

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

Кафедра общей физики

Захаров Роман Анатольевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Исследование влияния давления паров этанола и аргона на силу тока
ионного пучка тлеющего разряда**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18308

Научный руководитель:

Золкин А.С., доцент, зав.лаб.

Консультант

Чепкасов С.Ю., вед.инж.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Солдаткина Е.И., канд. физ.-мат. наук

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

Итоговая оценка

к.т.н. Астрелин В.Т.

«_____» _____ 20__ г.

Аннотация

Целью данной работы являлось определение зависимости силы тока ионного пучка тлеющего разряда от давления паров этанола и аргона при постоянном напряжении. Представлены основы теории тлеющего разряда. Описана экспериментальная установка по созданию тлеющего разряда. Измерения проводились при напряжении между электродами 1500 Вольт, давлениях для аргона от 0,08 до 0,5 торр, для паров этанола от 0,05 до 0,2 торр, расстояниями между катодом и коллектором ионов 0,5 см и 3 см. Получены соответствующие зависимости силы тока ионного пучка от давления в приведенных выше диапазонах, результаты приведены в виде графиков. Замечено, что при давлении аргона выше 0,22 торр характер зависимости изменился. Выдвинуто предположение об обнаружении переходной зоны нормального и аномального тлеющих разрядов. Способ измерения заключался в измерении падения напряжения на сопротивлении, включенном в цепь последовательно с коллектором ионов. Установлена почти линейная зависимость тока от давления в нормальном тлеющем разряде. Погрешность измерения тока составляла не более 3,4%, погрешность измерения давления термодинамическим вакуумметром составляла около 30%. Работа относится к физике тлеющего разряда, предполагается использование полученных данных в процессе напыления углеродом оптических линз.

Ключевые слова: ионный ток, тлеющий разряд, газоразрядная трубка.

Оглавление

1. Введение.....	4
2. Теоретическая часть.....	5
3. Описание установки.....	7
4. Методика измерений.....	7
5. Результаты.....	9
6. Анализ погрешностей.....	11
7. Обсуждение результатов.....	12
8. Вывод.....	12
9. Список использованной литературы.....	13

1. Введение

Тлеющий разряд, относящийся к электрическим разрядам и характеризуемый малыми значениями тока и выделяемой мощности, в различной форме встречается во многих изучаемых человеком областях, от применяемых в конструировании микроэлектроники технологий, до наблюдения атмосферных явлений. С исследованиями тлеющего разряда связаны такие достижения науки, как открытие рентгеновских лучей и электрона, а также технология спектрального анализа. В настоящее время уровень научного и технологического развития позволяет использовать более точные способы изучения фундаментальных законов природы, однако физические процессы тлеющего разряда нашли практическое применение во многих современных технологиях, от источника света внутри люминесцентных ламп до применения в газовых лазерах и нанесении защитной углеродной пленки на оптические линзы.

Целью данной работы являлось определение зависимости ионного тока тлеющего разряда от давления. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Изучить основные моменты теоретической модели процесса тлеющего разряда
2. Выбрать и установить требуемые значения давления газов и напряжения в газоразрядной трубке.
3. Обработать экспериментальные данные.

2. Теоретическая часть

Тлеющий разряд

По своему определению тлеющий разряд представляет из себя определенную последовательность светящихся зон, изображенных на рис.1. Основное падение напряжения наблюдается вблизи катода, вызывающее ускорение ионов в межэлектродном пространстве и

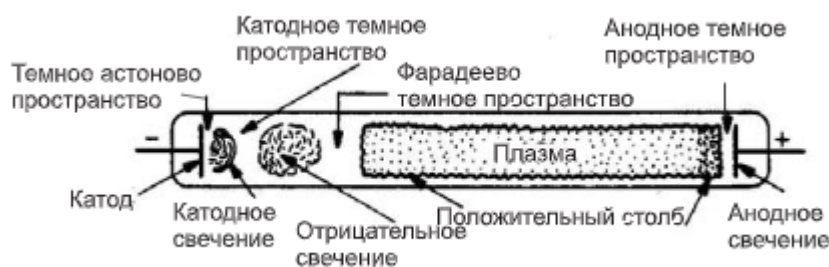


Рис.1 Тлеющий разряд

вторичную эмиссию электронов на катоде. Непосредственно возле катода скорость электронов недостаточно высока для возбуждения газа, потому эта зона называется **темным астоновым пространством**. Далее при прохождении через порог возбуждения начинается область интенсивного свечения - **пространство катодного свечения**.

