

УДК: 538.9

Коробко¹ О.В., аспірант.

Вплив молекулярної будови спиртів на швидкість випаровування під дією опромінення

Проведено дослідження з випаровування крапель спиртів різної молекулярної будови для тиску 100 мм рт. ст. при опроміненні крапель спиртів ультрафіолетовим випромінюванням довжиною хвилі 390 нм. На основі отриманих експериментальних результатів розраховані значення швидкості випаровування та температури краплин для заданих умов експерименту. Одержані експериментальні дані проаналізовані за допомогою формули Максвелла з поправками, що дозволило розрахувати коефіцієнти конденсації.

Ключові слова: випаровування, опромінення, спирти.

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 03680, м. Київ, пр-т. Глушкова 4д, e-mail: oksana2208@i.ua

Korobko¹ O.V., PhD student.

Effect of molecular structure into the rate of alcohols' evaporation under the influence of irradiation

The experimental data according liquid alcohols' droplets evaporation of different molecular structure were considered for the pressure value of 100 mm Hg and under the influence of ultraviolet irradiation ($\lambda=390$ nm). Based on the experimental results evaporation speed's and temperature's values were calculated. The experimental results were analyzed using Maxwell's formula, with corresponding corrections, which allowed to calculate the condensation coefficients.

Key Words: evaporation, irradiation, alcohols

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, 03680, Kyiv, Glushkova st., 4d, e-mail: oksana2208@i.ua

Статтю представив академік НАН України, д.ф.-м.н., проф. Булавін Л.А.

Однією з актуальних задач сьогодення є вивчення впливу опромінення на поведінку конденсованих середовищ, зокрема, дослідження зміни параметрів процесів випаровування під дією опромінення, оскільки, процес випаровування з розчину є основою виготовлення медичних препаратів, ліків та сухих продуктів харчування.

Даній проблемі присвячено велику кількість як теоретичних, так і експериментальних робіт, зокрема, виявлено зміни характеристик деяких органічних речовин бензольного ряду під час випаровування при опроміненні [1]. Але механізм впливу опромінення на процеси, що відбуваються в рідинах та рідинних системах, не є до кінця з'ясованим. Важливим напрямком тут є дослідження процесів випаровування інших речовин за різних термодинамічних умов.

В роботі вивчається поведінка спиртів, котрі утворюють гомологічний ряд, відрізняючись на деяку постійну величину, а саме, групу CH_2 . Так як із-за подібності структури вплив опромінення може носити однаковий характер, а відмінності в

поведінці можуть бути інтерпретованими додаванням CH_2 групи, спирти були вибрані об'єктом запропонованих досліджень. Крім того, варто відмітити, що області використання спиртів численні й різноманітні. Найбільш перспективними напрямками використання спиртів є: застосування в якості палива, виробництво розчинників, виробництво синтетичних миючих засобів, парфумерії та косметики, використання в харчовій і фармацевтичній промисловості, спирти виступають проміжними продуктами для основного органічного синтезу тощо[2].

Метою даної роботи є дослідження впливу ультрафіолетового опромінення на швидкість випаровування крапель спиртів бутанолу, пентанолу та нанолу за тискову 100 мм рт. ст. в атмосфері азоту.

Дані дослідження проводяться за допомогою експериментальної установки, схему якої та методику виконання експерименту детально наведено в роботі [3].

Теоретичний опис процесу випаровування краплі. Поправки до формули Максвелла

Перша модель для опису випаровування краплин рідинних систем була запропонована Максвеллом [4]. Ним було отримано вираз:

$$I_0 = -\frac{dm}{dt} = 4\pi r D (C_0 - C_\infty), \quad (1)$$

де r – радіус краплі. Тут швидкість випаровування визначається швидкістю дифузії пари в оточуючому середовищі. Залежність (1) може бути представлена в іншому вигляді:

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{8\pi D C_0 - C_\infty}{\rho} \quad (2)$$

де D – коефіцієнт дифузії пари в газовому середовищі для заданих значень температури і тиску, C_0 – концентрація насиченої пари, що відповідає температурі поверхні краплі T_0 , C_∞ – концентрація пари на нескінченній відстані від краплі, ρ – густина рідини, $\frac{dS}{dt}$ – зміна площі краплі з часом.

