры разряда постоянного тока в аргоне при разных давлениях.

Измерения выполнялись в кварцевой разрядной трубке диаметром 60 мм и длиной 1000 мм. Расстояние между электродами, прикрепленными к стенкам трубки в виде отростков, равно 850 мм. Для создания плазмы на электроды подавалось высокое постоянное электрическое напряжение от блока питания постоянного тока. Звуковая волна в разрядной трубке создавалась двумя способами: наложением синусоидальных электрических колебаний от блока модуляции разрядного тока, состоящего из генератора, усилителя и трансформатора, на постоянный ток, или с помощью электродинамического излучателя звуковых волн, прикрепленного к одному из торцов трубки. Питание излучателя производилось от генератора через усилитель и разделительный трансформатор. К противоположному торцу трубки прикреплен микрофон, сигнал с кото-

рого анализировался осциллографом. Радиальное распределение плотности тока в разряде измерялось двойным электрическим зондом, который перемещался по радиусу трубки. Температура газа в разряде измерялась двумя термопарами, одна из которых была установлена на оси трубки, другая - на стенке трубки. Разрядная трубка откачивалась насосом до вакуума 10^{-2} мм рт. ст., затем трубка заполнилась исследуемым газом до рабочего давления, величина которого измерялась U-образным ртутным манометром.

Наибольшая амплитуда звуковых колебаний устанавливалась при резонансной частоте, когда половина длины волны была равна длине трубки, что соответствует 190 Гц. При неизменных значениях разрядного тока с увеличением давления газа интенсивность звука возрастает. Возрастание наблюдается также при увеличении величины переменного тока.

В данной главе приведены результаты экспериментальных исследований влияния звуковых волн, созданных в разряде переменным током, на электрические параметры положительного столба тлеющего разряда. Исследованы амплитудно-частотные характеристики звуковых волн в разряде аргона при различных давлениях. Представлены зависимости величины постоянного тока от частоты переменного тока при его постоянном значении, и различных давлениях газа в камере. Наибольшее уменьшение постоянного тока наблюдалось при давлении аргона в разряде 123 мм рт. ст., при этом увеличение интенсивности звука до 85 дБ приводило к уменьшению разрядного тока от 50 до 35 мА. Понижение величины постоянного тока при повышении интенсивности звука сопровождалось повышением электрического напряжения на электродах, например, для давления газа 123 мм рт. ст. от 3,7 до 5,3 кВ. Сле-

довательно, можно резюмировать, что возрастание амплитуды звуковых колебаний в трубке приводит к росту сопротивления разрядного промежутка. Увеличение интенсивности акустической волны в 12 раз приводит к возрастанию сопротивления разряда в 1,5 раза.

Третья глава посвящена исследованию влияния звуковых волн, создаваемых электродинамическим излучателем, на электрические параметры разряда. Приведены результаты экспериментального исследования зависимости разрядного тока и разности электрического напряжения на разрядном промежутке от интенсивности звуковых волн при частоте 190 Гц и различных давлениях аргона в трубке. 190 Гц соответствует резонансной частоте, при которой половина длины волны равна длине трубки. Выяснено, что при амплитуде звуковой волны выше некоторой критической величины происходит уменьшение разрядного тока, а электрическое поле увеличивается, т.е. сопротивление разрядного промежутка возрастает. При разных давлениях газа значение критической величины различно. Так, при давлении 40 мм рт. ст. - 69 дБ, при 84 мм рт. ст. - 74 дБ и при 123 мм рт. ст. - 76 дБ. В экспериментах наибольшее влияние звука наблюдается при давлении 123 мм рт. ст. Увеличение интенсивности звука от 76 до 85 дБ приводит к уменьшению разрядного тока от 50 до 300 мА, электрическое напряжение при этом возрастает от 3 до 5 кВ. Для выяснения зависимости полученных эффектов от частоты звуковой волны выполнены измерения величины постоянного тока и напряжения от частоты звуковых волн (рис. 1). Получено, что наибольшее отклонение рассматриваемых величин наблюдается при резонансных частотах 190 и 380 Гц, при которых в трубке образуются стоячие волны. Увеличение частоты звуковых колебаний выше резонансной частоты 190 Гц приводит к увеличению тока и при

