



УДК 621.455.4

## IONIC WIND ON THE DESK ІОННИЙ ВІТЕР НА ПИСЬМОВОМУ СТОЛІ

Koval D.R. / Коваль Д.Р.

*Student / студент*

Chursanova M.V. / Чуранова М.В.

*PhD, as.prof. / к.ф.-м.н, доцент*

ORCID: 0000-0001-6977-7473

Drozdenko O.V. / Дрозденко О.В.

*Senior Lecturer / ст. викладач*

ORCID: 0000-0002-2141-411X

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
Kyiv, Beresteiskiy prospekt (Peremohy), 37, 03056*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського», Київ, Берестейський проспект (Перемоги), 37, 03056*

**Анотація.** В даній роботі було створено власну експериментальну модель для спостереження іонного вітру в домашніх умовах. Цей цікавий електричний феномен є основою для розробки іонних двигунів, що створюють реактивну тягу не маючи механічних рухомих частин, не продукуючи шкідливих викидів і використовуючи як робоче тіло оточуючий газ. Модифікації іонних двигунів мають перспективну тенденцію застосування у космічній техніці і демонструють дуже хороші робочі характеристики на орбіті та у космосі: довгий термін служби (~5 років), висока швидкість вильоту частинок з сопла, в багато разів більша ніж у традиційного ракетного двигуна. Іонні двигуни також можуть бути використані в надвисотній авіації та безпілотних літальних апаратах.

**Ключові слова:** іонний вітер, ефект Біфельда-Брауна, іонний двигун

### Вступ.

Іонний вітер, відомий як ефект Біфельда-Брауна, представляє собою цікавий електричний феномен, коли при коронному розряді в системі асиметричного конденсатора виникає іонізація молекул повітря, утворені іони прискорюються електричним полем і, зіштовхуючись з іншими молекулами, також передають їм імпульс. Таким чином утворюється напрямлений струмінь, що може стати джерелом реактивної тяги, не потребуючи згоряння пального і не продукуючи шкідливих викидів.

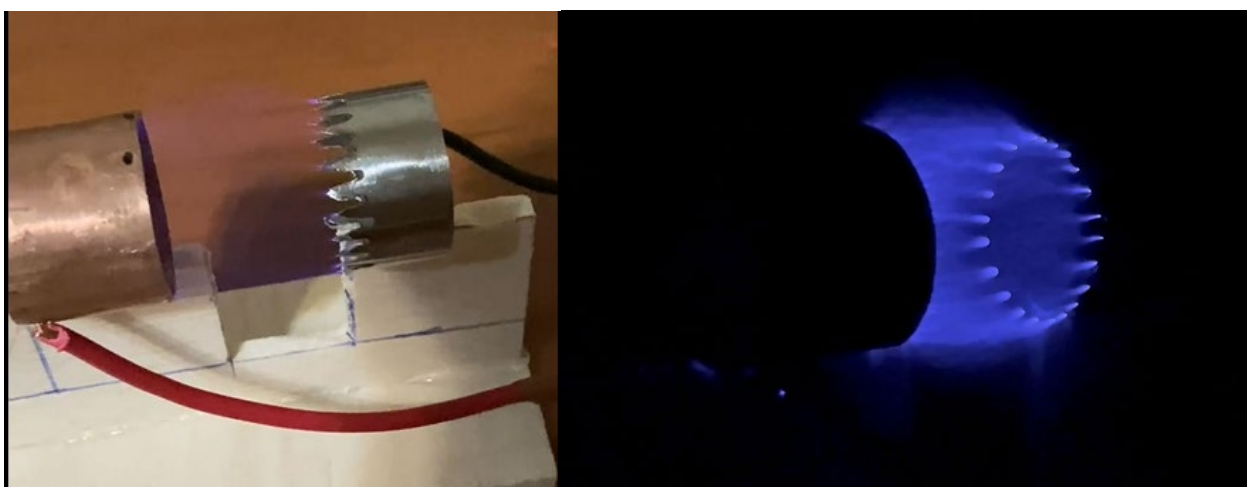
Але для виникнення іонного вітру необхідне поєднання ряду умов. По-перше, між електродами потрібно прикласти досить високу напругу порядку десятків кіловольт. При цьому напруженість поля має бути достатньою для виникнення коронного розряду, але не досягати межі коли відбудеться електричний пробій повітряного зазору. По-друге, необхідний асиметричний конденсатор, в якому один електрод широкий з плавними краями, а другий навпаки тонкий і загострений. Тоді в околі загостреного електроду створюється підвищена концентрація електричного поля і за рахунок цього напруженість біля загострень досягає значень достатніх для іонізації молекул повітря (у разі подачі негативної напруги до загостреного електроду іонізуються молекули кисню, позитивної – молекули азоту). Виникає ланцюгова реакція: прискорені вільні електрони в області сильного поля зіштовхуються з молекулами повітря,



