Научная конференция «Лабиринты науки»

Секция – физика и компьютерные технологии

Электропроводность газов при низком давлении

Исследовательская работа

Выполнена ученицей 11
информационно-технологического класса
ГОУ ЯО Средней школы
«Провинциальный колледж»
Билан Екатериной
Александровной

Научный руководитель – учитель
физики
ГОУ ЯО Средняя школа
«Провинциальный колледж»
Лаптев Александр Николаевич

Ярославль, 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ **3**

ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ **4**

1.1. Газовый разряд 4

1.2. Тлеющий разряд 4

1.3. Прохождение электрического тока через газы 4

1.4. Различия излучений разных газов 5

1.4.1. Излучение. Линейчатые спектры *5*

1.4.2. Полосатые спектры *5*

1.4.3. Спектр излучения *6*

1.4.4. Линейчатые спектры разных газов *6*

1.5. Яркость свечения газа при электропроводности 6

1.6. Напряжение зажигания и напряжение горения разряда 6

1.7. Использование закона Ома для определения сопротивления газа 7

ГЛАВА 2. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ **8**

2.1. Опыт №1 «Излучение воздуха при фиксированном низком давлении» 8

2.2. Опыт №2 «Излучение гелия при фиксированном низком давлении» 8

2.3. Опыт №3 «Излучение аргона при фиксированном низком давлении» 8

2.4. Опыт №4 «Излучение азота при фиксированном низком давлении» 8

2.5. Опыт №5 «Излучение кислорода при фиксированном низком давлении» 8

2.6. Вольтамперная характеристика газового разряда 9

2.7. Выводы 9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ **10**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ **11**

ПРИЛОЖЕНИЕ №1 «СПЕКТРЫ ГАЗОВ» **12**

ПРИЛОЖЕНИЕ №2 «ЭНЕРГИЯ ИОНИЗАЦИИ И ЭНЕРГИЯ ДИССОЦИАЦИИ» **13**

ПРИЛОЖЕНИЕ №3 «ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД И ЕГО СПЕКТР, ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ» **14**

ПРИЛОЖЕНИЕ №4 «ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОВОГО РАЗРЯДА» **17**

ПРИЛОЖЕНИЕ №5 «ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОВ» **18**

Введение

Научная актуальность: Практикоориентированность физики – одно из важнейших направлений современного ФГОС, поэтому очень важно показать, что в школьных условиях можно не просто показывать опыты и демонстрации по физике, но и получать вполне научные практические результаты.

Цель: изучить электропроводность газов при низком давлении.

Задачи:

1. Изучить электрический разряд и механизм электропроводности газов, их спектры, влияние уменьшения давления на электропроводность газов, причину разной яркости свечения и понятие напряжения зажигания.
2. Провести эксперимент с низким давлением и определить яркость свечения (осветительную способность), напряжение, при котором при котором происходит зажигание вокруг электродов, напряжение, при котором начинается разряд, силу тока.
3. Проанализировать зависимость электропроводности и излучения газа от сорта газа.

Гипотеза исследования: инертные газы будут давать большую силу тока и давать более яркое излучение.

Методы исследования:

Анализ (изучение процесса электропроводности газов);

Эксперимент (для изучения газов при низком давлении);

Анализ эмпирический (изучение данных, которые были получены в результате опытов);

Сравнение (полученных данных после проведения эксперимента);

Обобщение (для того, чтобы сделать вывод).

Практическая значимость работы: Полученные данные и выводы можно использовать для дальнейших исследований явления газового разряда. Также полученные данные можно использовать для применения на практике, например, зная электропроводность отдельно взятого газа.

Глава 1. Классификация и свойства газовых разрядов

1.1. Газовый разряд

Газовый разряд – совокупность процессов, возникающих при протекании тока через газ.