250 Гц ток достигает значения 50 мА, которое соответствует величине разрядного тока без звука. При частотах 250 - 320 Гц величина разрядного тока практически соответствует ее значению в отсутствие звуковых волн. Повышение частоты звука выше 320 Гц вызывает уменьшение тока, последний достигает минимального значения при резонансной частоте 380 Гц. Из приведенных экспериментальных данных можно сделать вывод, что повышение интенсивности звуковой волны (при резонансной частоте) выше некоторой критической величины вызывает увеличение сопротивления газового разряда.

В третьей главе исследовано также влияние интенсивной звуковой волны на ВАХ газового разряда в аргоне при давлении 110 мм рт. ст. и различных интенсивностях стоячей звуковой волны с частотой 190 Гц, установившейся вдоль плазменного столба (рис. 2). Показано, что в отсутствие звука вид ВАХ имеет типичную форму падающей характеристики газового разряда. При интенсивности звуковой волны 70 дБ на ВАХ появляется слабо падающая с ростом тока участка. При интенсивности 83 дБ заметен растущий участок. Из анализа представленных графиков на рис. 2 видно, что при постоянных давлении газа и разрядном токе с увеличением интенсивности звуковой волны электрическое напряжение на электродах возрастает весьма существенно, т.е. при повышении интенсивности звука до 83 дБ увеличение электрического напряжения по сравнению с неозвученным разрядом происходит более чем в 2 раза, соответственно возрастает также энергозатраты в разряд.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния звуковых волн на радиальную однородность положительного столба газового разряда. Показана возможность получения неконтрагированно-

го разряда при повышенных давлениях при помощи интенсивной звуковой волны. Представлены распределения относительного электронного тока насыщения двойных электрических зондов по радиусу трубки при давлении аргона 110 мм рт. ст., интенсивности звука 85 дБ и частоте 190 Гц. Измерения выполнены при различных разрядных токах (рис. 3). Если при разрядном токе 20 мА звук практически не влияет на радиальное распределение плотности тока, то при 75 мА эффект влияния проявляется отчетливо. При токе 75 мА радиус видимой границы положительного столба в отсутствие звука равен 1 см, а при наличии звуковой волны плазменный столб заполняет весь объем трубки, т.е.

$R = 3$ см. Происходит полное эффективное расконтрагирование разряда звуком при наличии стоячей волны. Из экспериментальных данных следует, что при постоянном давлении газа и интенсивности звука эффект расконтрагирования звуком возрастает с увеличением разрядного тока, т.е. с возрастанием градиента температуры газа по радиусу трубки.

В четвертой главе приведены результаты исследования зависимости температуры газа на оси разряда и стенке трубки от интенсивности звука при частоте 190 Гц (давление аргона в трубке 110 мм рт. ст.) и постоянном разрядном токе (рис. 4). С повышением интенсивности звуковой волны происходит повышение энергозатраты в разряд, как это показано в главе III. Несмотря на то, что с ростом интенсивности звука до 83 дБ электрическое напряжение при постоянном токе увеличилось в 2 раза, температура газа на оси при токе 90 мА уменьшалась с 432 до 390 К°, а при 60 мА с 403 до 360 К°. На стенке трубки при разрядном токе 90 мА температура повышается от 305 до 335 К°, а при 60 мА от 308 до 320 К°. Таким образом, перепад температур га-

за между осью разряда и стенкой трубки под влиянием звуковой волны уменьшается при разрядном токе 90 мА, с 127 до 55 °, т.е. в 2,3 раза, а в случае 50 мА с 75 до 40 °, т.е. в 1,9 раза.

