

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

кафедра фізичної електроніки

До захисту допущено:

«На правах рукопису»

Завідувач кафедри _____ Анатолій ВЕКЛИЧ

«_19_» червня 2023 р.

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

«ОПТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВТОРИННОГО РОЗРЯДУ, ЩО ПІДТРИМУЄТЬСЯ ОБЕРТОВО-КОВЗНИМ РОЗРЯДОМ В СИСТЕМІ РЕФОРМУВАННЯ ВУГЛЕВОДНІВ »

Виконала:

студентка 4-го курсу

денної форми навчання

спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

ОП «Прикладна фізика, наноелектроніка та комп'ютерні технології»

Прокофієва Злата Олегівна _____

Науковий керівник:

д.ф.-м.н., проф. Черняк Валерій Якович _____

Рецензент:

кан.ф.-м.н., н.с. Войтенко Леонід Михайлович _____

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____

Робота допущена до захисту в ЕК рішенням кафедри фізичної електроніки
від «15» червня 2023 р., протокол № 32.

Завідувач кафедри фізичної електроніки,

доктор фіз.-мат. наук, професор

Веклич Анатолій Миколайович _____

РЕФЕРАТ

Дипломна робота вміщує 27 стор., 25 рис.

ПЛАЗМА, РОЗРЯД, СПЕКТРОСКОПІЯ, ТЕМПЕРАТУРА.

Робота присвячена дослідженню плазми вторинного розряду, підтримуваного обертово-ковзним розрядом. Позитивною особливістю цього розряду є здатність генерувати плазму значно більшого об'єму порівняно з відомими самостійними розрядами при високих тисках. Було оптично досліджено плазму вторинного розряду, виявлено фізичні властивості плазми.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ГОЛОВНА ЧАСТИНА	6
1.ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	6
1.1 Газовий розряд. Самостійний та несамостійний розряди.....	6
1.2 Методи дослідження.....	8
2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	14
2.1. Робота з установкою	14
2.2. Обробка отриманих спектрів за допомогою програми SPECAR.....	15
2.3 Результати.....	21
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	27

ВСТУП

Дослідження плазми вторинного розряду, підтримуваного обертово-ковзним розрядом, спрямоване на вивчення особливостей цього типу розряду та його потенційного застосування. Цей тип розряду відрізняється від інших несамостійних розрядів тим, що здатний генерувати плазму значно більшого об'єму при високих тисках.

Однією з позитивних особливостей вторинного розряду є його здатність генерувати плазму великого об'єму. Це означає, що в порівнянні з іншими типами розрядів, вторинний розряд може створити плазму з більшим обсягом простору. Це може мати важливі наслідки для дослідження та використання плазми у різних галузях, включаючи електроніку, оптику, матеріалознавство та інші.

Одна з можливих причин такої здатності вторинного розряду до генерації плазми великого об'єму полягає у використанні обертово-ковзного розряду. Обертний-ковзний розряд відрізняється тим, що має специфічну геометрію, коли плазма утворюється в околі рухомих областей розряду, що рухаються по контуру електродів. Це сприяє більш ефективному використанню енергії та іонізації газу, що призводить до більшого об'єму плазми.

Дослідження плазми вторинного розряду, підтримуваного обертово-ковзним розрядом, може мати кілька цілей: вивчення властивостей плазми, це дозволяє краще розуміти динаміку плазми та її взаємодію з навколишнім середовищем;

оптимізація умов генерації плазми (дослідження можуть допомогти встановити оптимальні параметри розряду, що дозволяють отримати максимальний об'єм плазми при високих тисках). Це має важливе значення для розвитку нових технологій, які використовують плазму;

дослідження можливих застосувань: результати досліджень можуть мати вплив на різні галузі, де плазма використовується. Наприклад, у електроніці вторинний розряд може знайти застосування у виробництві високочастотних пристроїв, а в матеріалознавстві - у процесах нанесення плівок або модифікації матеріалів.

Метою цієї роботи , було проведення дослідження параметрів плазми вторинного розряду , яке дозволяє отримати детальні дані про цей тип плазми. Відповідні результати можуть бути корисними для покращення ефективності процесів реформування вуглеводнів та встановлення оптимальних умов для використання плазми в практичних застосуваннях.

ГОЛОВНА ЧАСТИНА

1.ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Газовий розряд. Самостійний та несамостійний розряди.

Електричні розряди в газах і газові розряди виникають, коли в газовому середовищі протікає електричний струм, що призводить до зміни стану газу. Цей процес вимагає наявності зовнішнього електричного поля та провідності середовища. Гази стають провідними, коли їх іонізують у електричному полі або під дією зовнішнього джерела іонізації.

Класифікація процесів взаємодії електричних і електромагнітних полів з іонізованими газами зазвичай ґрунтується на двох основних ознаках. Перша ознака відноситься до типу стану іонізованого газу, на який впливає зовнішнє поле, а друга ознака відноситься до діапазону частот цього поля. Залежно від типу стану іонізованого газу виділяють такі категорії: польовий супровід, рівноважна плазма та нерівноважна плазма.

Давайте розглянемо, що відбувається в газовому проміжку, коли його підключають до джерела живлення. Поступово збільшуючи напругу на електродах, спочатку через газ протікає дуже слабкий струм. Цей початковий струм створюється носіями заряду, які утворюються в пристрої за рахунок космічного випромінювання, фотоемісії з поверхні електродів або ізоляторів, або за допомогою спеціально розташованого джерела радіоактивного випромінювання. В області початкового струму просторовий заряд дуже малий, і розподіл заряду в пристрої відповідає вакуумному діоду.

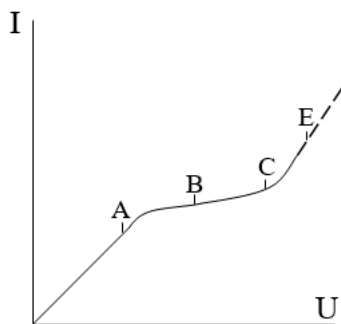


Рис.1.1.1 Вольт-амперна характеристика несамостійного розряду.

Для того, щоб в газу відбувався електричний розряд, необхідно, щоб його іонізація була підтримувана зовнішнім іонізатором. Тому цей розряд називають несамостійним. Закони, що визначають проходження електричного струму в газах, є набагато складнішими, ніж у металах або електролітах. Закон Ома застосовується в газах лише при дуже невеликій різниці потенціалів між електродами, тому їх електричні характеристики описуються вольт-амперними характеристиками.

Несамостійні розряди з малими значеннями різниці потенціалів між анодом і катодом у газі називають тихими розрядами. Коли ми поступово збільшуємо потенціал, спочатку струм зростає пропорційно напрузі (ділянка OA на малюнку). Але потім збільшення струму сповільнюється (ділянка AB), і це стається через генерований заряд іонізатора, який відтягує частину заряду від електродів. Заряд, який одночасно виходить з електродів, зменшує приріст струму зі зростанням напруги (ділянка BC). При подальшому збільшенні напруги струм знову починає зростати, і тихий розряд переходить в несамостійний лавинний розряд (ділянка CE). Сила струму визначається як впливом іонізатора, так і газовим посиленням (збільшенням заряду в газі).