Энергия электронов в **катодном темном пространстве** превосходит верхний порог возбуждения газа и достигает потенциала ионизации. Именно здесь образуется большая часть ионов, чей положительный заряд ослабляет поле в дальнейшей части межэлектродного промежутка. Поток электронов при столкновениях теряет энергию и продолжает возбуждать атомы газа в **области отрицательного свечения**. Эта зона характеризуется высоким отрицательным зарядом и низкой напряженностью поля. Далее в **фарадеевом пространстве** наблюдается рост напряжения, пока не будет достигнуто значение, соответствующее **положительному плазменному столбу**, который содержит низкотемпературную плазму с по большей части хаотическим движением частиц. Напряженность поддерживается на минимальном уровне, достаточном для тока в трубке. Последняя зона - **область анодного свечения** - характеризуется небольшим падением потенциала, связанным с ускорением электронов и ионизацией газа.

Поскольку роль катода в используемой установке выполняет металлическая сетка, часть ионов, образуемых в газоразрядной трубке, преодолевает катод и попадает в коллектор ионов в виде направленного ионного пучка. Рассмотрим более подробно модель движения ионов через катод.

Увеличение энергии электронов в катодной области предполагает отсутствие столкновений между электронами и молекулами газа. По этой причине длина катодной области прямо пропорциональна длине свободного пробега молекул газа, соответственно, длина катодной области обратно пропорциональна давлению газа.

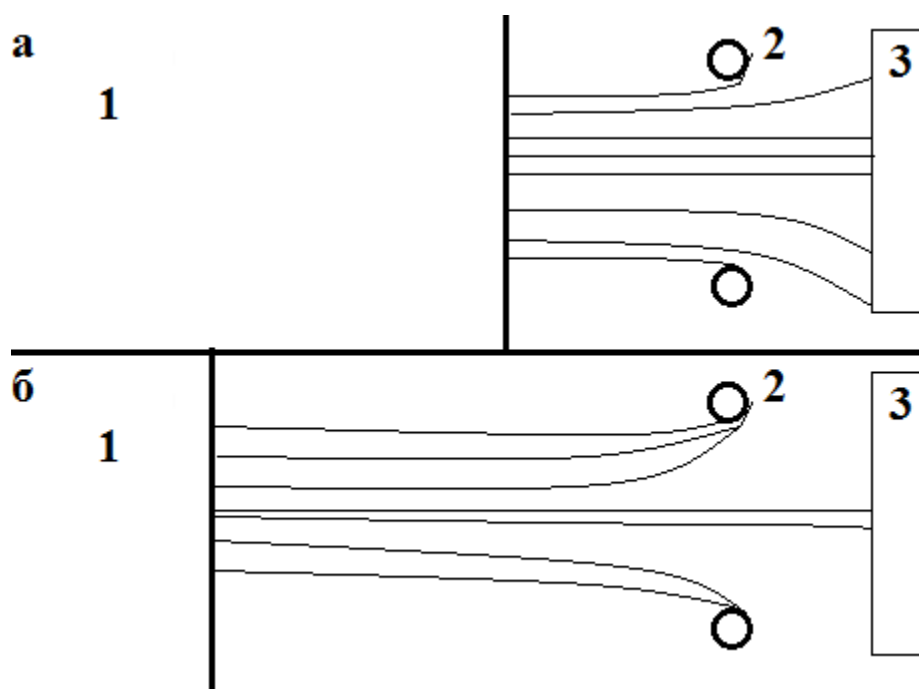


Рис.2 Траектории движения положительных ионов через катод, 1 – положительный столб, 2 – сетчатый катод, 3 – коллектор ионов