Обычно газовые разряды подразделяют на два класса: самостоятельные и несамостоятельные. Самостоятельный разряд – это разряд, который может поддерживать своё горение без вмешательства извне. В несамостоятельных разрядах для создания достаточного количества электронов и ионов используют внешнее воздействие. Если эта внешняя причина исчезает, то разряд прекращается. В нашей работе мы будем рассматривать самостоятельные разряды.[1]

1.2. Тлеющий разряд

Тлеющий разряд – это самостоятельный разряд, который возникает при низком давлении, отличающийся неравномерным распределением потенциала, с падением его вблизи катода. Тлеющий разряд образуется при протекании постоянного тока через трубку с холодными электродами, в которой находится газ.[2]

1.3. Прохождение электрического тока через газы

В обычных условиях газы являются диэлектриками. Чтобы газ начал проводить электрический ток, его нужно ионизировать. Тогда молекулы газа распадутся на электроны и ионы, которые под влиянием внешнего поля будут двигаться в противоположных направлениях. Обратный процессу ионизации – процесс рекомбинации. Процесс, при котором электрон и ион вновь образуют нейтральную молекулу. В связи с тем, что ионизация атомов

[1]Пенинг Ф. Электрические разряды в газах. М., 1960. С.14.

[2] Смирнов А. С. Прикладная физика. Физика газового разряда. СПБ: Издательство СПбГТУ, 1997. С. 4.

и рекомбинация ионов и электронов проходит одновременно, всегда наступает такое состояние, когда оба процесса уравновешиваются. В этот момент уже можно говорить о степени ионизации газа. Прохождение тока в газе сопровождается выделение тепла, связанным с передачей энергии от электронов и ионов атомам газа упругих соударениях, а также стенкам и электродам газового промежутка. Некоторая часть энергии покидает объём в виде излучения, которое возникает при нейтрализации ионов и возвращение возбуждённых атомов в нормальное состояние.[3]

1.4. Различия излучений разных газов

1.4.1. Излучение. Линейчатые спектры

Вид излучения, применимый к нашему разряду, является электролюминесценция. Электролюминесценция – это свечение в газовом разряде, которое сопровождается сообщением большой кинетической энергии.

Линейчатые спектры – это спектр, который представляет собой последовательность линий различной яркости, которые при этом будут разделены тёмными полосками. В нашей работе мы будем получать линейчатые спектры, так как именно такие спектры дают газы в атомарном (не молекулярном) состоянии.[4]

1.4.2. Полосатые спектры

В таких газах, как азот и кислород мы получим не линейчатый спектр, а полосатый. Особенность этого спектра заключается в том, что в нём мы видим цветные линии, разделённые тёмными промежутками.[5]

---

[3] Кучеренко Е. Т. Электрический ток в газах. Киев: Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 1977. С. 12.

[4] Мякишев Г. Я., Синяков А. З. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. Углублённый уровень: учебник. М.: Дрофа, 2018. 479 с.

[5] Там же. С. 246.

1.4.3. Спектр излучения

Есть два вида линейчатых спектров: спектр излучения и спектр поглощения. В нашей работе мы будем использовать спектр излучения, так как газовый разряд будет именно испускать свет.

1.4.4. Линейчатые спектры разных газов

Спектры гелия, аргона, кислорода и азота можно посмотреть в Приложении №1 на рисунках №1, №2, №3, №4.[6]

1.5. Яркость свечения газа при электропроводности

Яркость свечения газа напрямую зависит от энергии, которую нужно затратить на его ионизацию. Энергия ионизации — это количество энергии, которую нужно затратить на то, чтобы оторвать электрон от атома или молекулы.[7] Но двухатомны газам ещё нужна энергия для разделения молекулы на атомы – энергия диссоциации.[8] В сумме на ионизацию двухатомных газов нужно затратить больше энергии, чем на инертные, именно поэтому гелий и аргон ярче светятся чем азот и кислород (см. Приложение №2 рис. 1 и рис. 2).[9][10]

1.6. Напряжение зажигания и напряжение горения разряда

Напряжение, при котором начинается процесс газового разряда называется напряжением зажигания. Это минимальное напряжение, при

---

[6]Спектрограмма ионов: [Электронный ресурс]// grotrian.nsu. URL: https://yandex.ru/search/?text=gtotrian.nsu.ru%2Fru%2Fspectrum%2F&lr=16.