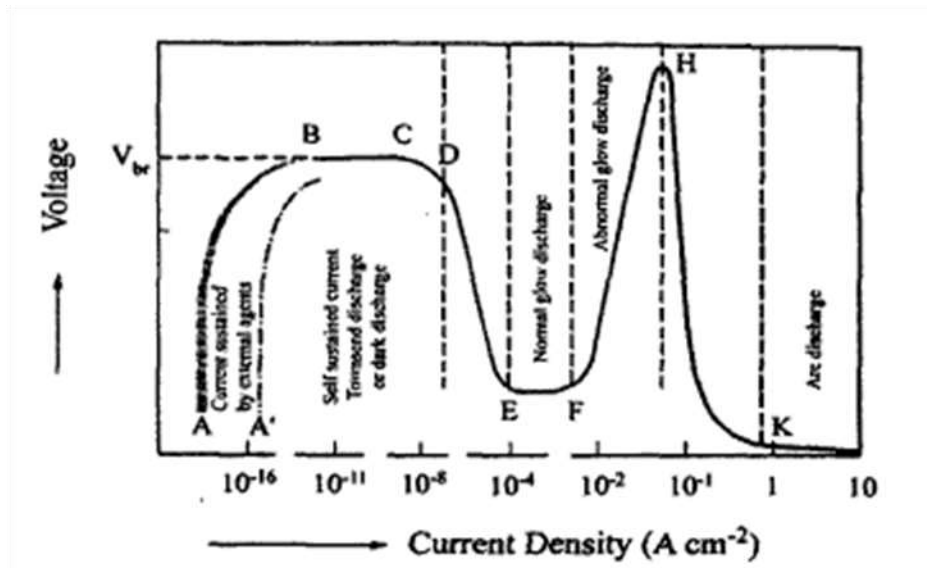


Рис.1.1.2 Вольт-амперна характеристика розряду [1]

1.2 Методи дослідження

Дане дослідження проводилось і раніше чеським університетом, де метою розробки полягало включення ковзаючої дуги з обертовим електродом в існуючій системі відпрацьованих газів з мінімальними витратами і високою ефективністю санації.

Дослідження використання [2] ковзної дуги для обробки газу привело до розробки різних конструкцій розряду. Один з підходів полягає в руху самого електрода, що змінює ефективну відстань між електродами та направляє потік газу в область плазми за допомогою пропелерної форми електрода. Цей підхід було використано для створення джерела плазми з обертовою ковзаючою дугою, що підходить для масштабної обробки газів або порошоків.

У статті представлені результати досліджень дезактивації відпрацьованих газів, проведених на модельних видах летких органічних сполук, разом з результатами діагностики викидів.

Для експериментів використовувався ковзно-дуговий плазмовий пристрій з обертовим електродом (RGA). Очисна камера, що складалася з замкнутої трубної системи, була призначена для контрольованих експериментів з плазмовою обробкою відпрацьованого повітря. Експериментальна установка включала високовольтний електрод у формі гвинта, заземлений електрод у формі металевої труби діаметром 20 см та джерело живлення високої напруги. Високовольтний електрод обертався зі швидкістю 700-1400 обертів на хвилину, створюючи об'ємний потік відпрацьованого газу на рівні близько 300 м³/год. Експериментальна установка та очисну камеру можна побачити на відповідних малюнках.

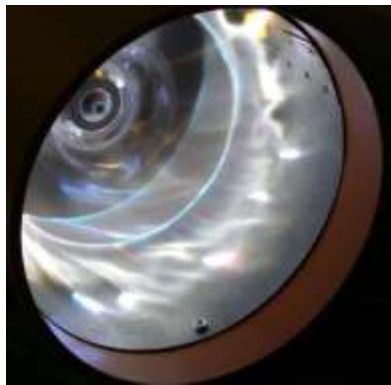


Рис.1.2.1 RGA в роботі



Рис.1.2.2 проп. система

Для діагностики використовувалися дві групи методик. Перша група - плазмова діагностика, включала систему газової хроматографії та газоаналізатор. Друга група - аналіз ковзаючих дугових шасінок, проводився за допомогою швидкісної камери Photron FASTCAM SA-X2 з відповідним об'єктивом. Процес плазмової обробки контролювався оптичною емісійною спектроскопією за допомогою портативного спектрометра Avantes AvaSpec-ULS3648TEC. Електричні параметри реєструвалися цифровим запам'ятовуючим осцилографом LeCroy WaveRunner 6100A з високовольтним зондом Tektronix P6015A та датчиком струму Pearson 2577.

Для моделювання відпрацьованого повітря в контрольованому середовищі вводили летючі органічні сполуки (YOCs), такі як толуол або ацетон, в замкнутий контур камери, а плазму обробляли короткими експозиціями плазми. Аналіз залишкового забруднення проводили за допомогою фотоакустичного газового монітора Innova 1412i та газового хроматографа Agilent 7890B, з'єднаного зі спеціальним детектором і мас-спектрометром Agilent 5977A.



Рис.1.2.3 очисна камера

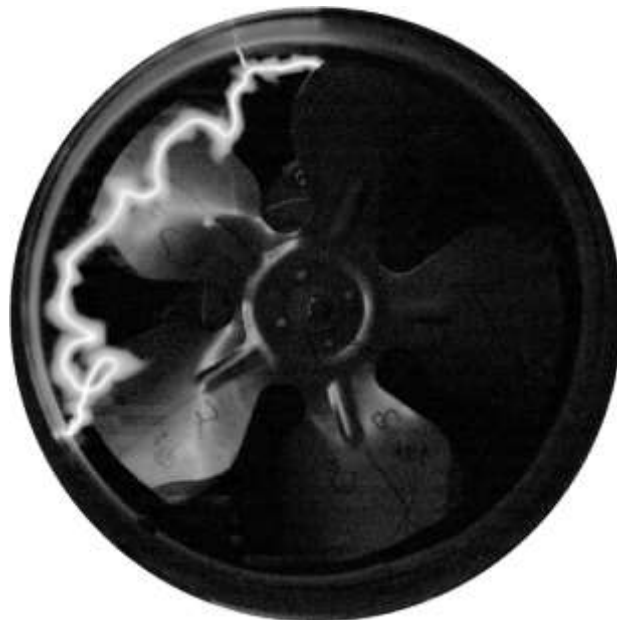


Рис.1.2.4 вигляд дугового розряду

Метою розробки було включення ковзаючої дуги з обертовим електродом в існуючі системи відпрацьованих газів з мінімальними витратами і високою ефективністю санації. Конструкція осьового вентилятора як саморухового електрода була успішною, забезпечуючи достатню пропускну здатність газу. Використовувалася замкнута система для перевірки ефективності очищення газу. Результати показали зменшення вмісту забруднювача під впливом плазмової обробки. Довжина плазмового каналу впливала на тривалість

ефективної обробки газу. Діагностика плазми дозволила адаптувати розряд до оптимальних умов та оптимізувати конструкцію електродів. Блоки RGA виявилися деградованими після тривалих стрес-тестів у корозійному середовищі, що показує їх потенціал для промислового застосування.

