

УДК 539.19

Ю.Ю.Свида, М.І.Суховія, М.О.Маргітич, М.І.Шафраньош,  
І.І. Шафраньош

Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 54, Ужгород, 88000  
e-mail: ivanshafr@gmail.com

## СПЕКТР СВІЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ В ПАРАХ АДЕНІНУ

Виконані експериментальні дослідження свічення постійного електричного розряду в парах аденіну. Отримані спектри свічення розряду в області довжин хвиль 200– 500 нм. У спектрі свічення виявлені 35 спектральних смуг. Для частини молекулярних смуг приведена їх ймовірна ідентифікація.

**Ключові слова:** розряд, люмінесценція, збудження, аденін.

### Вступ

Вивчення процесів взаємодії повільних електронів із біомолекулами є перспективним напрямком, який останнім часом привертає увагу дослідників. Надійні дані про спектри свічення (люмінесценції) важливих біомолекул можуть бути отримані лише в експериментах, у яких роль навколишнього середовища зведена до мінімуму, а досліджуваний біооб'єкт буде знаходитись у газовій фазі.

Дослідження процесів збудження ізолюваних молекул азотистих основ нуклеїнових кислот представлені небагатьма роботами. Зокрема, збудження нуклеотидної основи аденіну експериментально вивчалось в роботах [1, 2]. Так, в роботі [1] оптичним методом в умовах електронного та молекулярного пучків, що перетинаються, вперше було отримано спектр люмінесценції молекули аденіну, ініційованого електронним пучком з енергією 100 еВ. Авторами [1] була здійснена ідентифікація молекулярних смуг в отриманому спектрі. У більш пізнішому дослідженні [2] люмінесценція молекул аденіну під дією електронів різних енергій вивчалась в умовах паронаповненої комірки. Автори цієї роботи привели ідентифікацію смуг у спектрах, яка була запропонована в роботі [1].

Метою роботи є дослідження процесів люмінесценції молекул аденіну електронним ударом в умовах постійного електричного розряду.

### Техніка та методика дослідження

Люмінесценція молекул аденіну вивчалась за допомогою експериментальної установки, основними вузлами якої є розрядний пристрій, система реєстрації випромінювання і система вакуумного помпування розрядної трубки (див. рис. 1).

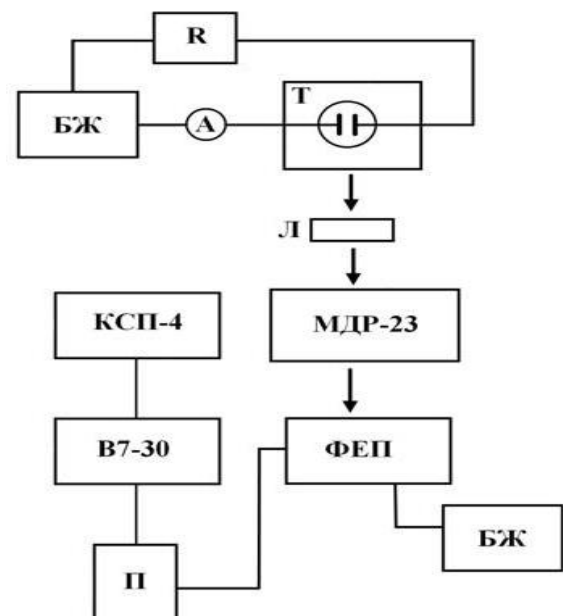


Рис. 1. Блок-схема експерименту

Конструкція розрядного пристрою схематично представлена на рис. 2. Основними елементами пристрою є: розрядна трубка з молібденовими електродами та кварцовим віконцем для виводу випромінювання; термостат, у якому розміщувалась розрядна трубка;

блоки електроживлення трубки і термостату.

На осьовій лінії трубки розміщувалися молибденові електроди – катод (К) і анод (А), а в найбільш холодному місці трубки термопарний датчик температури (хромель-алюмель). Температура термостата встановлювалася резистивною біфілярною обмоткою, через яку проходив постійний електричний струм від стабілізованого джерела. Препарат

аденіну поміщався у трубку, яка попередньо піддавалася процедурі вакуумного знегажування та очистки. Був використаний препарат аденіну фірмиSigma-Aldrich (чистота 99%).

Щоб унеможливити конденсацію пари аденіну на кварцовому віконці, його поміщали в додатковий термостат, температура якого на 20 К була вищою за температуру основного термостату.