На рис.2 схематически изображены траектории движения положительных ионов при приближении к сетчатому катоду, рассмотрены ионы, чья изначальная траектория параллельна стенкам трубки. Чем больше длина катодной области, тем большая доля ионов будет захвачена катодом (рис.2, б). Соответственно, при уменьшении длины этой области большая доля ионов преодолеет катод и попадет в коллектор ионов (рис 2, а). На основании этого факта можно судить о характере зависимости силы тока ионного пучка от давления газа.

3. Описание установки

Схематический вид установки, использованной в измерениях, приведен на рис.3. Основные элементы установки отмечены числами: емкость с рабочим газом (1), анод (2), натекатель (3), выход к насосу (4), резистор 1кОм (5), конденсатор 4,7 мкФ (6), термопарный вакуумметр (7), источник питания высоковольтный ТВ2 (8), катод (9), миллиметровка (10), коллектор ионов в виде пластинки диаметром 8мм (11), кольцевой магнит (12), вольтметр В7-21 (13), газоразрядная трубка диаметром 40 мм (14), азотная ловушка (15).

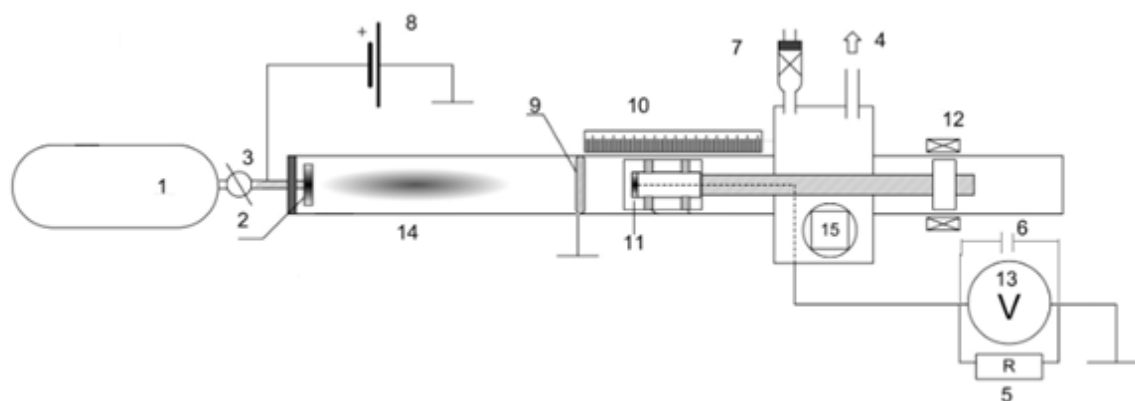


Рис.3 Экспериментальная установка

В качестве катода используется стальная сетка, натянутая на металлическое кольцо. Кольцевой магнит используется для перемещения коллектора ионов с минимизацией риска механического повреждения установки. Азотная ловушка используется для уменьшения давления газа, находящегося внутри установки до начала эксперимента.

4. Методика измерений

Перед проведением эксперимента рабочий объем установки был откачан до давления порядка 10^{-3} торр. В течение эксперимента необходимо поддерживать наполненность азотной ловушки жидким азотом. Источник питания включен и настроен на напряжение 1500 В, вольтметр включен и настроен на измерение напряжения до 1 В во избежание повреждения. Коллектор ионов выставлен на выбранном расстоянии от катода. Расстояние 0,5 см – минимальное расстояние, которое позволяет устройство установки, расстояние 3 см выбрано, чтобы пронаблюдать сохранение характера зависимости при изменении расстояния.