В конце главы приведены механизмы, объясняющие эти явления. Один из них связан с акустическим течением, интенсивность которого связана с радиальным температурным градиентом. Благодаря этому в разряде с повышением интенсивности звуковой волны наблюдается более однородное распределение температуры и плотности газа по радиусу разряда. Это приводит к более однородному распределению частоты ионизации по сечению трубки и, следовательно, к однородному заполнению плазмой разрядной камеры.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Экспериментально получено, что при постоянном давлении аргона в камере рост интенсивности резонансной звуковой волны, созданной в разряде как внешним источником, так и переменным током, приводит к уменьшению разрядного тока и увеличению напряжения на электродах. Показано, что звуковая волна воздействует на параметры разряда только на резонансных частотах, т.е. когда в камере создается стоячая волна.
2. Экспериментально исследовано влияние звуковой волны на ВАХ разряда в аргоне. Показано, что при постоянном давлении газа в камере рост интенсивности звуковой волны (при фиксированных разрядных токах) сопровождается повышением разрядного напряжения. Звук высокой интенсивности приводит к об-

разованию растущих участков на ВАХ. Создание звука приводит к существенному росту энерговыклада в разряд.

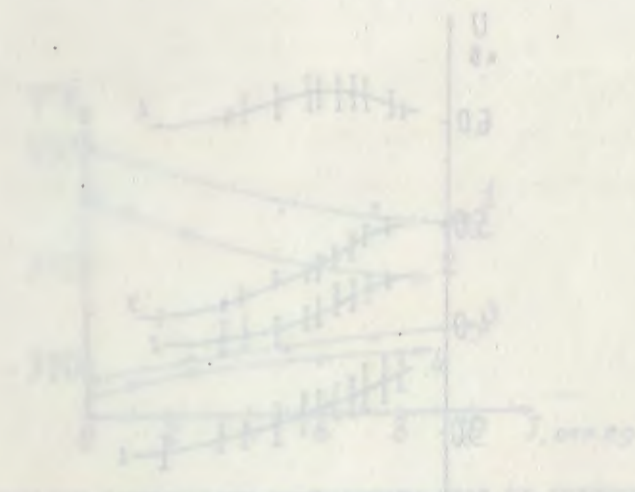
3. Показано, что наличие интенсивной звуковой волны в разряде приводит к расконтрагированию шнурованного разряда и созданию более однородного распределения концентрации электронов по радиусу положительного столба, чем в разряде без звука.
4. Экспериментально показано, что увеличение интенсивности стоячей звуковой волны в разрядной трубке приводит к уменьшению температуры газа на оси положительного столба разряда аргона и росту температуры газа на стенке трубки вследствие возникновения вихревого движения в поле звуковой волны. При этом уменьшается радиальный перепад температур по радиусу положительного столба. Эффекты охлаждения газа и уменьшения радиального градиента температуры газа в разряде звуком проявляются сильнее с ростом интенсивности звука и разрядного тока.

ПУБЛИКАЦИИ

1. А.Р.Мкртчян, А.Р.Арамян, Г.А.Галечян Влияние звуковой волны, образованной разрядом переменного тока на параметры постоянного тока/ Всесоюзный научный семинар по взаимодействию акустических волн с плазмой: Тез. докл., Мегри, 1989. - С. 13-14.
2. А.Р.Арамян, Г.А.Галечян Исследование акустического резонатора разрядом переменного тока/ Там же. С. 27-28
3. А.Р.Арамян, Г.А.Галечян Исследование зависимости параметров разряда от интенсивности звука/ Там же. С. 57-58.

4. А.Р.Мкртчян, А.Р.Арамян, Г.А.Галечян Расшнурование контрагированного разряда звуком/ Там же. С. 74-75.
5. А.Р.Арамян, Г.А.Галечян Влияние звуковых волн на параметры газового разряда/ 2-ая Межреспубликанская школа-семинар молодых ученых по современным проблемам спектроскопии, лазерной физики и физики плазмы: Тез. докл., Минск, 1989. - С. 190-192.
6. Г.А.Галечян, А.Р.Арамян, А.Р.Мкртчян Влияние звуковых волн на параметры плазменного столба// ЖТФ. - 1990. - Т. 60, вып. 2. - С. 207-209.
7. А.Р.Мкртчян, А.Р.Арамян, Г.А.Галечян Расшнурование контрагированного разряда звуком// Изв. АН Арм.ССР, Физика. - 1990. - Т. 25, вып. 3. - С. 163-165.
8. А.Р.Арамян, Г.А.Галечян, А.Р.Мкртчян Влияние звуковой волны на параметры газового разряда// Физика плазмы. - 1990. - Т. 16, вып. 3. - С. 383-385.
9. G.A.Galechyan, A.R.Aramyan, E.G.Divanyan, R.G.Divanyan Effect of the Acoustic Waves on the Gas Discharge Plasma Parameters. Proc. XIX ICPIG. Contr. Papers, Belgrade, 1989, v. 4, p. 784-785.
10. G.A.Galechyan, A.R.Mkrtchyan, A.R.Aramyan Increase of the Energy Contribution to the Gas due to Acoustic Waves. 8th Int. Symp. on Gas Flow and Chemical Lasers. Madrid, 1990, p. 16.
11. A.R.Mkrtchyan, A.R.Aramyan, G.A.Galechyan Increase of the Contracted Discharge Diameter Turbulence Generated by Acoustic Waves. Ibid. p. 17.