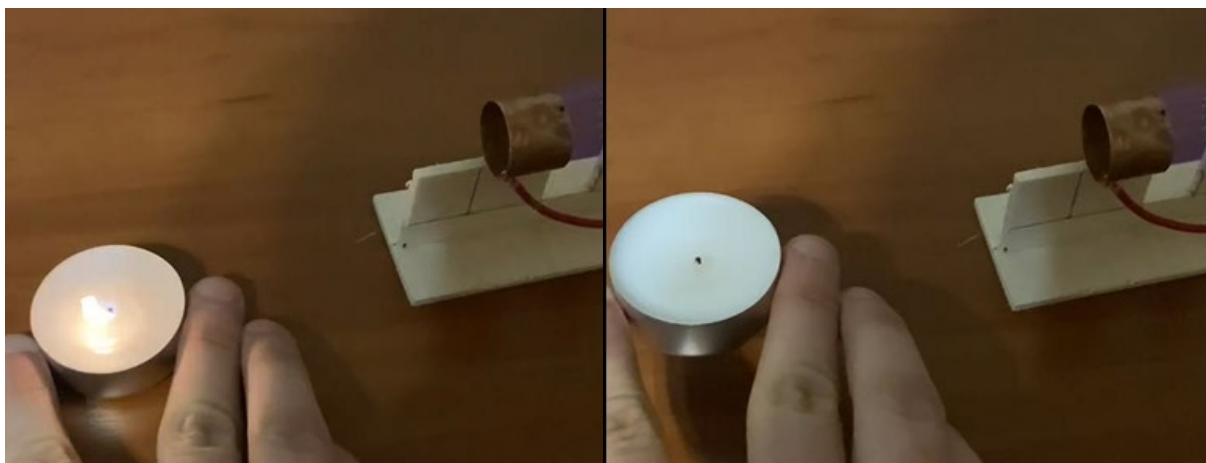
іонізуючи їх та вивільняючи з них нові електрони, які потім іонізують ще більше молекул. Таким чином відбувається коронний розряд, і емітовані іони під впливом кулонівських сил рухаються у бік широкого електрода – колектора, зіштовхуючись на шляху з нейтральними молекулами та передаючи їм імпульс, і, як наслідок, створюючи потік середовища з силою тяги діючої у бік емітера. На цьому явищі базується розробка іонних реактивних двигунів, які працюють за рахунок самого середовища, не потребують згоряння пального, не мають механічних рухомих деталей що зазнають зносу (таких як турбіни чи пропелери), тому є довговічними та простими за конструкцією [1, 2]. Модель іонного двигуна можна створити навіть у домашніх умовах, що і було зроблено у даній роботі, і одержано іонний вітер на письмовому столі.

### Експериментальна частина.

Для розробки цього експерименту був використаний генератор високої напруги, який перетворює 3-6 вольт на 400 кіловольт. Це дуже велике значення напруги, тому під час роботи необхідно бути особливо обережним, дотримуючись всіх правил техніки безпеки поводження з електричними приладами. Асиметричний конденсатор був виготовлений з двох металевих пустотілих циліндрів. Циліндр-колектор (гладкий електрод) мав діаметр 20 мм, а циліндр-емітер (гострий електрод) мав діаметр 19 мм, і по його ободу були вирізані гострі грані (див. рисунок 1). Саме ці гострі грані будуть створювати підвищену концентрацію силових ліній поля, тому кращою є їх велика кількість, але при цьому вони мають бути розташовані періодично на певній відстані одна від одної щоб створити рівномірно розподілений потік іонів з емітера і не допустити «з'єднання» струменів та перетворення коронного розряду на шнуровий. Відстань між пустотілими циліндрами у експерименті була 20 мм. Замала відстань може призвести до електричного пробою, але для максимальної напруженості поля її треба підібрати максимально близькою до тої межі з якої вже утворюється шнуровий розряд. За допомогою описаної моделі вдалось успішно створити іонний вітер, який був достатньо сильним щоб задути полум'я піднесеної свічки, як видно на кадрах відеозапису експерименту (рисунок 2).



**Рисунок 1 – Експериментальна модель зі створення іонного вітру, який можна спостерігати при ввімкненому освітленні та у темряві.**



**Рисунок 2 – Іонний вітер загасив полум'я свічі.**

Сила тяги, створена іонним вітром, прямо пропорційна електричному струму, який протікає в системі, що в свою чергу залежить від конфігурації емітера і колектора [2] і відкриває широке поле для пошуку конструкторських рішень. Головною проблемою двигунів на іонному вітрі є низькі значення цієї сили (порядку кількох ньютон) при великих значеннях споживаної електричної потужності. Але вони можуть бути досить ефективно використані в літальних апаратах малої маси, таких як БПЛА (безпілотні літальні апарати).