После достижения необходимого давления был открыт натекаТЕЛЬ для подачи рабочего газа из емкости в трубку. Подача газа настраивается вручную таким образом, чтобы давление в рабочей области соответствовало заранее выбранному согласно градуировочной кривой термопарного вакуумметра значению. Необходимо в течение процедуры измерений поддерживать давление газа на этом уровне. Для аргона использовались давления от $8 \cdot 10^{-2}$ до $5 \cdot 10^{-1}$ торр, для паров этанола от $5 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^{-1}$ торр.

Для каждого выбранного давления были сняты показания вольтметра (от трех до пяти измерений), подключенного параллельно резистору, при измерении устанавливалось соответствующее предельное напряжение для уменьшения погрешности. В дальнейшем эти показания были преобразованы в зависимость силы тока от давления газа при помощи закона Ома. По полученным данным были построены графики зависимостей силы тока от давления. Были рассчитаны погрешности.

5. Результаты

Согласно полученным данным были построены соответствующие графики.

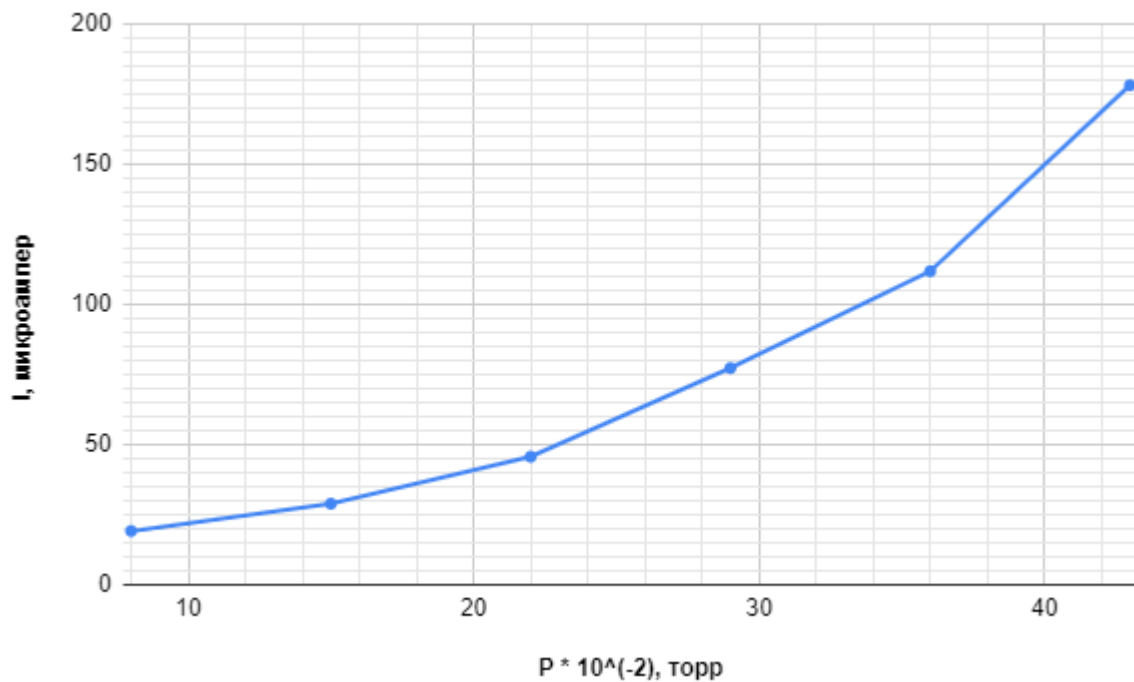


Рис.4 Зависимость тока ионного пучка от давления аргона при расстоянии между катодом и коллектором ионов 0,5 см

На график, изображенный на рис.4, не вошла точка, соответствующая $5 \cdot 10^{-1}$ торр. Сила тока ионного пучка в этой точке составляет $3695 \text{ мкА} \pm 126 \text{ мкА}$, что на порядок отличается от предыдущих значений.