12. А.Р.Арамян, Г.А.Галечян, А.Р.Мкртчян Охлаждение газа в плазме звуком// Письма в ЖТФ. - 1991. - Т. 17, вып. 1, - С. 12-14.
13. А.Р.Арамян, Г.А.Галечян, А.Р.Мкртчян Плазма в поле интенсивной звуковой волны// Акустический журнал. - 1991. - Т. 37, вып. 2. - С. 213-221.
14. А.Р.Мкртчян, Г.А.Галечян, А.Р.Арамян Способ управления энерговыделением в тлеющий газовый разряд/ Авторское свидетельство SU 1664104 А1 (1991).
15. А.Р.Арамян Исследование влияния звуковой волны на радиальную однородность положительного столба в аргоне/ Тез. докл. 2-ой Всесоюзного научного семинара по взаимодействию акустических волн с плазмой. Мегри, 1991. - С. 52-55.



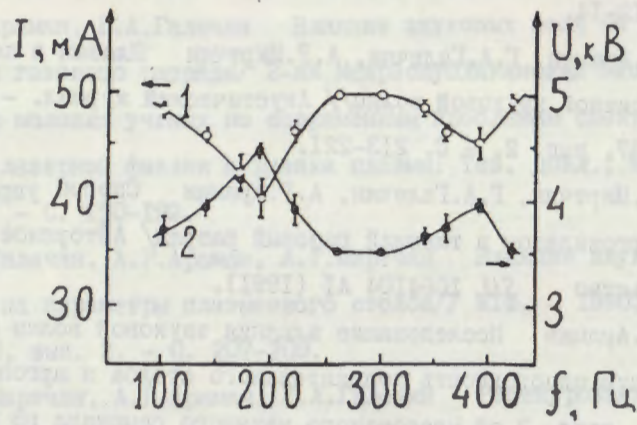


Рис. 1. Зависимости разрядного тока (1) и разности электрического напряжения (2) от частоты звука при интенсивности 83 дБ и давлении 110 мм рт. ст.

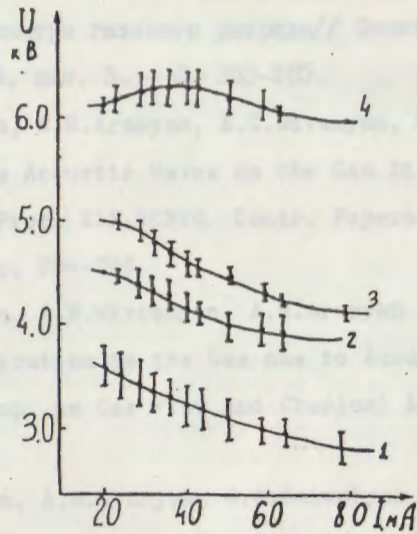


Рис. 2. ВАХ разряда при давлении аргона 110 мм рт. ст. и различных интенсивностях звуковой волны с частотой 190 Гц: 1 - при отсутствии звука, 2 - при 70 дБ, 3 - 74 дБ, 4 - 83 дБ