[7]Энергия ионизации: [Электронные ресурс]//Большая Российская Энциклопедия. URL: https://bigenc.ru/c/energiia-ionizatsii-0769c7.

[8]Диссоциация (химия): [Электронный ресурс]//Академик. Википедия. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1483348.

[9]Глава 4. Магнитные и энергетические характеристики атома: [Электронный ресурс]//Основы строения вещества. Методическое пособие. URL: http://www.alhimik.ru/stroenie/gl_4.html.

[10]Энергетические состояния молекул азота и кислорода, межатомные расстояния, энергии диссоциации, возбуждения и потенциалы ионизации: [Электронный ресурс]//Справочник химика 21. URL: https://www.chem21.info/tabs/251611/.

котором в трубке возникает разряд. После возникновения разряда в трубке, чтобы поддерживать его горение, нужно подавать на электроды напряжение меньшее напряжения первоначального зажигания. Это напряжение называют напряжением горения разряда.[11]

1.7. Использование закона Ома для определения сопротивления газа

С помощью формулы закона Ома для участка цепи, исходящей из этого закона, мы сможем высчитать сопротивление газа и охарактеризовать его электрические свойства. Ниже представлена формула, по которым будут происходить дальнейшие расчёты.[12]

$$R = \frac{U}{I}$$

[11] Фугенфиров М.И. Что нужно знать о газоразрядных лампах. М.: «Энергия», 1968. С 6.

[12] Мякишев Г. Я., Синяков А. З. Физика. Электродинамика. 10-11 кл. Углублённый уровень: учебник. М.: Дрофа, 2018. С 169.

Глава 2. Проведение опытов

Оборудование: вакуумная трубка с двумя электродами ВТ-11 М (учебная), генератор высокого напряжения (учебный) напряжением до 30 кВ, мультиметр MASTECH MY64, тройники, зажимы и резиновые трубки для соединений, насос ЗНВР-1ДУХЛ 4.2, создающий разрежение до 1 кПа, сосуды с различными газами, датчик абсолютного давления из школьного набора цифровая ЕГЭ-лаборатория, цифровой люксметр РМ6612, штативы для крепления трубки.

2.1. Опыт №1 «Излучение воздуха при фиксированном низком давлении»

Результаты опыта представлены в Приложении №3 рисунок 1 и в Приложении №4 в таблице №1.

2.2. Опыт №2 «Излучение гелия при фиксированном низком давлении»

Результаты опыта представлены в Приложении №3 на рисунках 2 и 3 и в Приложении №4 в таблице №2.

2.3. Опыт №3 «Излучение аргона при фиксированном низком давлении»

Результаты опыта представлены в Приложении №3 на рисунках 4 и 5 и в Приложении №4 в таблице №3.

2.4. Опыт №4 «Излучение азота при фиксированном низком давлении»

Результаты опыта представлены в Приложении №3 на рисунках 6 и 7 и в Приложении №4 в таблице №4.

2.5. Опыт №5 «Излучение кислорода при фиксированном низком давлении»

Результаты опыта представлены в Приложении №3 на рисунках 8 и 9 и в Приложении №4 в таблице №5.

2.6. Вольт-амперная характеристика газового разряда

Результаты опытов представлены в Приложении №5 в таблицах №1, №2, №3.

2.7. Выводы

На основании результатов экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Инертные газы, как и ожидалось, дают достаточно яркое свечение, соответствующее ожиданиям при данном давлении в трубке.

2. Спектр газов был получен не очень четко, но проявившиеся линии соответствуют линейчатым спектрам этих газов, известным из теории.

3. Различная длина столба анодного свечения говорит о различной степени ионизации газов. Однако однозначного вывода из наших экспериментов об этом сделать не удалось.

4. При большем напряжении между электродами сила тока увеличивалась.

5. Инертные газы обладают меньшим сопротивлением.

6. С уменьшением давления сила тока увеличивается, сопротивление газа уменьшается.