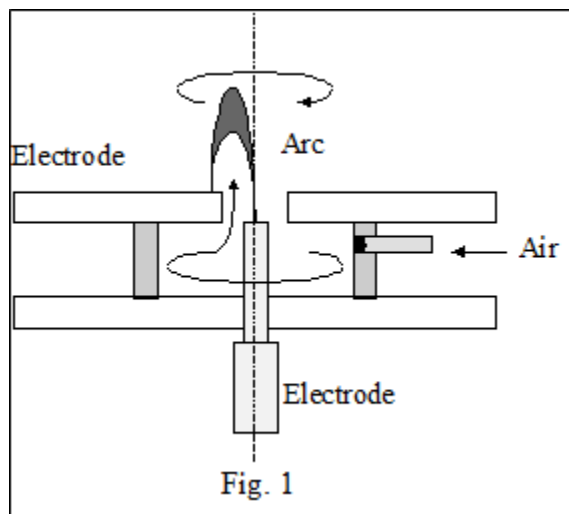


Рис.1.2.5 Схема обертovo-ковзного розряду[3].



Рис.1.2.6 Фото з експерименту, де наглядно можна побачити обертово-ковзний розряд.



Рис.1.2.7 Фото з експерименту оптичного дослідження плазми , який підтримується обертовим ковзним розрядом

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Робота з установкою

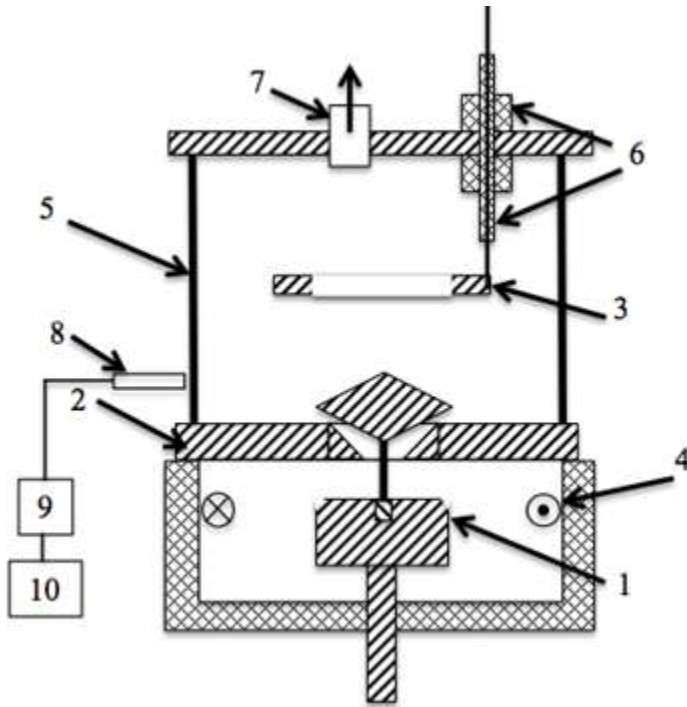


Рис.2.1.1 Схема і фото системи з обертовим ковзаючим розрядом з вторинним розрядом. 1 – високовольтний первинний розрядний електрод; 2 – заземлювач; 3 – високовольтний електрод вторинного розряду; 4 – газовий вхід; 5 – кварцовий циліндр; 6 – діелектрик; 7 – вихід газу; 8 – оптоволокно; 9 – спектрометр; 10 - ПК

В даній роботі було проведено оптичне дослідження плазми вторинного розряду, що підтримується обертово-ковзним розрядом.

Для цього було використано установку, за допомогою якої проводилось дослідження.

У високовольтний електрод первинного розряду погружено газ (в нашому випадку це були N_2 , OH , O), виставлялась напруга на первинний розряд,

після чого електрод проходив через земляний електрод і входив у кварцовий циліндр з атмосферним тиском , після чого газ проходив через електрод вторинного розряду на якому теж подавалася напруга , але вже значно більша і газ виходить з кварцового циліндру. Таким чином здійснювалася обробка спектрів.

2.2. Обробка отриманих спектрів за допомогою програми SPEC AIR

У ході роботи з установкою було виміряно спектри , які в подальшому оброблялись за допомогою програми SPEC AIR [4] , за допомогою цієї програми можна було визначити параметри отриманної плазми :

