

УДК 539.19

PACS 87.15.-v

DOI: <https://doi.org/10.24144/2415-8038.2016.39.88-92>

I.I. Шафраньош, Ю.Ю. Свида, М.І. Суховія, В.Ю. Шкиндя,  
М.І. Шафраньош

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54  
e-mail: svida09@meta.ua

## СПЕКТР СВІЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ В ПАРАХ ЦИТОЗИНУ

Виконані експериментальні дослідження люмінесценції постійного тліючого електричного розряду в парах цитозину. Отримані спектри свічення розряду в області довжин хвиль 200– 500 нм. В спектрі люмінесценції виявлені більше 25 спектральних смуг. Для частини молекулярних смуг приведена їх найбільш ймовірна ідентифікація.

**Ключові слова:** цитозин, тліючий розряд, збудження, спектр, спектральні смуги.

### Вступ

Інформація про фізичну структуру біомолекул необхідна для розуміння ролі первинних фізичних процесів у забезпеченні функціонування біосистем та впливу на них різних чинників навколишнього середовища. Серед цих чинників особлива увага відводиться природній та штучній радіації. Взаємодія високоенергетичної радіації з живими клітинами, в основному, не призводить прямо до деградації біополімерних молекул, зокрема, до розривів ковалентних зв'язків у первинній структурі нуклеїнових кислот. Цю функцію виконують вторинні електрони, які утворюються у значній кількості при проходженні скрізь біоструктури потоку високоенергетичного випромінювання. Більшість вторинних електронів є повільними з енергіями від долей до десятків еВ. Саме повільні електрони вносять основну частину деструктивних змін на молекулярному рівні біоструктур, елементарними «цеглинками» яких є азотисті основи нуклеїнових кислот та амінокислоти. Таким чином дослідження взаємодії повільних електронів з молекулами азотистих основ нуклеїнових кислот є

актуальними. Метою даної роботи є дослідження процесів люмінесценції молекул цитозину електронним ударом в умовах постійного електричного тліючого розряду. Енергія електронів в позитивному стовпі розряду є достатньою для збудження молекул цитозину внаслідок чого виникає свічення (люмінесценція) розряду.

Дослідження процесів збудження молекул цитозину представлені одиничними роботами. Зокрема, в роботі [1] оптичним методом в умовах електронного та молекулярного пучків, що перетинаються вперше було отримано спектр люмінесценції молекули цитозину під дією електронного пучка з енергією 100 еВ. Авторами [1] була здійснена ідентифікація молекулярних смуг в отриманому спектрі.

### Експериментальна установка та методика дослідження

Для спостереження явища люмінесценції парів молекул цитозину під дією електронів в даній роботі було використано метод розряду. Молекули цитозину є чутливими до явища фрагментації під дією високої температури

(термодифрагментація). Як свідчать дані роботи [2] явище термодифрагментації проявляється при температурі вищій 400 К. Тому потужність, яка вводиться в пари цитозину не повинна приводити його до температури вище вказаної. Реальна потужність, яка вводиться в розрядну трубку з парами цитозину, має дві складові: потужність, яка необхідна для утворення тиску парів цитозину  $\sim 10^{-2}$  Па та потужність самого розряду. Тип розряду мінімальної потужності, який дозволяє спостерігати явище люмінесценції є тліючий розряд. За визначенням, тліючий розряд це один з видів стаціонарного, самостійного, електричного розряду в газах. Відбувається при низькій температурі катода, відрізняється порівняно малою щільністю струму на катоді і великим катодним падінням потенціалу  $U$ . Тліючий розряд може виникати при малому тиску газу аж до атмосферного, проте переважна більшість досліджень тліючого розряду проведена при тиску від сотих долей до декількох одиниць Па. Із наведених вище міркувань було вибрано нормальну (оптимальну) форму тліючого розряду. Розроблена конструкція розрядного пристрою схематично представлена на рис. 1. Основними елементами пристрою є: розрядна трубка з кварцовим віконцем для вивода випромінювання; термостат в якому розміщувалася сама розрядна трубка; блоки електроживлення трубки і термостата.