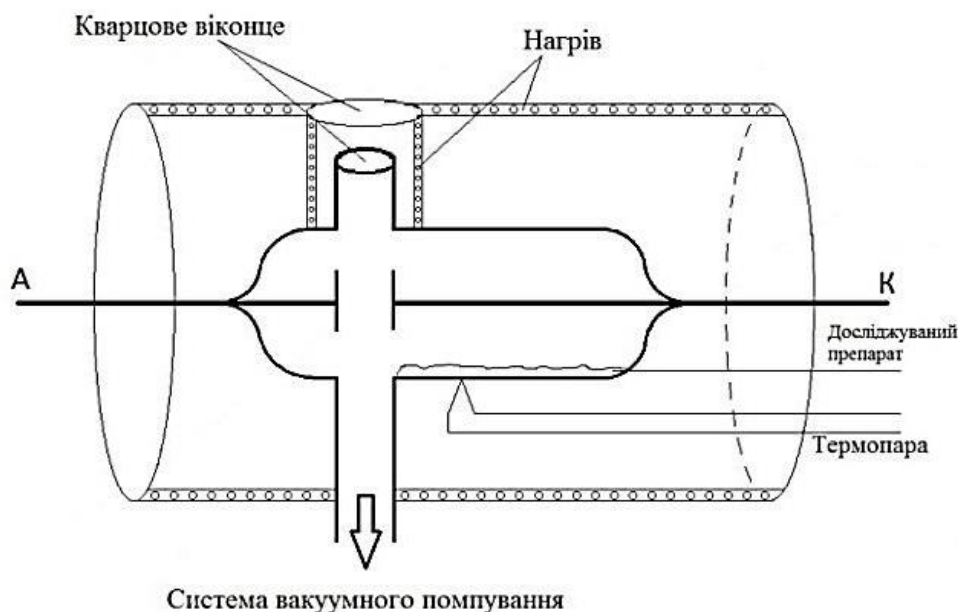


Рис. 2. Розрядний пристрій

Випромінювання, яке виникало в розрядній трубці (Т), виводилося із неї через кварцове віконце. За допомогою кварцової лінзи (Л), розміщеної на подвійній фокусній віддалі ( $f = 95$  мм) від області розряду, проектувалося на вхідну щілину дифракційного монохроматора МДР-23, обернена лінійна дисперсія якого становить 1.3 нм/мм (в діапазоні  $\lambda = 200\text{--}800$  нм). Виділене монохроматором випромінювання детектувалося фотоелектронним помножувачем (ФЕП) типу ФЕУ-106. Високочутлива система реєстрації світлових потоків в експериментах працювала в режимі підсилення постійного струму. У якості підсилювача був використаний прилад В7-30. Вихідний сигнал з В7-30 поступав на вхід самописця КСП-4. Розгортка спектру

здійснювалася за допомогою блоку управління електродвигуном.

Вакуум у розрядній трубці створювався багатоступінчастою системою помпування, до складу якої входили: високовакуумна магніторозрядна помпа НМД-04-01, дифузійна помпа типу НВД-015 та механічна помпа попереднього розрідження ВН-05МГ, вакуум-проводи, вентилі ДУ-50, ВРП-32, ВРП-25, цеолітова та криогенна пастки. Розрідження, яке є необхідним для експериментів у розрядній трубці, досягалося в три етапи:

- на першому етапі, після завантаження досліджуваного препарату в розрядну трубку і її герметизації, вмикалася помпа ВН-05МГ, яка створювала у камері попереднє розрідження  $\sim 10^3$  Па;

- на другому етапі в дію вводилася дифузійна помпа НВД-015, яка помпувала камеру до тисків  $\approx 1$  Па. Для запобігання проникненню парів масла у вакуумну камеру використовувались дві пастки – кріопастка (охолоджувана рідким азотом), яка встановлювалась на вході дифузійної помпи, та цеолітова, яка встановлювалась на її виході. На цьому ж етапі здійснювався попередній прогрів та термодезгація робочої речовини, прогрів стінок трубки за допомогою термостату;

- третій етап помпування починався, коли розрідження в трубці сягало 1 Па, при якому камера за допомогою вентиля ДУ-50 перекривалася від дифузійної та механічної помп; подальше зменшення тиску в трубці здійснювалося магніторозрядною помпою НМД-04-01.