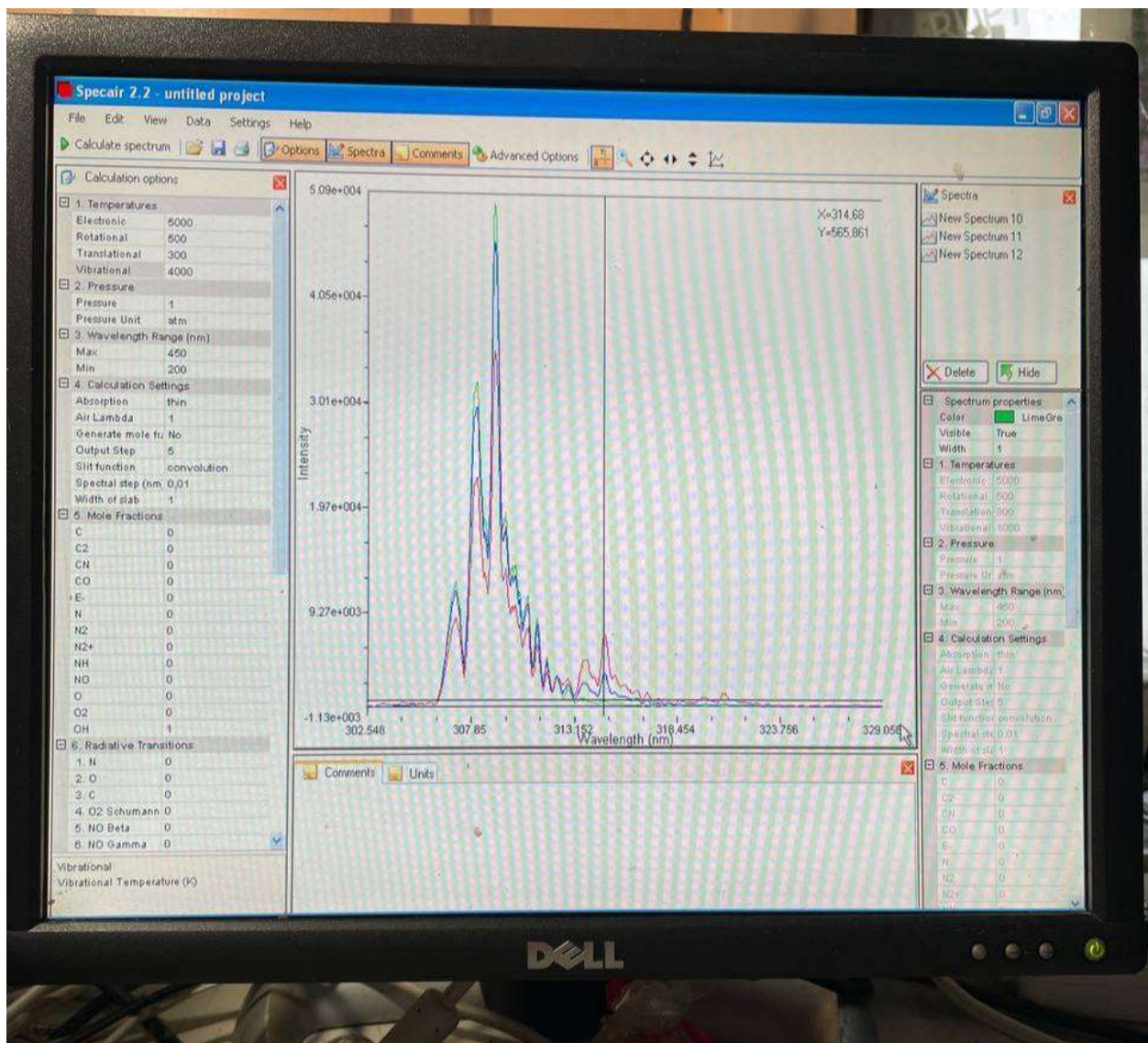


Рис.2.2.1 Обробка спектрів за програмою SPECAR

На даній фотографії можна побачити, як відбувалось визначення параметрів плазми в різних проміжках довжин хвиль для молекул гідроксилу ОН.

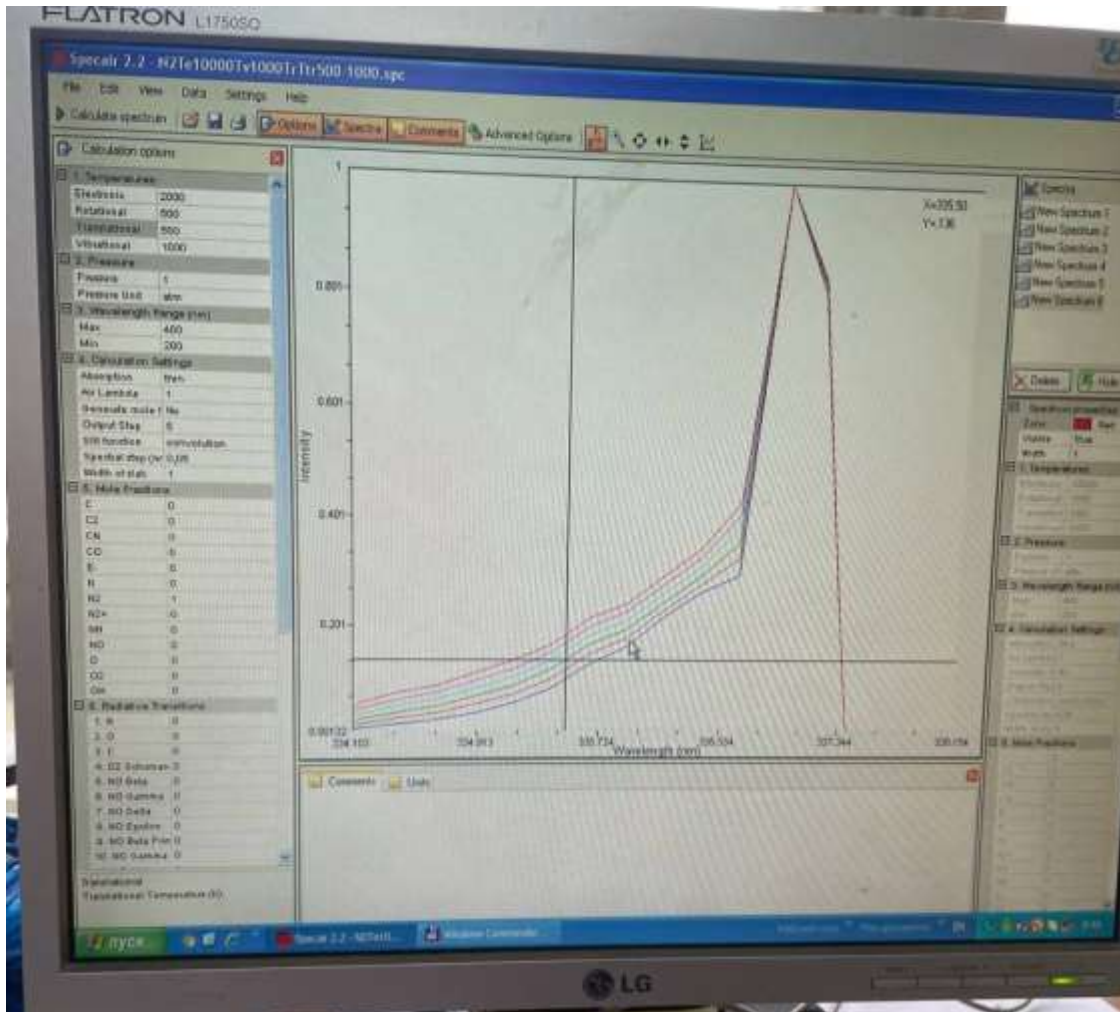


Рис.2.2.2 Обробка спектрів за програмою SPECAR

Для визначення коливальної температури молекули N2 використовувалися залежності відношення смуг на довжинах хвиль : $I_{0=337\text{nm}}$ та $I_{1=315\text{nm}}$, для оберальної температури – $I_{0=337\text{nm}}$ та $I_{1=336\text{nm}}$.

Для визначення обертальної температури молекули ОН використовувалися залежності відношення смуг на довжинах хвиль: $I_0 = 308\text{nm}$ та $I_1 = 306\text{nm}$, для коливальної температури - $I_0 = 309\text{nm}$ та $I_1 = 281\text{nm}$.

Для визначення температури заселення електронно збуджених рівнів атомів кисню (О) використовувалися залежності відношень інтенсивностей двох смуг від довжини хвилі I_1/I_0 , як функція від λ , I_2/I_0 – як функція від λ .

Таким чином було використано калібрувальні прямі, побудовані за допомогою коду SPECAR для визначення температур заселення рівнів (ОН, N2), коливальних рівнів (ОН, N2) та заселення електронно збуджених рівнів атомів кисню.