7. Напряжение зажигания разряда в трубке аргона и гелия меньше, чем у азота и кислорода.

В ходе эксперимента была предпринята попытка сравнивать сходство и различия газов одного и разных типов. Именно по этой причине мы и брали для исследования схожие пары разных газов: азот и кислород – двухатомные газы; гелий и аргон – одноатомные инертные газы.

Заключение

В ходе проведённых экспериментов было выяснено, что инертные газы, такие как гелий и аргон, в отличие от кислорода и азота обладают большей электропроводностью и осветительной способностью, так как сопротивление инертных газов намного меньше, чем двухатомных газов. Цвет излучения соответствует спектру газа.

Для возникновения электрического разряда в гелии и аргоне к электродам прикладывалось меньшее напряжение, чем для возникновения его в азоте и кислороде, но при этом у первой группы газов показатель силы тока был выше, чем у второй.

Таким образом, при одинаковых условиях инертные газы в роли проводника электрического тока и осветительного прибора пригодны больше, чем двухатомные газы азот и кислород.

Список использованных источников и литературы

1. Глава 4. Магнитные и энергетические характеристики атома: [Электронный ресурс]//Основы строения вещества. Методическое пособие. URL: http://www.alhimik.ru/stroenie/gl_4.html. (Дата обращения: 04.11.23).

2. Диссоциация (химия): [Электронный ресурс]//Академик. Википедия. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1483348. (Дата обращения: 01.11.23).

3. Кучеренко Е. Т. Электрический ток в газах. Киев: Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 1977. 83 с.

4. Мякишев Г. Я., Синяков А. З. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. Углублённый уровень: учебник. М.: Дрофа, 2018. 479 с.

5. Мякишев Г. Я., Синяков А. З. Физика. Электродинамика. 10-11 кл. Углублённый уровень: учебник. М.: Дрофа, 2018. 477 с.

6. Пенинг Ф. Электрические разряды в газах/Пер. с англ. Брагинского С.И., Сагдеева Р.З., Трофимова А.В. М.: издательство ИНОСТРОННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, 1960, 97 с.

7. Смирнов А. С. Прикладная физика. Физика газового разряда. СПБ: Издательство СПбГТУ, 1997, 68 с.

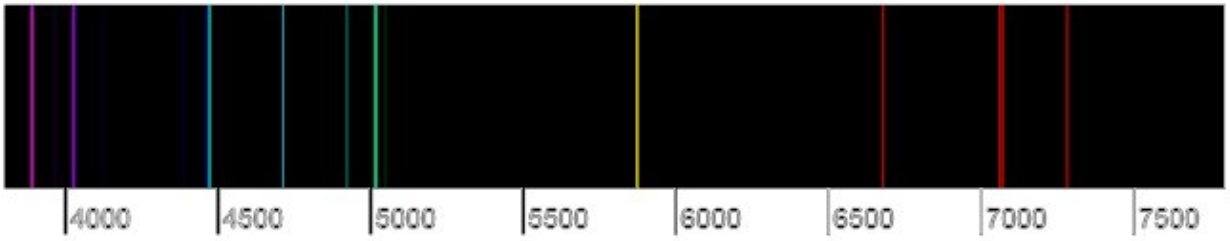
8. Спектрограмма ионов: [Электронный ресурс]// grotrian.nsu. URL: https://yandex.ru/search/?text=gtotrian.nsu.ru%2Fru%2Fspectrum%2F&lr=16. (Дата обращения: 31.03.23)

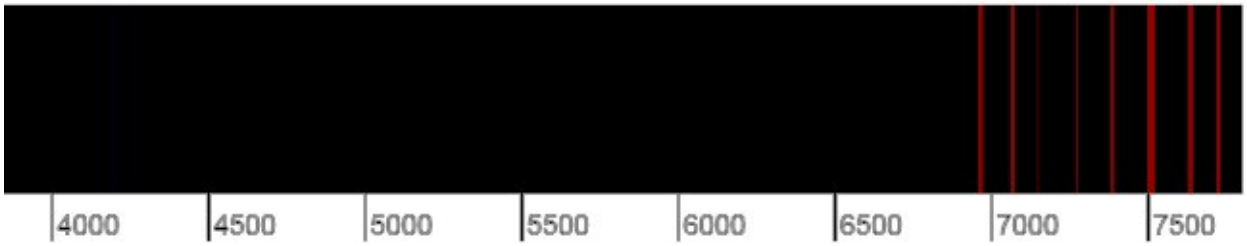
9. Фугенфиров М.И. Что нужно знать о газоразрядных лампах. М.: «Энергия», 1968, 120 с.