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

### Результати та їх обговорення

В результаті проведених експериментів були отримані спектри випромінювання розряду в парах молекул аденіну в області

довжин хвиль 200–500 нм. Умови експериментів були наступними: струм розряду – 10 мА, напруга в області розрядного проміжку – 540 В, температура парів – 330 К, тиск парів  $\sim 10^{-2}$  Па. На рис. 3 представлений спектр свічення розряду в парах молекул аденіну, в якому враховано спектральну чутливість експериментальної установки. Значення довжин хвиль у максимумі молекулярних смуг, які пронумеровані на спектрі, приведені в таблиці 1. Для частини молекулярних смуг запропоновано найбільш ймовірну ідентифікацію, яка базувалася на аналізі даних робіт [1, 3-5]. Люмінесценція, яка виникає при збудженні  $\pi$ -електронів, ймовірно проявляється смугою в околі довжини хвилі 360 нм, на що вказують і дані роботи [4]. Спектральна смуга з максимумом при 435 нм, імовірно, відображає суперпозицію кількох процесів. Крім інтеркомбінаційних переходів, тут можливе збудження груп  $N_2CH_2$ .

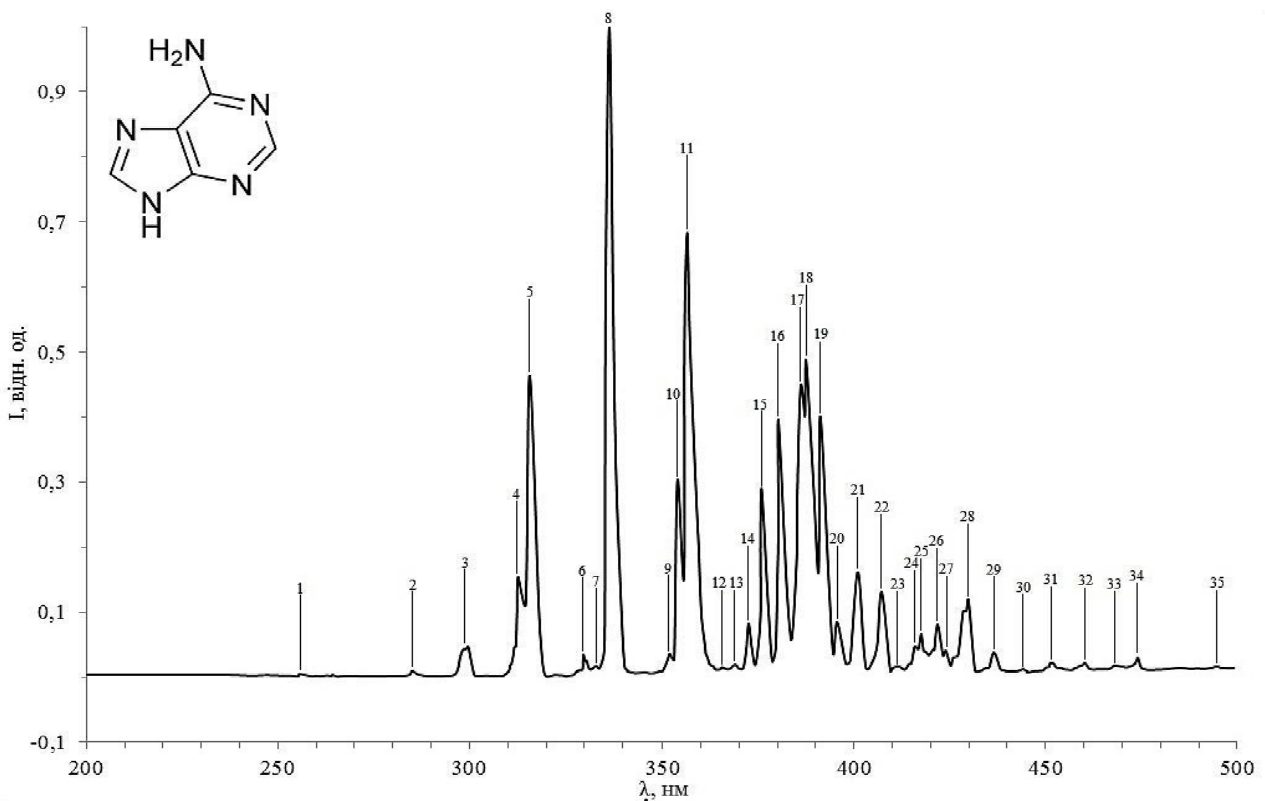


Рис. 3. Спектр розряду в парах аденіну

Спектральні смуги, зареєстровані у випромінюванні розряду в парах аденіну

№	$\lambda$ , нм	I, відн. од.	Випромінювач	Перехід	№	$\lambda$ , нм	I, відн. од.	Випромінювач	Перехід
1	255.6	0.005	NO	$A^2\Sigma^+ - X^2\Pi$	19	391.2	0.402	$N_2^+$	$B^2\Sigma - X^2\Pi$
2	284.9	0.010	NO	$A^2\Sigma^+ - X^2\Pi$	20	395.6	0.085	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$
3	299.6	0.047	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$	21	400.9	0.162		
4	312.7	0.154	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$	22	407.2	0.131		
5	315.7	0.464	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$	23	411.7	0.017		
6	329.7	0.035	$CN^+$	$c^1\Sigma - a^1\Sigma$	24	415.8	0.047		
7	333.1	0.018			25	417.5	0.067	CN	$B^2\Sigma - A^2\Pi$
8	336.5	0.999	$N_2$ NCN	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$ $^3\Pi_u - ^3\Sigma_g^-$	26	421.8	0.081	CN	$B^2\Sigma - A^2\Pi$
9	351.9	0.036			27	423.9	0.042		
10	353.9	0,303	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$	28	429.9	0.119	$N_2^+$ CH	$B^2\Sigma - X^2\Pi$ $A^2\Delta - X^2\Pi$
11	356.5	0.683	$C_3H_5N_5$ $N_2$ HNCN	$S_1 \rightarrow S_0$ $C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$ $\tilde{A} - \tilde{X}$	29	436.5	0.038	$C_3H_5N_5$ $N_2CH_2$	$T_i \rightarrow S_0$ $\tilde{A} - \tilde{X}$