Однак вирази (1-2) застосовні лише для тисків близьких до атмосферного, крім того, варто зазначити, що наведені формули не можуть в повній мірі описати процеси випаровування в реальних умовах, оскільки при отриманні вищезгаданих виразів було зроблено ряд спрощень (відсутність конвекції, сферичність поля концентрації тощо). Тому Фуксом була запропонована модель випаровування, котра враховує поправки формули Максвелла [4]

Використання теорії випаровування Фукса дає змогу ефективно описати випаровування за тиску значно меншого за атмосферний:

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{8\pi D C_0 - C_\infty}{\rho \left(1 + \frac{D}{ru\alpha}\right)} \quad (3)$$

де $u = v/4$ – четверта частина середньої теплової

швидкості молекул пари $v = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$.

Зокрема, використання виразу (3), отриманого Фуксом, при аналізі експериментальних даних дає можливість розрахунку коефіцієнта конденсації рідини, що випаровується. Варто зазначити також необхідність використання при аналізі

експериментальних результатів поправки на стефанівський потік St [4]:

$$St = \left(1 + \frac{P_0 + P_\infty}{2p}\right). \quad (4)$$

де P – повний тиск середовища, P_0 – тиск на поверхні краплі, що випаровується, P_∞ – тиск за умови $r \rightarrow \infty$ (рис.1).

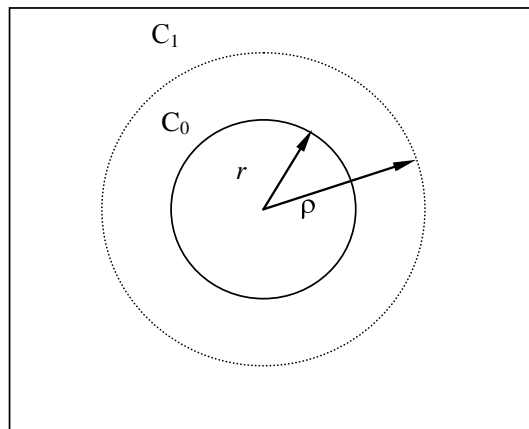


Рис. 1. Схематичне зображення краплі. r – радіус краплі рідини; C_0 – концентрація насиченої пари, що відповідає температурі поверхні краплі T_0 ; C_1 – концентрація пари на відстані Δ від поверхні краплі.

Зокрема, Стефаном було вказано на існування гідродинамічного потоку фонового газу поблизу поверхні краплі, що випаровується. Вказаний потік направлений від поверхні краплі, та компенсує дифузію газу. Варто відмітити, що поправка на стефанівський потік стає суттєвою лише за низьких тисків (при $p=750$ мм рт. ст. $St = 1,009$; при $p=65$ мм рт. ст. $St = 1,108$; при $p=10$ мм рт. ст. $St = 1,704$) [4-5].

Крім того, важливим фактором при обробці отриманих експериментальних даних є врахування поправки на вільну конвекцію – випадок, коли з'являються додаткові потоки теплоти або речовини

Вплив вільної конвекції, викликаної охолодженням крапель під час їх випаровування, визначається числом Шервуда Sh [4]:

$$Sh = 2 + 0.6Sc^{\frac{1}{3}}Gr^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

де, $Sc = \frac{\nu}{D}$ – критерій Шмідта для дифузійного процесу, який визначається відношенням кінематичної в'язкості ν до коефіцієнту дифузії

D , $Gr = \frac{8gr^3 \Delta T}{\nu^2 T}$ – критерій Грасгофа, в формулі якого g – прискорення вільного падіння, та ΔT –

різниця температур, що викликає процес конвекції

Експериментальна частина

Виміри проводились в герметичній камері з термостатом, всередині якої на підвісі підвішувалась крапля одного з досліджуваних спиртів, при заданих значеннях тиску, температури оточуючого газу (азоту) в камері та опромінення (рис.2). Крапля в процесі випаровування фотографувалась за допомогою установленної web-камери через рівні проміжки часу разом з масштабною лінійкою. Знімки автоматично реєструються на комп'ютері. За фотографіями методом графічного інтегрування визначалась площа поверхні краплі в кожний