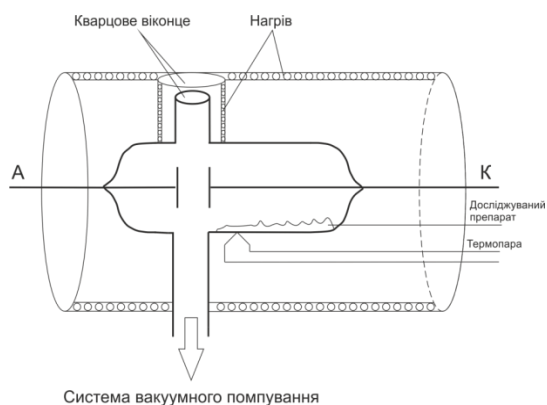


Рис. 1. Розрядний пристрій.

На осьовій лінії трубки розміщувалися молибденові електроди –

катод (К) і анод (А), а в найбільш холодному місці трубки термодатчик температури (хромель-алюмель). Температура термостата встановлювалася резистивною біфілярною обмоткою через яку проходив постійний електричний струм. Препарат цитозину поміщався в трубку, яка попередньо піддавалася процедурі вакуумного знегажування та очистки. Щоб унеможливити конденсації парів цитозину на кварцовому віконці його поміщали в додатковий термостат, температура якого на 20 К була вище за температуру основного термостату.

При досягненні тиску в трубці  $\sim 10^{-4}$  Па здійснювалося її від'єднання від системи вакуумного помпування.

### Результати досліджень та їх обговорення

В результаті проведених експериментів були отримані спектри випромінювання розряду в парах молекул цитозину, в області довжин хвиль 200 – 500 нм, при різній температурі парів. Параметри експерименту були наступними: струм розряду – 10 мА, напруга в області розрядного проміжку складала 540 В, тиск парів  $\sim 10^{-2}$  Па.

На рис. 2 представлені спектри свічення розряду при температурі парів цитозину 330 і 360 К.

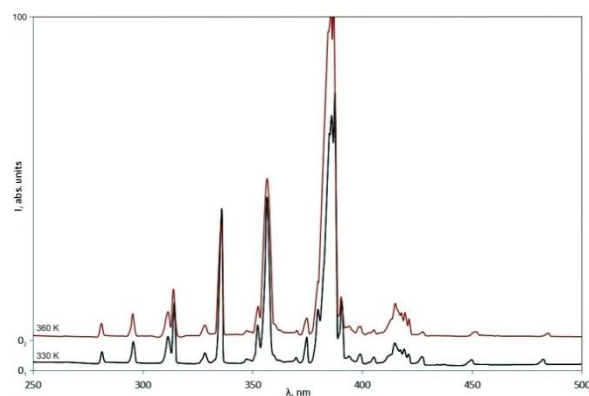


Рис. 2. Спектр розряду при температурі парів цитозину 330 і 360 К.

У наведених спектрах не враховано спектральну чутливість фотоелектронного помножувача та пропускання монохроматора. Як видно, спектр має

достатньо складну структуру. При аналізі цих спектрів були виявлені спектральні лінії та смуги з максимумами при довжин хвиль: 281, 295, 311 – 316, 328, 336, 348, 352 – 357, 375, 380 – 387, 390, 398, 413 – 421, 427, 452 і 485 нм. Ідентифікація спектральних смуг була проведена на основі робіт [1, 3-5].

Найбільш інтенсивна смуга випромінювання з максимумом 380–387 нм може бути свіченням групи CN (перехід  $B^2\Sigma - A^2\Pi$ ), у цій же області випромінює фрагмент CNC (перехід  $^2\Delta - ^2\Pi$ ). Виникнення смуги при 311–316 нм можуть вносити вклад такі процеси: свічення піримідинового кільця (перехід  $\tilde{A} - \tilde{X}$ ) та іона  $CO^+$  (перехід  $B^2\Sigma - ^2\Sigma$ ), також може, в даній області, виникати смуга OH (перехід  $X^2\Pi - A^2\Sigma^+$ ), свічення якої спостерігається при 309 нм. Свічення групи NCN (перехід  $^3\Pi_u - ^3\Sigma_g^-$ ), а також  $CN^+$  (перехід  $c^1\Sigma - a^1\Sigma$ ) спостерігається біля 328 нм. В смузі з максимумом при 336 нм імовірно випромінювання фрагменту NCN (перехід  $^3\Pi_u - ^3\Sigma_g$ ), слід зауважити, що в даній області може спостерігатися і свічення молекули азоту  $N_2$  (перехід  $C^3\Pi_u - V^3\Pi_g$ ). В області 352 – 357 нм може спостерігатися свічення групи HNCN (перехід  $\tilde{A} - \tilde{X}$ ), а група CNC (перехід  $^2\Sigma - ^2\Pi$ ) при 375 нм. В смузі з максимумом 390 нм імовірно випромінювання молекулярного іону азоту  $N_2^+$  (перехід  $V^2\Sigma - X^2\Pi$ ). Свічення при 413–421 нм може формуватися за рахунок груп CO (перехід  $V^1\Sigma - A^1\Pi$ ) і  $N_2CN_2$  (перехід  $\tilde{A} - \tilde{X}$ ), можливе також, в даній області, свічення CN (перехід  $A^2\Delta - X^2\Pi$ ). В області 427 нм можливе свічення групи  $N_2CH_2$  (перехід  $\tilde{A} - \tilde{X}$ ), а при 485 нм, скоріш за все, спостерігається випромінювання  $H\beta$ .