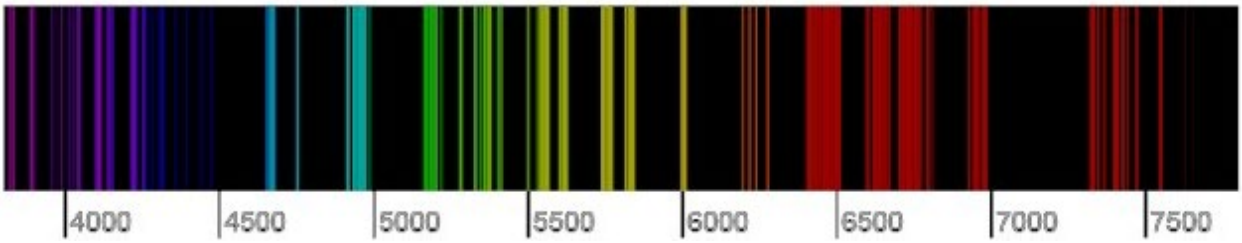
10. Энергетические состояния молекул азота и кислорода, межатомные расстояния, энергии диссоциации, возбуждения и потенциалы ионизации: [Электронный ресурс]//Справочник химика 21. URL: https://www.chem21.info/tabs/251611/. (Дата обращения: 02.11.23).

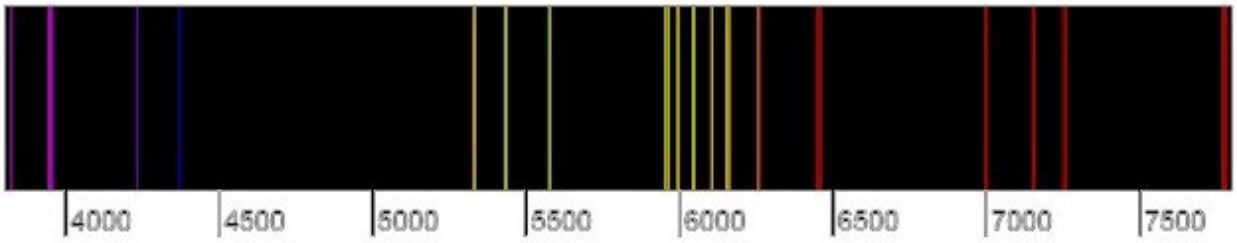
11. Энергия ионизации: [Электронные ресурс]//Большая Российская Энциклопедия. URL: https://bigenc.ru/c/energiia-ionizatsii-0769c7. (Дата обращения: 05.11.23).

Приложение №1 «Спектры газов»