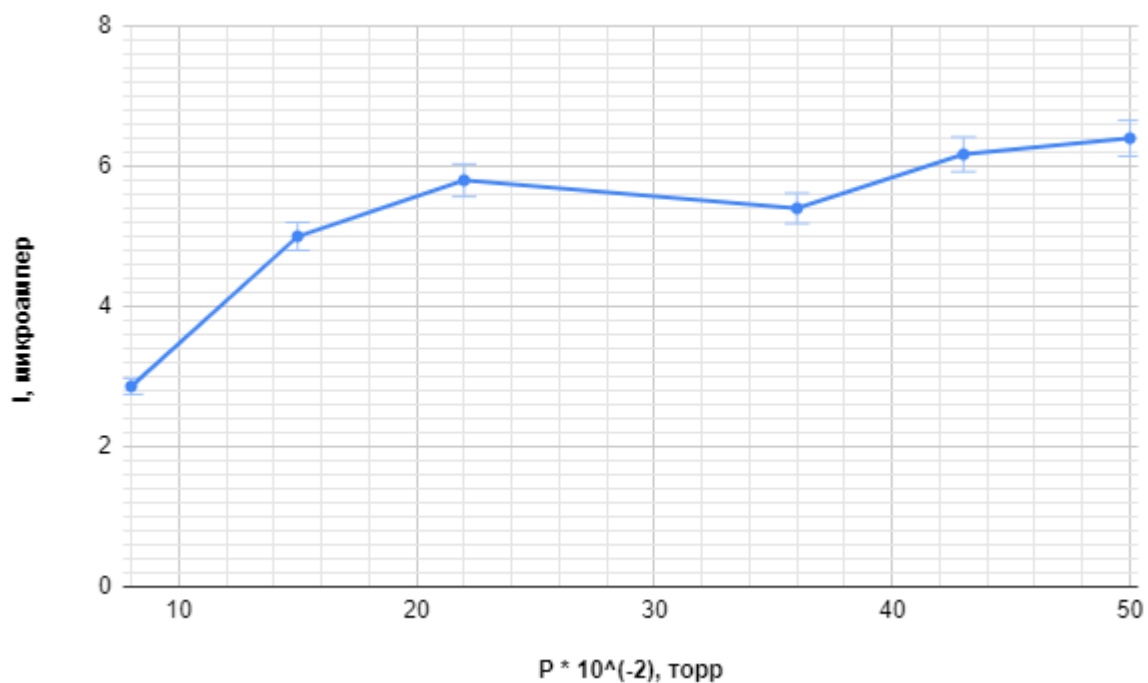


Рис.5 Зависимость тока ионного пучка от давления аргона при расстоянии между катодом и коллектором ионов 3 см