#### **Перспективи двигунів на іонному вітрі.**

На сьогоднішній день ведуться активні наукові розробки щодо застосування явища іонного вітру у ракетних двигунах. Тут робочим середовищем слугує, як правило, інертний газ, який іонізується у спеціальній камері.

Основними елементами іонного двигуна є:

- Іонізаційна камера, в якій молекули газу іонізуються.
- Електрична система, що прискорює іони до високих швидкостей.
- Сопло, через яке викидаються іони.

Принцип роботи іонного двигуна такий:

1. Молекула газу потрапляє в іонізаційну камеру.
2. У камері один або кілька електронів відриваються від молекули.
3. Іонізована молекула (іон) під дією електричного поля прискорюється до високих швидкостей.
4. Іон вилітає з сопла, створюючи реактивну тягу.

Переваги іонного двигуна над іншими типами реактивних двигунів:

- ✓ Іонні двигуни здатні генерувати великі швидкості викидання частинок (понад 210 км/с порівняно з 3-4,5 км/с у хімічних ракетних двигунах) з великим значенням питомого імпульсу, що дозволяє досягати значної швидкості космічного корабля [3],
- ✓ Можливість тривалої роботи без дозаправки (на даний момент найдовше працювала модель NASA's Evolutionary Xenon Thruster – 5,5 років при використанні лише 870 кг ксенону, в той час як двигун на хімічному паливі використовує 10 тон палива). Витрати пального іонним двигуном набагато менші порівняно з іншими видами космічних двигунів [4].



Недоліки іонного двигуна:

- Дуже слабка тяга, тобто для старту з Землі цей двигун не підходить, але у відкритому космосі за низького потенціалу гравітаційних полів він показує дуже хороші характеристики.
- Потреба в потужному джерелі електричного поля.

Робоча конструкція іонного двигуна розділяє генерацію іонної плазми та формування з неї направленої струменя, тому такий двигун характеризується високою стабільністю за різних робочих умов і дозволяє досягти високоточних безперервних налаштувань сили тяги у широкому діапазоні. Тому іонні двигуни все частіше використовуються для точної компенсації аеродинамічного гальмування на субнижній навколоземній орбіті на супутниках та як орбітальні двигуни космічних кораблів, забезпечуючи контроль орбіти, точні орбітальні маневри, виконуючи стабілізацію позиції. Для покращення ефективності використовується кластер з кількох іонних двигунів, а також їх поєднання з сонячними панелями живлення [5].

### Висновки.

Явище іонного вітру є цікавим феноменом що може слугувати основою для розробки реактивних двигунів з рядом переваг. Вже сьогодні іонні двигуни використовуються на космічних кораблях, де вони дозволяють досягти високої швидкості руху та точності маневрів при відносно невеликій силі тяги. Вони також можуть використовуватися в надвисотній авіації та безпілотних літальних апаратах.

### Література:

1. I built an IONIC PLASMA THRUSTER // [Electronic resource]. Available at: <https://youtu.be/mnCmvxt2jn8?si=o3hHdd12Y2EvP3UB>
2. Plouraboué, F. Flying with ionic wind // NEWS & VIEWS of NATURE, 2018. – Vol. 563. – p. 476. Available at: <https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-018-07411-z/d41586-018-07411-z.pdf>.
3. Bramanti, C., Walker, R., Sutherland, O., Boswell, R., Charles, C., Fearn, D., ... & Orlandi, M. The innovative dual-stage 4-grid ion thruster concept-theory and experimental results // In *57th International Astronautical Congress*, 2006. - p. C4.4.07. Available at: <https://www.esa.int/gsp/ACT/doc/PRO/ACT-RPR-PRO-IAC2006-DS4G-C4.4.7.pdf>
4. Dwayne Brown; Katherine K. Martin; Glenn Mahone. NASA Thruster Achieves World-Record 5+ Years of Operation // [Electronic resource]. Available at: <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-thruster-achieves-world-record-5-years-of-operation/>
5. Yang, Y., Zhou, S., Liu, X., Wang, Z., & Nie, W. Experimental research on micro thrust measurement of ion thruster under variable working conditions // *Vacuum*, 2023. – Vol. 217. – p. 112499. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112499>

*Abstract.* An original experimental model for the ionic wind observation at home has been created in the present work. This interesting electrical phenomenon is the basis for development of ionic thrusters which make jet thrust without mechanical moving parts, without producing harmful emissions and using the surrounding gas as a working body. Modifications of ionic thrusters have a



*promising trend of application in space technology and demonstrate very good operating characteristics on the orbit and in open space: long operation terms (~5 years), high speed of particle ejection from the nozzle, which is many times greater than that of a traditional rocket engine. Ionic thrusters can also be used in high-altitude aviation and unmanned aerial vehicles.*

**Key words:** ionic wind, Biefeld–Brown effect, ionic thruster

Стаття відправлена: 21.02.2024 р.

© Коваль Д.Р., Чурсанова М.В., Дрозденко О.В.