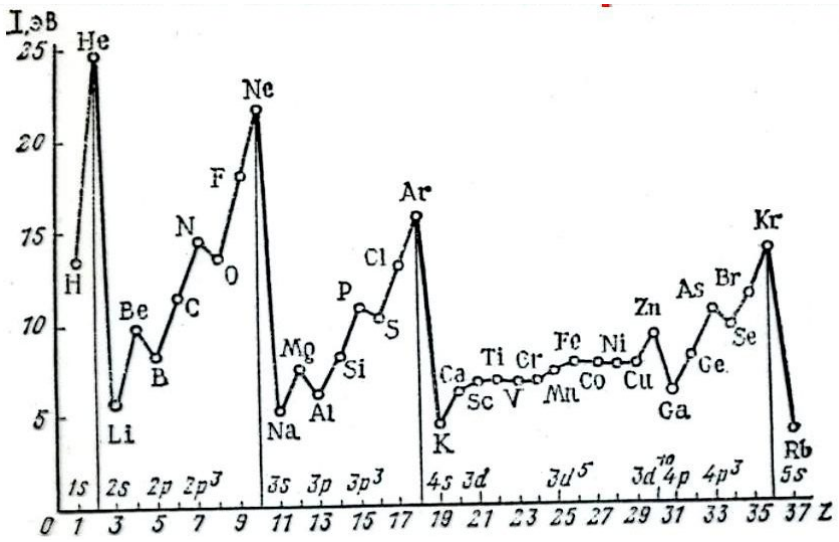






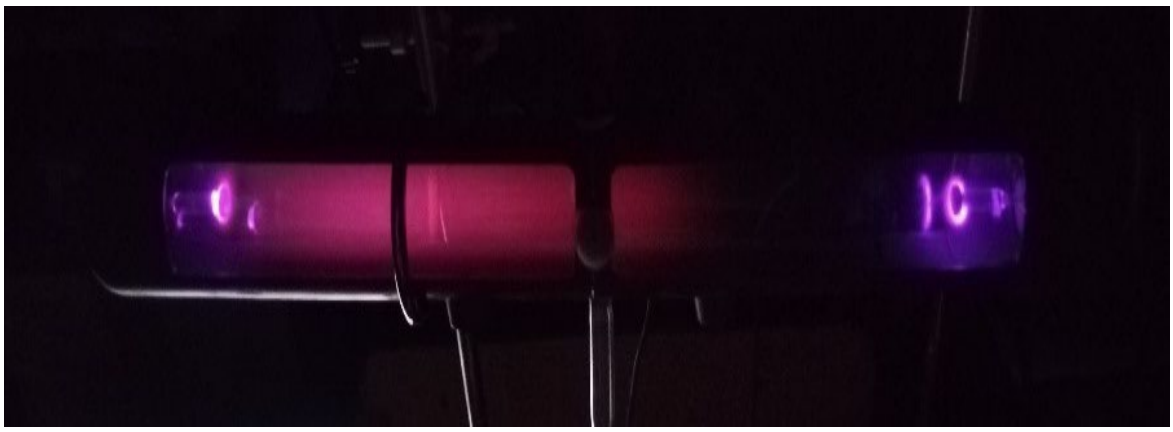


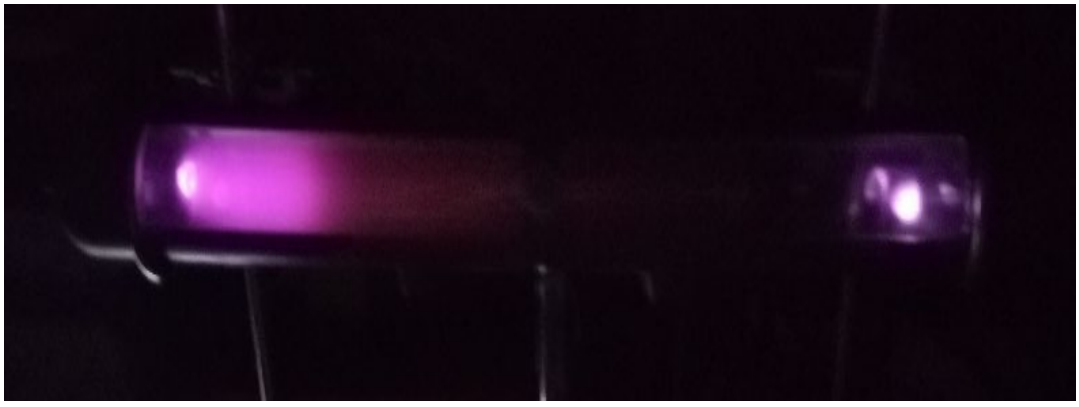
Приложение №2 «Энергия ионизации и энергия диссоциации»