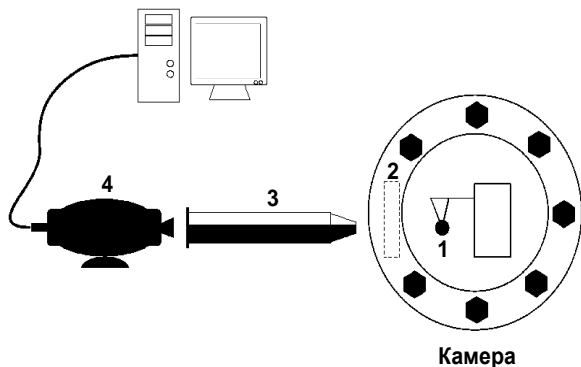


Рис. 2. Схема експериментальної установки для вимірювання швидкості випаровування крапель рідин.

момент часу, а далі і швидкість зміни поверхні краплі dS/dt [5].

1-краплина досліджуваної рідини
2-герметична камера

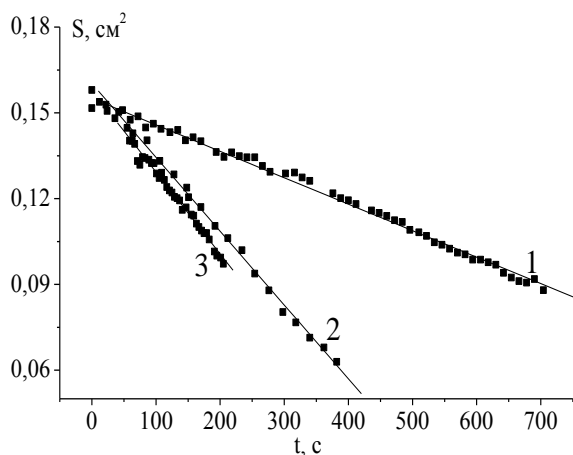


Рис. 3. Залежність зміни площі краплі досліджуваних спиртів від часу під дією опромінення при тиску 100 мм.рт.ст. Крива 1 – пентанол, 2 – бутанол, 3 – нонанол

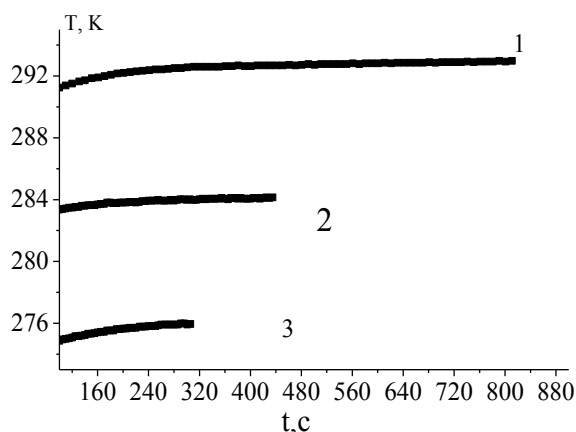


Рис. 4. Залежність температури краплі спиртів під час випаровування при заданій температурі фонового газу 293К (1 – пентанол, 2 – бутанол, 3 – нонанол)

3-оптична система
4-веб-камера

На основі досліджень, представлених в роботі [1], для вивчення впливу опромінення на процес випаровування спиртів було обрано значення тиску 100 мм.рт.ст. та проведено дослідження саме при опроміненні ультрафіолетовим випромінюванням довжиною хвилі 390 нм.

Аналіз отриманих результатів.

На рис.3–4 представлені відповідно залежності зміни площі крапель та їх температури для наступних спиртів: бутанолу, пентанолу та нонанолу, під дією опромінення довжиною хвилі 390 нм. Аналіз наведених графіків вказує на суттєву відмінність швидкості випаровування досліджуваних спиртів.

З представлених рисунків очевидно, що при заданому тиску 100 мм.рт.ст., заданій температурі оточуючого середовища 293 К та під дією опромінення довжиною хвилі 390 нм, найбільшу швидкість випаровування краплі має нонанол, а найменшу – пентанол. Значення швидкостей випаровування досліджуваних спиртів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Швидкість випаровування досліджуваних спиртів.