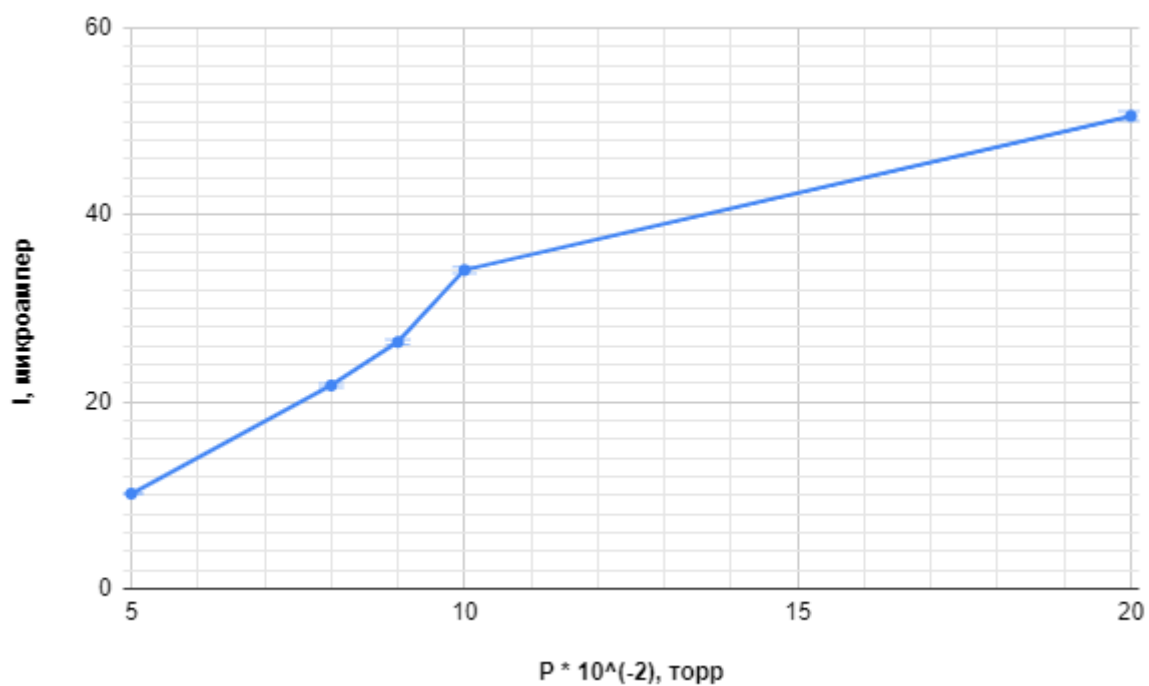


Рис.6 Зависимость тока ионного пучка от давления паров этанола при расстоянии между катодом и коллектором ионов 0,5 см

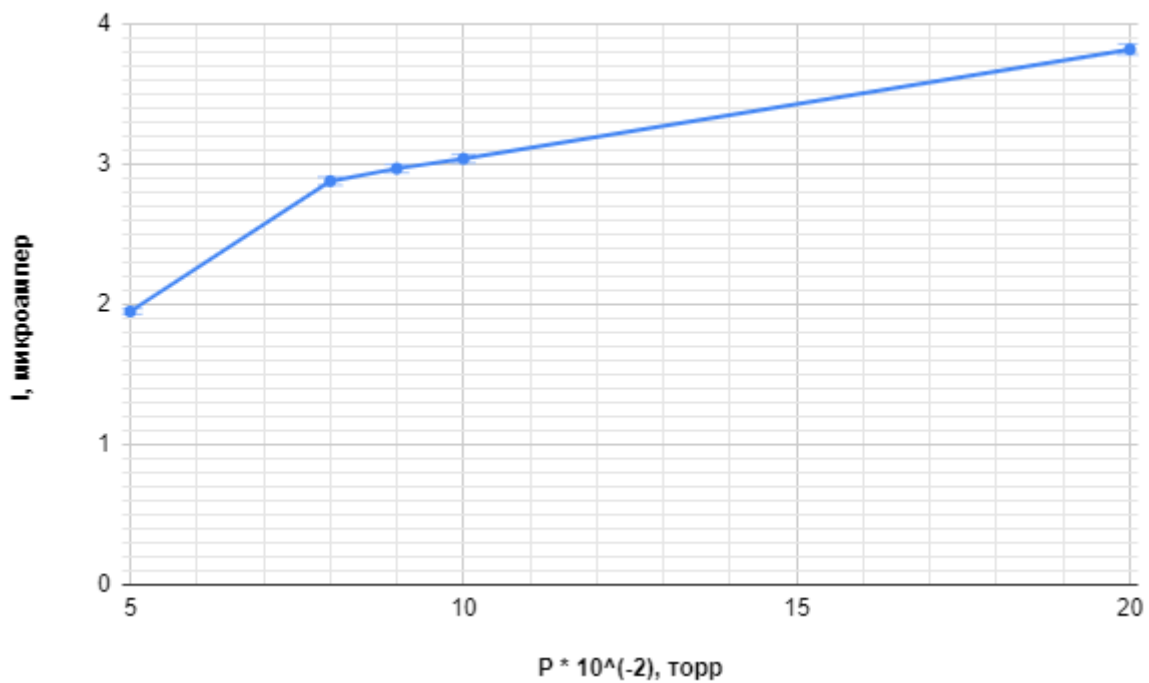


Рис.7 Зависимость тока ионного пучка от давления паров этанола при расстоянии между катодом и коллектором ионов 3 см