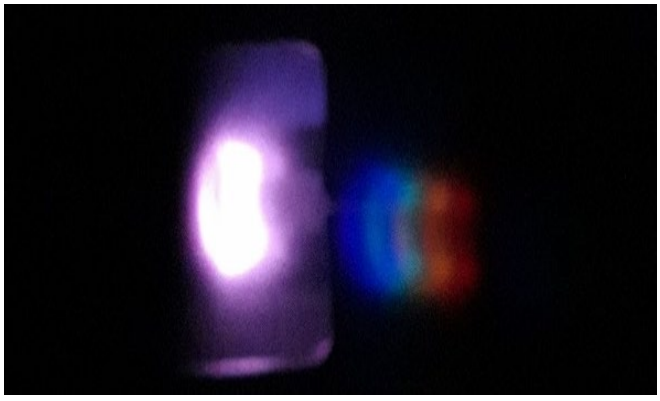


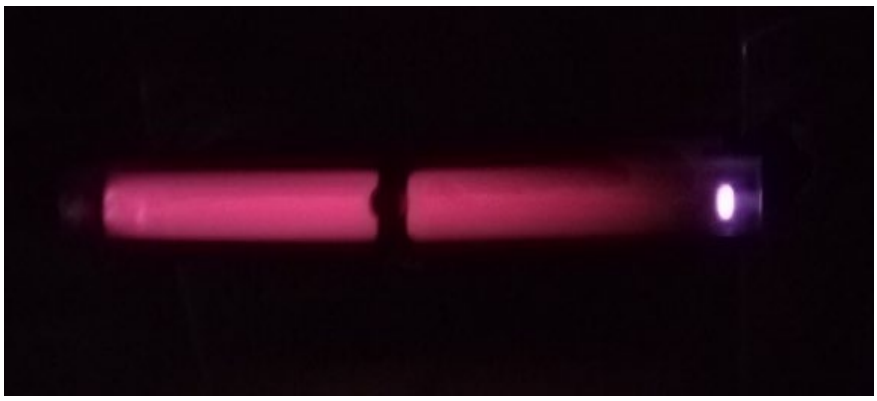
Частица	Состояние	Межатомное расстояние, Å	Энергия диссоциации, эВ	Потенциал ионизации и появления, В	Энергия возбуждения, эВ
O_2	$^3\Sigma_g^-$	1,207	5,08	—	—
O_2^*	$^1\Delta_g$	—	—	—	~1
O_2^*	$^1\Sigma_g^+$	—	—	—	~1,5
O_2^*	$^3\Sigma_u^+$	~1,5	—	—	~4,3
O_2^*	$^3\Sigma_u^-$	~1,7	—	—	~6
O_2^+	$^2\Pi_g$	1,123	6,48	12,5	—
O_2^-	—	—	—	<3	—
N_2	$^1\Sigma_g^+$	1,094	9,76	—	—
N_2^*	$^3\Sigma_u^+$	—	—	—	6
N_2^*	$^1\Pi_u$	—	—	—	8,5
N_2^*	$^3\Pi_u$	—	—	—	11
N_2^*	$^3\Sigma_u$	—	—	—	13
N_2^+	$^2\Sigma_g^+$	1,116	6,34	15,6	3,42
N_2^{+*}	$^2\Sigma_u^+$	—	—	19	—
N_2^{+*}	$^2\Pi_u$	—	—	—	1,2

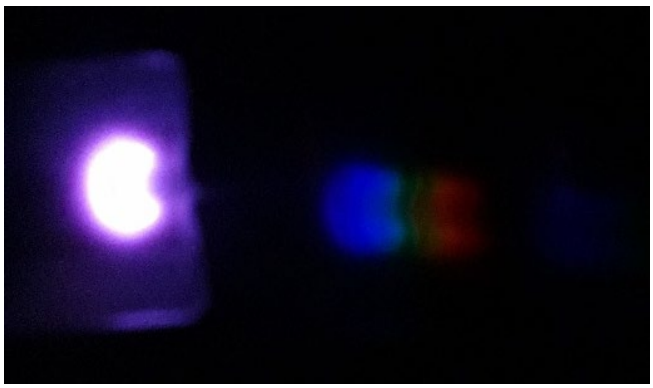
Приложение №3 «Газовый разряд и его спектр, полученные в результате экспериментов»