Спирт	Бутанол	Пентанол	Нонанол
$dS / dt * 10^5$, см ² /с	22,6	7,62	29

Також були розраховані значення коефіцієнтів конденсації в режимі без за

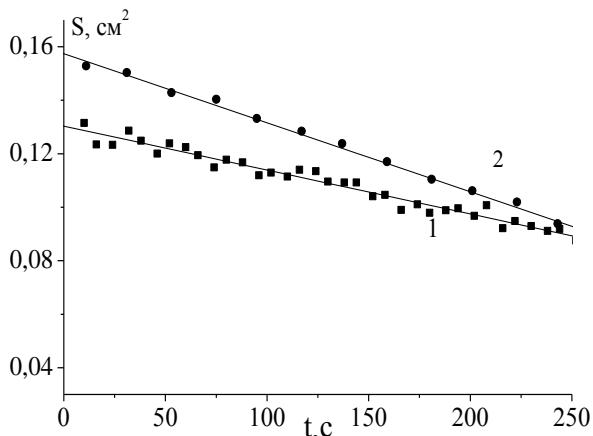


Рис. 5. Залежність зміни площі краплі бутанолу від часу при тискові 100 мм.рт.ст.. під дією опромінення та без нього. Крива 1 – випаровування в темновому режимі, 2 – випаровування з опроміненням.

наявності ультрафіолетового опромінення для бутанолу та пентанову й складають, відповідно: $\alpha = 0,0017$ та $\alpha = 0,002$.

Крім того, для бутанолу були проведені експериментальні дослідження з випаровування під дією опромінення з вказаною довжиною хвилі та в темновому режимі, тобто за відсутності опромінення. Отримані залежності представлені на рис.5. Аналіз останніх вказує на підвищення швидкості випаровування краплин бутанолу під дією опромінення в порівнянні зі швидкістю випаровування без нього. Зміна швидкості випаровування в зазначеному досліді складає 22%.

Висновки та результати

На основі отриманих експериментальних даних порівняно швидкості випаровування підвишених крапель досліджуваних спиртів бутанолу, пентанову та нанолу під впливом малопотужного (0,1 Вт) ультрафіолетового опромінення в атмосфері сухого азоту при тискові 100 мм рт. ст. За заданих значеннях тиску, температури та опромінення найбільшу швидкість випаровування краплини має нанол, а найменшу – пентанол.

Важливо відзначити, що для бутанолу спостерігається підвищення швидкості випаровування (22%) під дією опромінення довжиною хвилі 390 нм в порівнянні з випаровуванням без опромінення.

Список використаних джерел

1. The liquid droplets evaporation for low pressure's values under low-power irradiation with different frequencies at the optical range / A.V. Brytan, G.M. Verbinska, V.M. Sysoev [et al] // Ukrainian Journal of Physics. – 2011. – V. 56, N 4. – P.456-461.
2. Alcohols: Advances in Research and Application [online resource] : Edition Q. Ashton Acton PhD General Editor: A ScholarlyEditions™ eBook 2011 access mode: google.com.ua/books?id=Qc4kEEEqkJ8C&printsec=frontcover&hl=uk&source=gbs_ge_summar y_r&cad=0#v=onepage&q&f, 7.02.2013
3. Water and nitrobenzene droplets evaporation under ultraviolet irradiation / G.M. Verbinska, A.V. Brytan, V.L. Karbovskiy, T.V. Cleshchonok // Physics of aerodisperse systems. – 2010. – N 47.– P.49-58. (in Ukrainian)
4. N.A. Fuks, Evaporation and Growth of Droplets in a Gaseous Medium/ Fuks N.A. – M.:USSR Acad.Sci.Publ. House, Moscow, 1954. (in Russian)
5. Bulavin L.A. Kinetics of Liquid Droplet Evaporation in a Vapor-Gas Medium / L.A. Bulavin, G.M. Verbinska , V.M. Nuzhnyi. – Kyiv: Univ., Kyiv, 2003. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 12.02.2013