Для визначення обертальної та коливальної температур для молекул азоту було побудовано графіки залежностей довжин хвиль від інтенсивностей випромінювання при таких показниках:

$$T_e = 10000\text{K}$$

$$T_v = T_{tr} = 1000 - 10000\text{K}$$

$$I_P = 140\text{mA}$$

$$I_S = 250 - 265\text{mA}$$

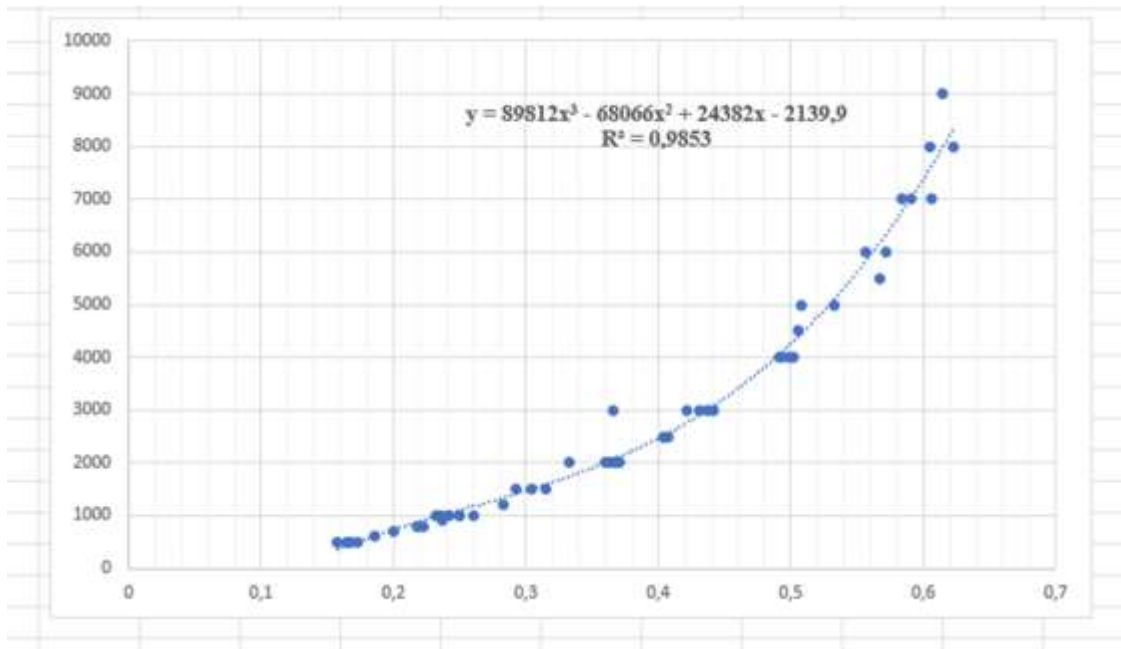


Рис.2.2.3 Графік залежності обертальної температури для газу N2

Te = 10000K

Tr=Ttr = 4000K

IP = 140mA

IS =250 - 265 mA

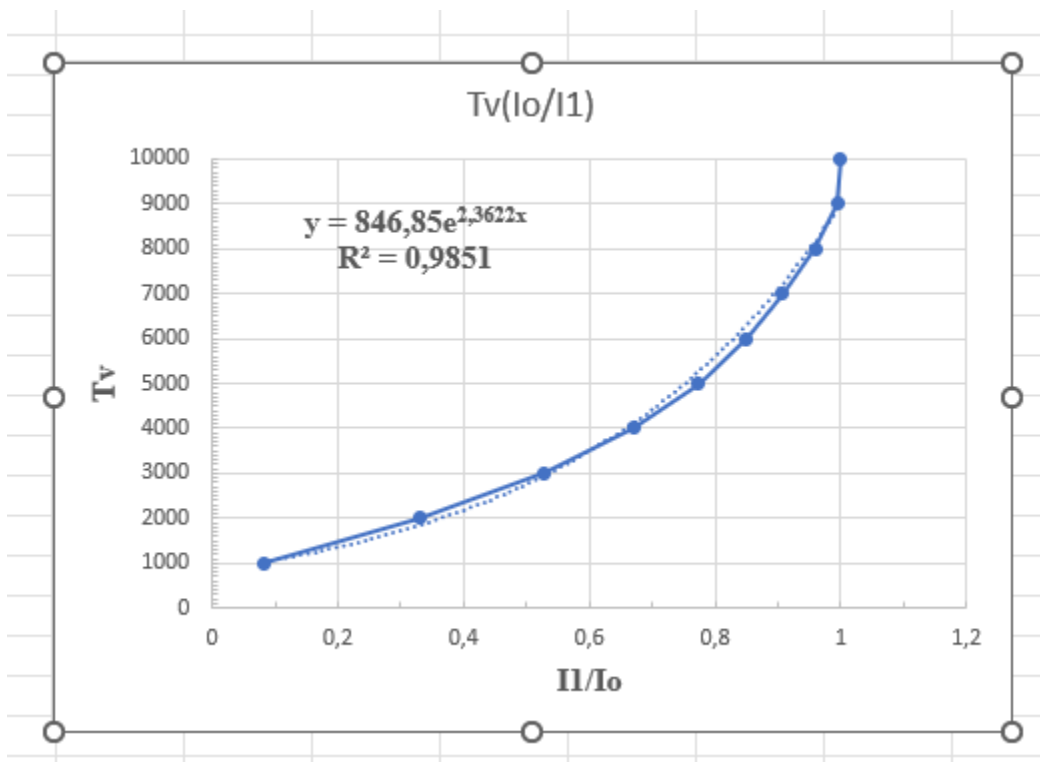


Рис.2.2.4 Графік залежності коливальної температури для молекул N2

Для визначення оберальної температури для молекул гідроксилу (ОН) було побудовано графік залежності довжини хвилі від інтенсивностей випромінювання при таких показниках:

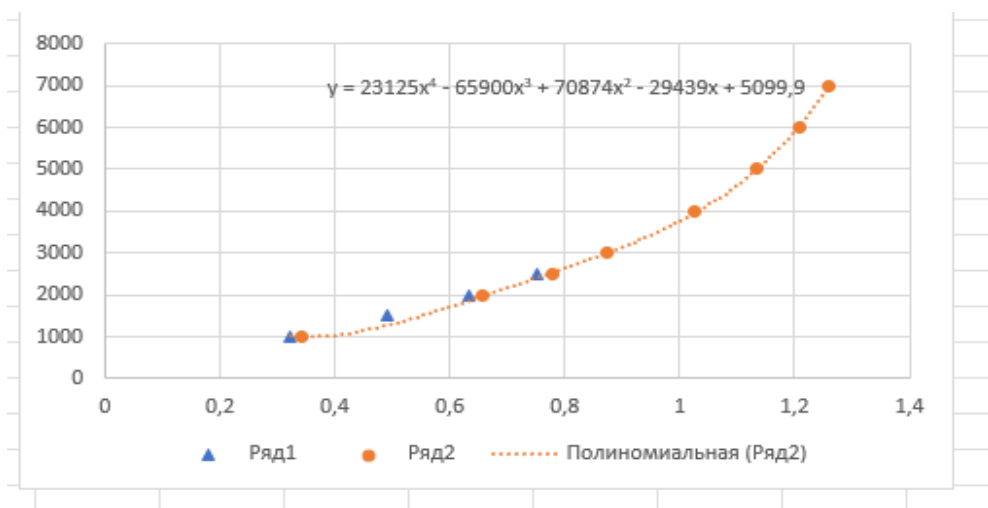


Рис.2.2.5 Графік залежності оберальної температури для молекул ОН

Для визначення електронної температури атомів кисню було побудовано графіки залежностей довжин хвиль від інтенсивностей випромінювання:

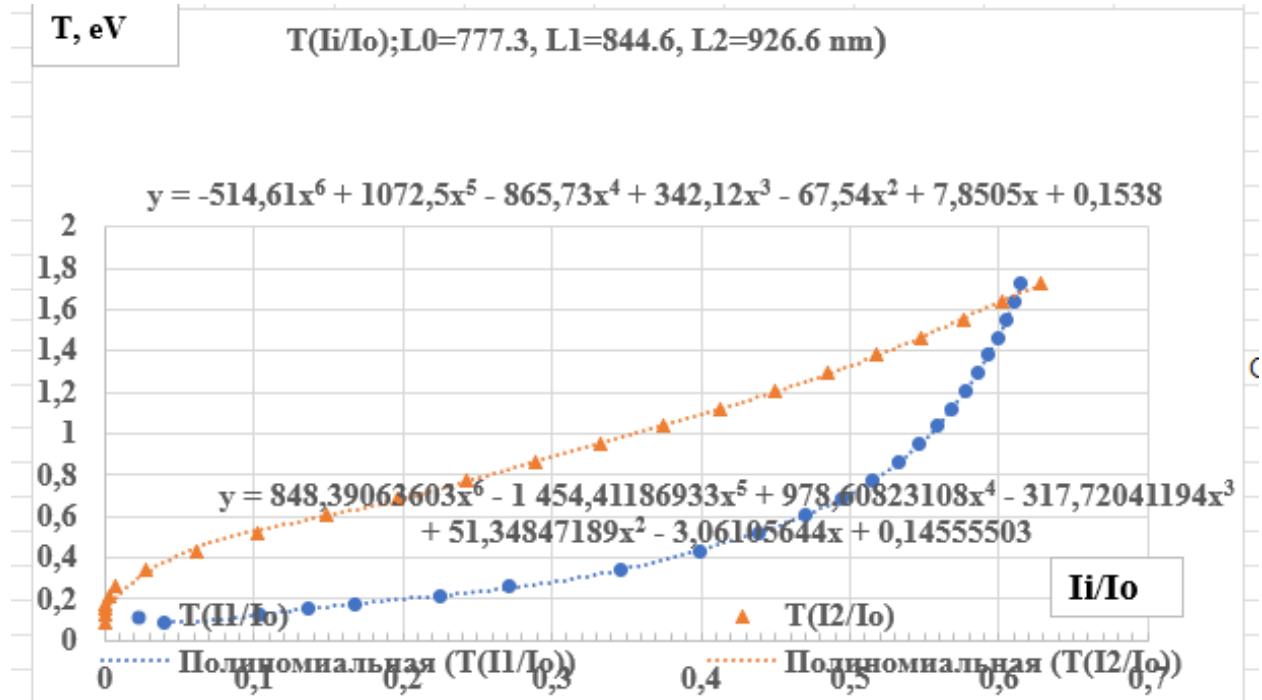


Рис.2.2.6 Графік залежностей електронної температури кисню.

2.3 Результати

Отримані реальні спектри для молекули азоту :

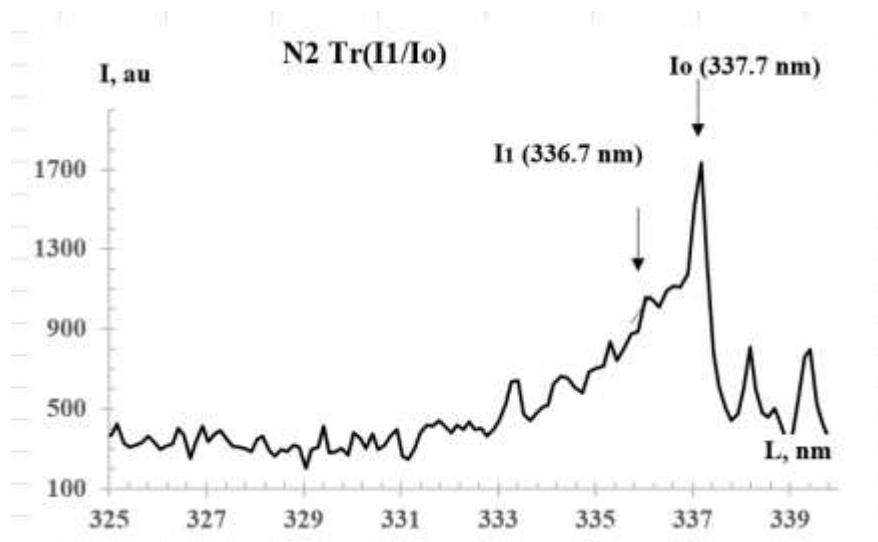


Рис.2.3.1 Реальний спектр для молекули N_2 для температури заселення оберտальних рівнів[5-7].

Для даного спектру молекули N_2 температура заселення оберտальних рівнів

$T_r = 4200\text{K}$

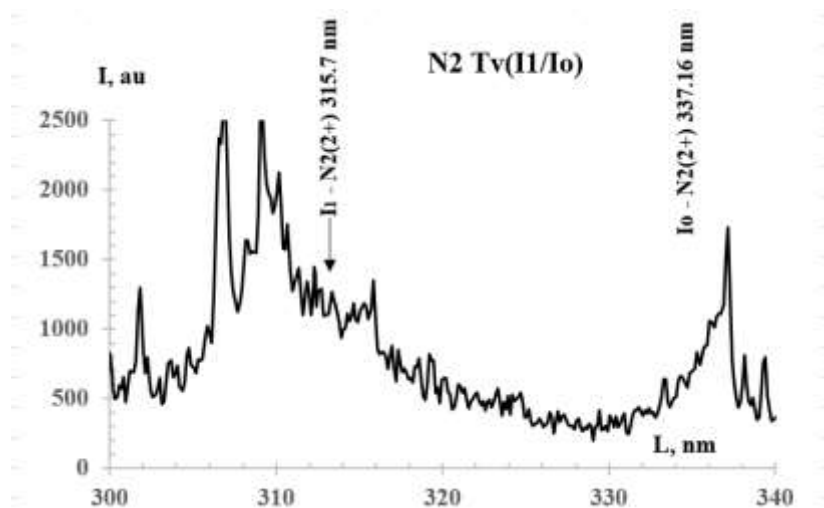


Рис.2.3.2 Реальний спектр для молекули N_2 для температури заселення коливальних рівнів .

Для даного спектру молекули N₂ температура заселення коливальних рівнів

$$T_v = 3600\text{K}$$

Отримані реальні спектри для атома кисню:

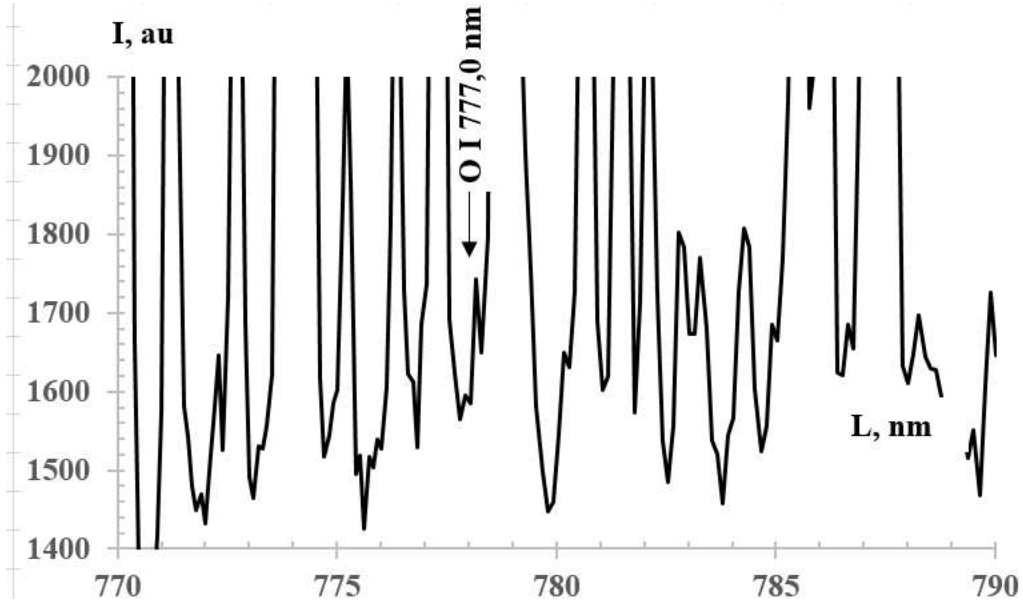


Рис.2.3.3 Реальний спектр для атому кисню для температури заселення електронних рівнів на довжинах хвиль 770-790nm

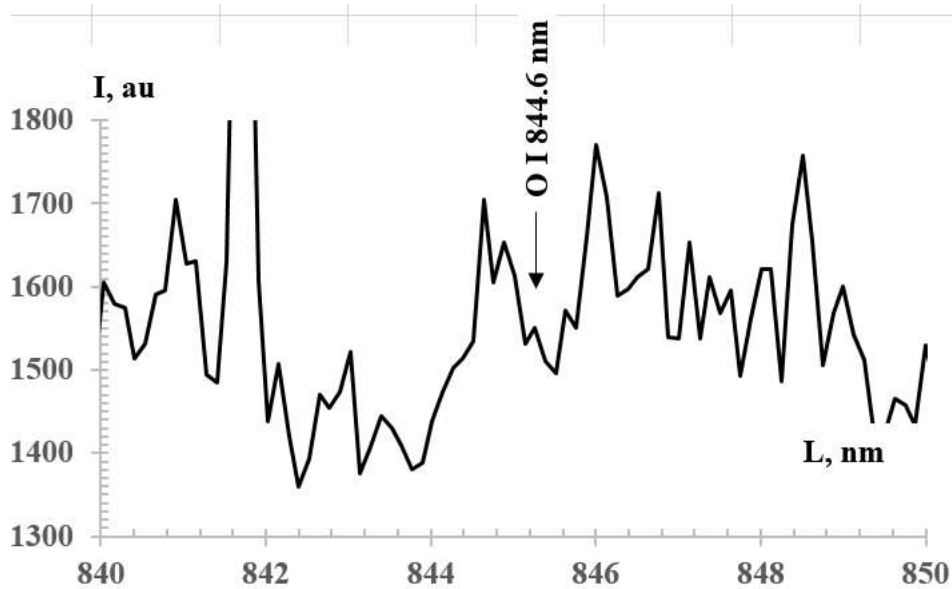


Рис.2.3.4 Реальний спектр для атому кисню для температури заселення електронних рівнів на довжинах хвиль 840-850nm.

Для даного спектру атому кисню температура заселення електронних рівнів

$$T^*_{e} = 5704\text{K}$$

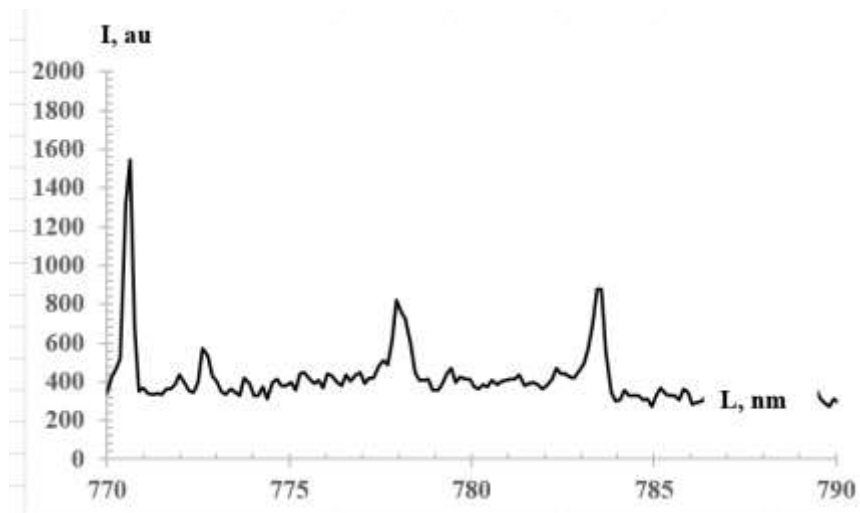


Рис.2.3.5 Реальний спектр для атому кисню для температури заселення електронних рівнів на довжинах хвиль 770-790nm, $L_0=777\text{nm}$.

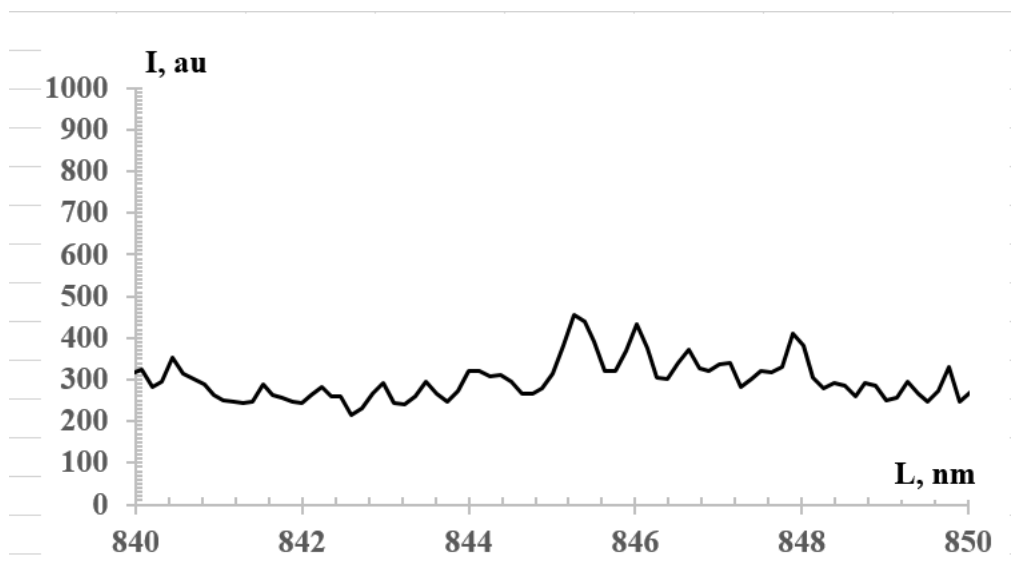


Рис.2.3.6 Реальний спектр для атому кисню для температури заселення електронних рівнів на довжинах хвиль 840-850nm, $L1=844nm$.