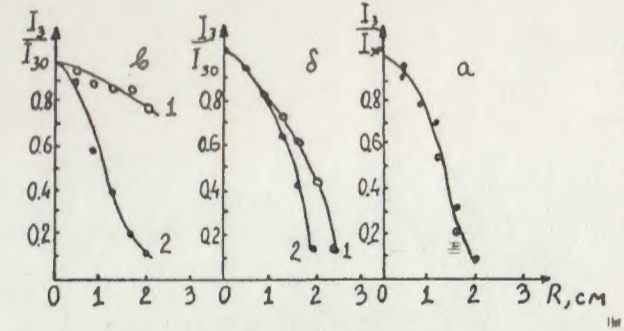


Рис. 3. Графики зависимости распределения относительного электронного тока насыщения двойных электрических зондов по радиусу трубки при давлении аргона 110 мм рт. ст., интенсивности звука 85 дБ, частоте звука 190 Гц: а - при токе 20 мА, б - 40 мА, в - 75 мА. Кривая 1 - со звуком, 2 - в отсутствие звука

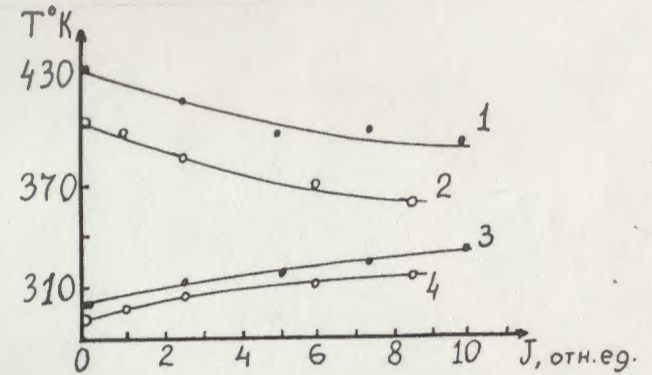


Рис. 4. Графики зависимости температуры газа от интенсивности звука: 1 - на оси разряда при токе 90 мА, 2 - на оси при 60 мА, 3 - на стенке трубки при токе 90 мА и 4 - на стенке трубки при 60 мА. Давление газа 110 мм рт. ст.

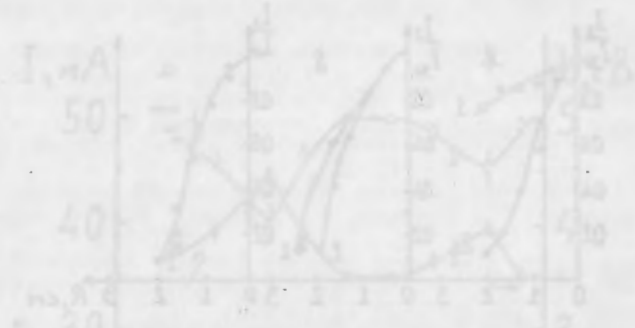


Fig. 3. The dependence of the current I on the time t for different values of the parameter α . The curves are shown for $\alpha = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$. The current I is measured in Amperes (A) and the time t is measured in seconds (s).

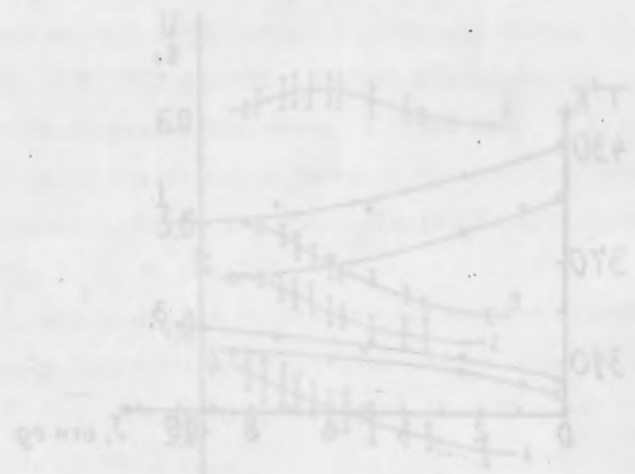


Fig. 4. The dependence of the voltage U on the time t for different values of the parameter α . The curves are shown for $\alpha = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$. The voltage U is measured in Volts (V) and the time t is measured in seconds (s).

Fig. 3. The dependence of the current I on the time t for different values of the parameter α .