Деякі смуги в спектрах не вдалося розшифрувати на основі відомої літератури. Зокрема це смуги з максимумами при 281, 295, 348, 398 і 452 нм. Можливо в даних спектрах зафіксоване свічення фрагментів молекул або кластеризованих молекул цитозину, яке не спостерігається в експериментах у високому вакуумі, методами електронного

і молекулярного пучків, що перетинаються або паронаповненої комірки.

Отримані нами дані варто співставити з даними робіт [1, 6].

Найбільш повне узгодження даної роботи має місце з результатами роботи [1], яка була виконана методом електронного та молекулярного пучків, що перетинаються. Поряд з цим, нами в умовах розряду було виявлено декілька нових молекулярних смуг. Автори роботи [6] досліджували люмінесценцію цитозину під дією електронного пучка в умовах паронаповненої комірки. Отриманий ними спектр представлений 9 смугами, які за довжинами хвиль співпадають з смугами в спектрі нашої роботи. Поряд з цим в частині ідентифікації окремих смуг ми не згодні з думкою авторів роботи [6]. Зокрема, йдеться про молекулярну смугу з максимумом при 295 нм. Ми вважаємо, що дана смуга належить молекулярному іону цитозину. Смуга в області довжин хвиль 311-316 нм, яку автори [6] представляють як результат випромінювання групи OH, насправді включає в себе випромінювання піримідинового кільця молекули цитозину та молекулярного іона оксиду вуглецю. При цьому, на нашу думку, внесок випромінювання групи OH не є визначальним.

## Висновки

Взаємодія повільних електронів з молекулами цитозину в умовах газового тліючого розряду супроводжується виникненням у діапазоні 200-500 нм спектру люмінесценції складної форми, що свідчить про інтенсивну фрагментацію молекул. Спектр люмінесценції цитозину формують процеси дисоціативного збудження молекул, дисоціативного збудження з іонізацією, збудження електронних рівнів вихідної молекули. Експериментально встановлено, що електрони розряду ефективно руйнують молекулу цитозину продукуючи при цьому атомарний водень. Отримані дані можуть бути використані для оцінки радіаційних змін у молекулах ДНК і РНК при внутрішньому  $\beta$  – опроміненні біоб'єктів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sukhovija M.I., Slavik V.N., Shafranyosh I.I., Shimon L.L. Interaction of nucleic acid bases molecules with low-energy electrons // *Biopolym. Cell.* – 1991. – V. 7. – №. 6. – pp. 77-82.
2. Shafranyosh I.I., Sukhoviya M.I., Shafranyosh M.I. Absolute cross sections of positive- and negative-ion production in electron collision with cytosine molecules // *J. Phys. B.* – 2006. – V. 39. – № 20. – pp. 4155-4162.
3. Huber K.P., Herzberg G. *Molecular spectra and molecular structure. IV. Constants of diatomic molecules.* – New York: Van Nostrand Reinhold, 1979. – 716 p.
4. Herzberg G. *Molecular spectra and molecular structure. III. Electronic spectra and electronic structure of polyatomic molecules.* – New Jersey: Van Nostrand, 1966. – 745 p.
5. Pearse R.W., Gaydon A.G. *The identification of molecular spectra.* – London: Chapman, 1963. – 562 p.
6. Shpenik V., Erdevdy M., Zvenihorodsky V. Electron impact excitation of the gas phase cytosine molecule // *IEP-2015. International conference of young scientists and post-graduates.* – Uzhhorod, 18-22 May 2015. – P 133.