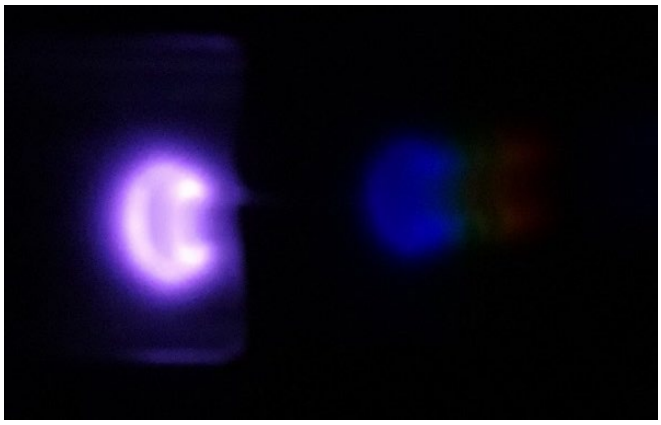












Приложение №4 «Характеристика газового разряда»

Таблица №1 «Результаты опыта №1»

U, кВ	Цвет излучения	Осветительная способность	Свечение у катода	$L_{светящейся\ линии}$, см	Светимость, люкс
1,8	Розовый, жёлтый, зелёный	Высокая	Не яркое	19	2,2

Таблица №2 «Результаты опыта №2»

U, кВ	Цвет излучения	Осветительная способность	Свечение у катода	$L_{светящейся\ линии}$, см	Светимость, люкс
1,6	Лилово-синий, красный	Высокая	Яркое	15	0,22-0,4

Таблица №3 «Результату опыта №3»

U, кВ	Цвет излучения	Осветительная способность	Свечение у катода	$L_{светящейся\ линии}$, см	Светимость, люкс
1,4	Розово-красный	Высокая	Очень яркое	26	0,9-1

Таблица №4 «Результаты опыта №4»

U, кВ	Цвет излучения	Осветительная способность	Свечение у катода	$L_{светящейся\ линии}$, см	Светимость, люкс
3,7	Лилово-синий, красный	Низкая	Не яркое	23	0,01

Таблица №5 «Результаты опыта №5»

U, кВ	Цвет излучения	Осветительная способность	Свечение у катода	$L_{светящейся\ линии}$, см	Светимость, люкс
1,7	Жёлто-фиолетовый	Средняя	Не яркое	15	0,08-0,1

Приложение №5 «Вольт-амперная характеристика газов»

Таблица №1 «Вольт-амперная характеристика газов при давлении 6 кПа»

Газ	ЭДС, кВ	Падение напряжения, кВ	Сила тока, мА	Сопротивление, Ом
Гелий	9	6,66	0,294	22 653 061
Аргон	18	11,9	0,003	3 966 666 667
Азот	-	-	-	-
Кислород	-	-	-	-
Воздух	-	-	-	-

Таблица №2 «Вольт-амперная характеристика газов при давлении 4 кПа»

Газ	ЭДС, кВ	Падение напряжения, кВ	Сила тока, мА	Сопротивление, Ом
Гелий	7	4,4	0,367	11 989 101
Аргон	13,5	9,5-9,6	0,35	27 142 857
Азот	16,1	12,6	0,36	35 000 000
Кислород	19,5	17	0,036	472 222 222
Воздух	18	16,5	0,15	110 000 000

Таблица №3 «Вольт-амперная характеристика газов при давлении 2 кПа»

Газ	ЭДС, кВ	Падение напряжения, кВ	Сила тока, мА	Сопротивление, Ом
Гелий	6	2,46	0,65	3 784 615
Аргон	11,5	6,5	1,35	4 814 815
Азот	10,5	7,45	0,382	19 502 618
Кислород	7	6,4	0,088	72 727 273

Воздух	10	6,9	0,349	19 770 774