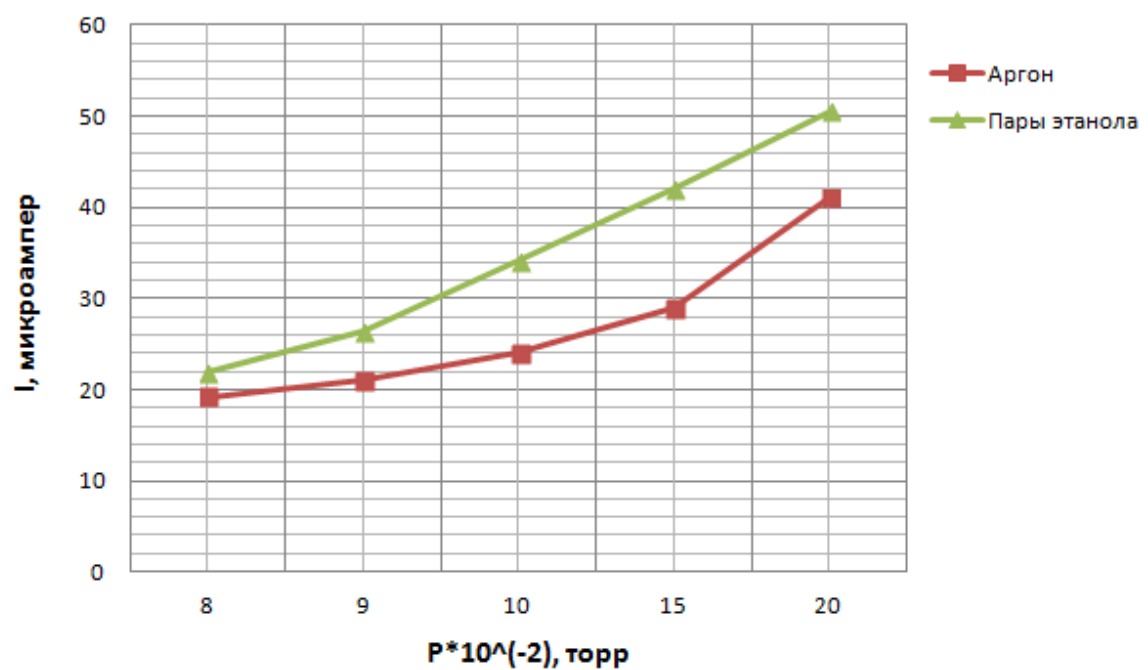


Рис.8 Зависимость тока ионного пучка от давления аргона и паров этанола при расстоянии между катодом и коллектором ионов 0,5 см