Стаття надійшла до редакції 01.06.2016

И.И. Шафраньош, Ю.Ю. Свида, М.И. Суховия, В.Ю. Шкиндя,  
М.И. Шафраньош

Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

## СПЕКТР СВЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ПАРАХ ЦИТОЗИНА

Выполнены экспериментальные исследования люминесценции постоянного тлеющего электрического разряда в парах цитозина. Полученные спектры свечения разряда в области длин волн 200 - 500 нм. В спектре люминесценции обнаружены более 25 спектральных полос. Для части молекулярных полос приведена их наиболее вероятная идентификация.

**Ключевые слова:** цитозин, тлеющий разряд, возбуждение, спектр, спектральные полосы.

PACS 87.15.-v

I.I. Shafranyosh, Yu.Yu. Svyda, M.I.Sukhoviya, V.Yu. Shkyndia,  
M.I. Shafranyosh

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

## RADIATION SPECTRA OF ELECTRIC DISCHARGE IN CYTOSINE VAPORS

**Background:** Various actions on bioinformational DNA and RNA molecules can cause uncontrollable changes in a genotype of living organisms. One such external

factor is high-energy ionizing radiation, which generates intracellular powerful flows of low-energy secondary electrons with energies from 0.1 to tens of electronvolts. The molecules of nitrogen bases, i.e., pyrimidine derivatives (cytosine, thymine, and uracil) and purine derivatives (adenine and guanine) are the important components of the architecture of nucleic acids. Secondary electrons can later initiate dissociative capture, excitation, and ionization of base molecules, which, in their turn, trigger a chain of destructive changes in DNA and RNA macromolecules.

**Materials and methods:** The experimental study of the luminescence vapors cytosine under the conditions of electrical discharge. The technique of the experiment is to obtain and study optical spectra of the luminescence of electric discharge which light up the tube, filled with vapors of cytosine molecules. Experimental conditions were as follows: pressure of molecules vapors  $\sim 10^{-2}$  Pa, the current intensity of discharge  $I_p = 10$  mA, voltage in the discharge gap – 540V. Class of discharge – smoldering.

**Results:** The resulting luminescence spectra of discharge in the wavelength range from 200 up to 500 nm were obtained. Spectral lines and bands with maxima at wavelengths of 281, 295, 311 – 316, 328, 336, 348, 352 – 357, 375, 380 – 387, 390, 398, 413 – 421, 427, 452 and 485 nm were detected in analyzing of these spectra. For some molecular bands was shown their most likely identification.

**Conclusion:** Experiments on excitation of molecules cytosine in electrical discharge were executed. The luminescence spectrum of cytosine in electrical discharge is forming by the processes of dissociative excitation of molecules, dissociative excitation with ionization, excitation of electronic levels of the original molecule. The experimental approach used in this study made it possible to obtain new data on the electron impact excitation of cytosine molecules.

**Keywords:** cytosine, glow discharge, excitation, spectrum, spectral bands.

PACS NUMBER: 87.15.-v

## REFERENCES

1. Sukhovija M.I., Slavik V.N., Shafranyosh I.I., Shimon L.L. Interaction of nucleic acid bases molecules with low-energy electrons // *Biopolym. Cell.* – 1991. – V. 7. – №. 6. – pp. 77-82.
2. Shafranyosh I.I., Sukhoviya M.I., Shafranyosh M.I. Absolute cross sections of positive- and negative-ion production in electron collision with cytosine molecules // *J. Phys. B.* – 2006. – V. 39. – № 20. – pp. 4155-4162.
3. Huber K.P., Herzberg G. *Molecular spectra and molecular structure. IV. Constants of diatomic molecules.* – New York: Van Nostrand Reinhold, 1979. – 716 p.
4. Herzberg G. *Molecular spectra and molecular structure. III. Electronic spectra and electronic structure of polyatomic molecules.* – New Jersey: Van Nostrand, 1966. – 745 p.
5. Pearse R.W., Gaydon A.G. *The identification of molecular spectra.* – London: Chapman, 1963. – 562 p.
6. Shpenik V., Erdevdy M., Zvenihorodsky V. Electron impact excitation of the gas phase cytosine molecule // *IEP-2015. International conference of young scientists and post-graduates.* – Uzhhorod, 18-22 May 2015. – P 133.

© Ужгородський національний університет