12	365.5	0.016			30	444.2	0.013		
13	368.9	0.020	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$	31	451.1	0.022		
14	372.5	0.083	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$	32	460.3	0.022		
15	375.9	0.290	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$	33	467.9	0.018		
16	380.3	0.395	$N_2$	$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$	34	474.1	0.030		
17	386.1	0.447	CN $NH_2$	$B^2\Sigma - A^2\Pi$	35	494.8	0.017		
18	387.5	0.486	CN CNC	$B^2\Sigma - A^2\Pi$ $^2\Delta - ^2\Pi$					

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суховія М.І., Вошепинець Є.І., Шафраньош М.І., Шимон Л.Л. Збудження та іонізація аденіну електронним ударом // Біополімери і клітина – 1996. – Т.12, №3. – С. 97-100.
2. Erdevdi N.M., Zvenigorodskii V.V., Shpenik O.B., Romanova L.G. Excitation of adenine molecules by slow electrons // Optics and Spectroscopy. – 2013. – V. 114, № 1. – P. 47-51.
3. Герцберг Г. Электронные спектры и строение многоатомных молекул – М.: Мир. – 1969. – 772 с.
4. Dodonova D. Ya. Vacuum UV-photonics and photochemistry of biomolecules // J. Photochem. Photobiol. B: Biol. – 1993. – V. 18. – P. 111-121.
5. Pearse R. W., Gaydon A. G. The identification of molecular spectra. – London: Chapman. – 1963. – 562p.

Стаття надійшла до редакції 26.06.2015.

Yu.Yu. Svyda, M.I. Sukhoviya, M.O. Margitych, M.I. Shafranyosh, I.I. Shafranyosh

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

**RADIATION SPECTRA OF ELECTRIC DISCHARGE IN ADENINE VAPORS**

Experimental study of radiation of continuous electric discharge in adenine vapors performed. The radiation spectra of discharge in the wavelength range 200 – 500 nm obtained. In the spectrum 35 spectral bands found. For some molecular bands the identification is given.

**Keywords:** discharge, luminescence, excitation, adenine.

Ю.Ю. Свида, М.И. Суховия, Н.А. Маргитич, М.И. Шафраньош,  
И.И. Шафраньош

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

## СПЕКТР СВЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ПАРАХ АДЕНИНА

Выполнены экспериментальные исследования свечения постоянного электрического разряда в парах аденина. Получены спектры свечения разряда в области длин волн 200–500 нм. В спектре свечения обнаружены 35 спектральных полос. Для части молекулярных полос приведена их вероятная идентификация.

**Ключевые слова:** разряд, люминесценция, возбуждение, аденин.