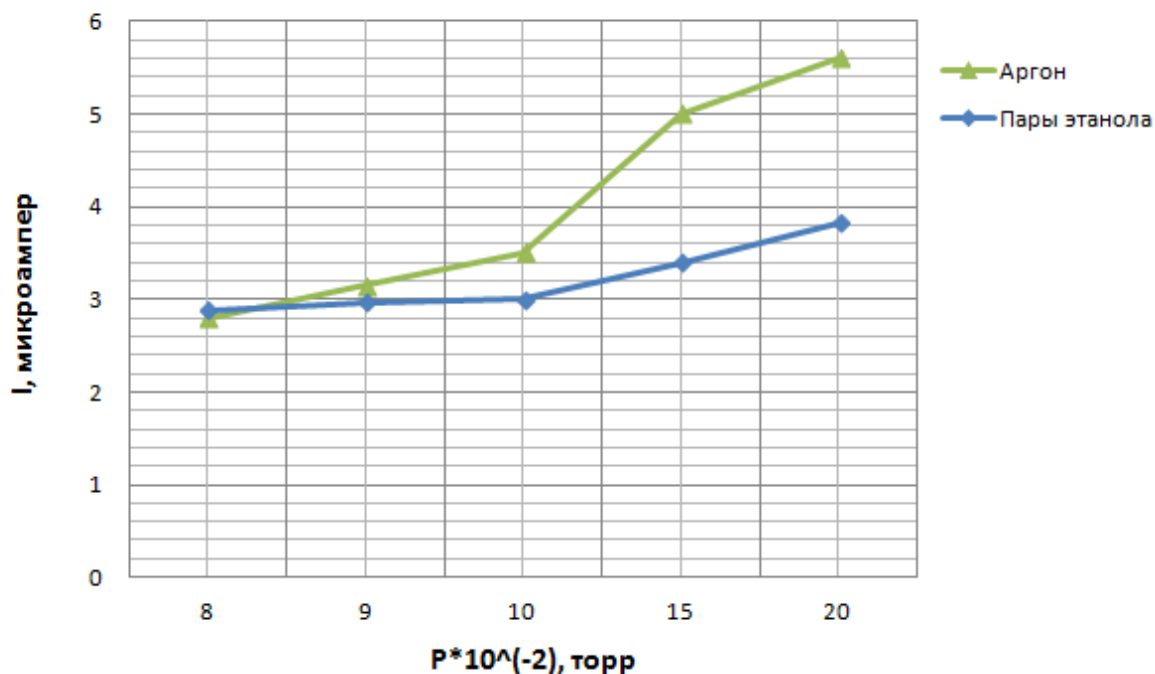


Рис.9 Зависимость тока ионного пучка от давления аргона и паров этанола при расстоянии между катодом и коллектором ионов 3 см

6. Анализ погрешностей

Погрешность измерения силы тока ионного пучка состояла из погрешности измерения падения напряжения на сопротивлении 5. Эту погрешность возможно рассчитать по формуле, приведенной в формуляре используемого вольтметра:

$$\delta u = \pm (0,1 + 0,03 \{U_k/U_x - 1\}),$$

U_k – верхний предел измерений, U_x – результат измерения.

По приведенной формуле погрешность измеряется в процентах от результата измерений. В данной работе она составляла от 0,1% до 3,4%.

Погрешность измерения давления зависела от точности термомпарного вакуумметра (около 30%, согласно паспорту устройства).

7. Обсуждение результатов

При давлениях около 0,2 торр и ниже наблюдается практически линейная зависимость силы тока от давления. При дальнейшем повышении давления зависимость принимает степенной или экспоненциальный характер, что объясняется зависимостью доли ионов, достигших коллектора, от давления. Стоит обратить внимание на точку, соответствующую 0,5 торр давления аргона при расстоянии между катодом и коллектором 0,5 см, в которой величина тока составляет $3,7 \text{ мА} \pm 0,1 \text{ мА}$, что в 20,8 раз превышает значение при давлении 0,43 торр.

Выдвинуто предположение об обнаружении переходной зоны нормального и аномального тлеющих разрядов, однако использованная экспериментальная установка не позволяет подробно изучить это явление.

8. Вывод

Мною было установлено, что результаты проведенной работы свидетельствуют о близости зависимости тока ионного пучка от давления газа к линейной при давлениях ниже 0,2 торр с переходом к степенной при более высоких давлениях. Полученные данные можно применить в процессе напыления СН-пленкой оптических линз в использованной установке или аналогичной ей.

9. Список использованной литературы

1. Князев Б.А., Низкотемпературная плазма и газовый разряд, Новосибирск, 2003, 298 стр. - 170 с.
2. Кудрявцев А.А., Смирнов А.С., Цендин Л.Д., Физика тлеющего разряда, изд. "Лань", 2010, 501 стр. - 10 с.
3. https://www.astena.ru/teh_2.html, формуляр В7-21.