Для даного спектру атому кисню температура заселення електронних рівнів

$T^*e= 6984K$

Отримані реальні спектри для молекули гідроксилу:

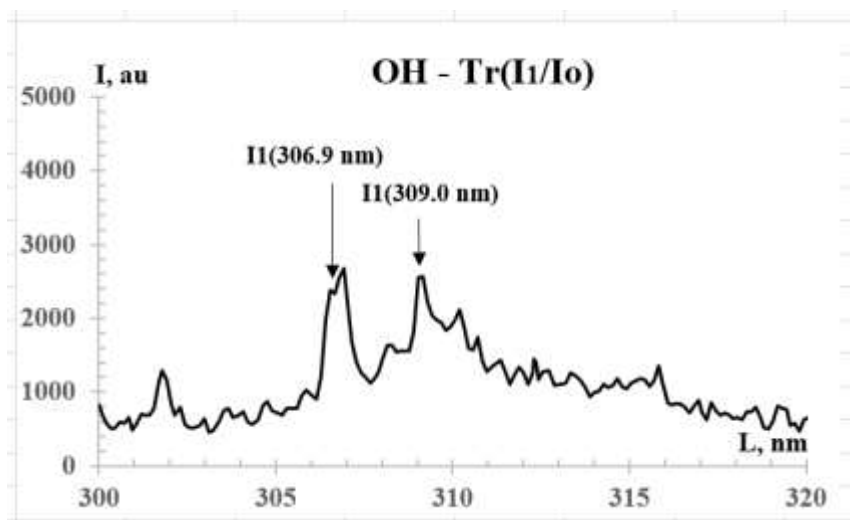


Рис.2.3.7 Реальний спектр для молекули гідроксилу для температури заселення обертальних рівнів.

Для даного спектру молекули OH температура заселення обертальних рівнів

$Tr= 3500K$

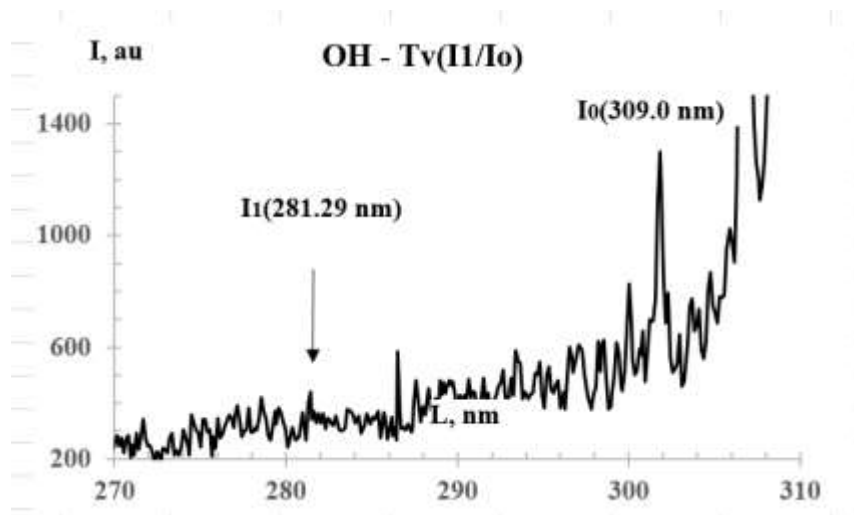


Рис.2.3.8 Реальний спектр для молекули гідроксилу для температури заселення коливальних рівнів.

Для даного спектру молекули ОН температура заселення коливальних рівнів

$$T_v = 4500\text{K}$$

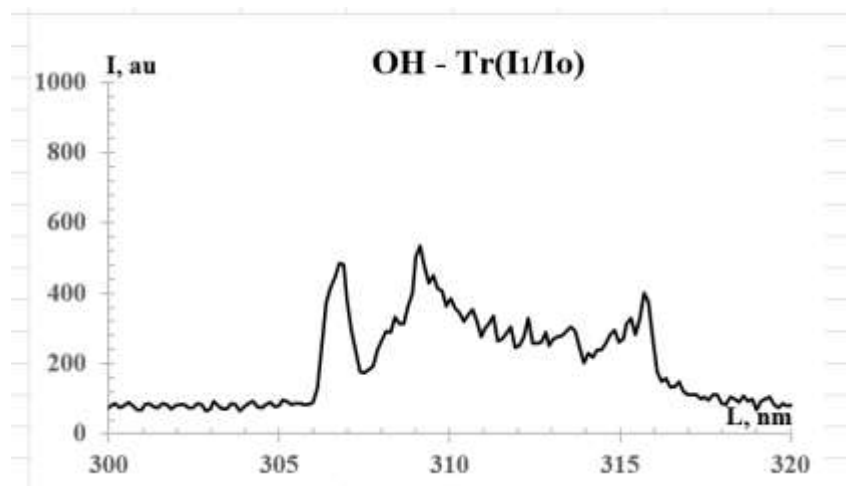


Рис.2.3.9 Реальний спектр для молекули гідроксилу для температури заселення обертальних рівнів, $L_0 = 308\text{nm}$, $L_1 = 306\text{nm}$.

Для даного спектру молекули ОН температура заселення обертальних рівнів

$$T_r = 2200\text{K}$$

ВИСНОВКИ

У даній роботі було оптично досліджено плазму вторинного розряду, яка підтримується обертово-ковзним розрядом. В ході роботи було виявлено температурну залежність для таких газів як азот (N_2) та OH (кисень) та атомів кисню (O). Метою цієї роботи, було проведення оптичного дослідження плазми вторинного розряду, яке дозволяє отримати детальні дані про цей тип плазми та її параметрів, а саме: температури, розподіл частинок, рух плазми, і виявити особливості його формування та взаємодії з іншими елементами. Відповідні результати можуть бути корисними для покращення ефективності процесів реформування вуглеводнів та встановлення оптимальних умов для використання плазми в практичних застосуваннях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://iopscience.iop.org/journal/0963-0252> - Plasma Sources Science and Technology
2. J. Cech, L. P Rokes, M. Zemanek, L. Dostal, D. Simek, J. VÁLENTA , R. ZEBRAK, L. ZÂPOTOCKY, P. STAHEL. ROTATING GLIDING ARC: INNOVATIVE SOURCE FOR VOC REMEDIATION//*Plasma Physics and Technology* 6(2):156-160, 2019
3. O.A. Nedybaliuk, V.Ya. Chernyak, E.V. Martysh, T.E. Lisitchenko. System with plasma injector of hydrocarbons with high viscosity // Proc. of the VIII International Conference “Electronics and Applied Physics”, October 24-27, 2012, Kyiv, Ukraine, P. 148-149.
4. <http://www.specair-radiation.net/features.php> - [specair - radiation.net](http://www.specair-radiation.net)
5. I. Mozharovskij, V. Chernyak, M. Fedorchenko, et al., in: IEEE Int. Conf. Plasma Sci., 2003, p. 413.
6. I.P. Veremii, V.Y. Chernyak, S.A. Filatov, et al., Ukr. J. Phys. 53 (2008) 393–397.
7. V. Chernyak, S. Olszewski, I. Prysiazhnevych, et al., Prz. Elektrotechniczny 85 (2009) 147–150.