

Юрій Дунаєв  
Україна, Київ  
([dunaev.levitski@gmail.com](mailto:dunaev.levitski@gmail.com))

## МЕХАНІЗМ ТРИБОЕЛЕКТРИЧНОГО ЕФЕКТУ

(MECHANISM OF TRIBOELECTRIC EFFECT)

© Юрій Дунаєв, 2015

### Ключові слова:

Електричний заряд, трибоелектрика, трибоелектричний ефект, статична електрика, газові закони, електричний потенціал, електрична енергія, електрон, електронний газ, електронна хмара.

### Реферат

Якщо фізичні тіла є або щойно були поєднаними з землею, швидкості хаотичного руху електронів їх електронних хмар мають бути однаковими. Якщо звести до контакту два тіла – носії електронних хмар, в котрих тиски електронного газу суттєво різняться, а потім їх розвести знову, маси цих хмар повинні будуть змінитися, і суть такої зміни полягатиме в переході частини електронів з хмари, що мала більш високий тиск, до іншої, що мала нижчий тиск. Об'єкти, виконані з діелектриків, не мають хмар, що могли б їх обволочти повною мірою. Натомість, ці об'єкти мають безліч мікроскопічних хмаринок, що обгортають окремі молекули або групи молекул і є пов'язані між собою лише ефіром. Аби при трибоелектричному заряджанні добитися контакту яка мого більшої кількості електронних хмаринок, асоційованих з об'єктами, виконаними з діелектриків, потрібно ці об'єкти терти один об одний. Заряджені діелектричні об'єкти довше і не в приклад провідникам, зберігають свої заряди, під якими розуміються надлишок електронів, з одного боку, і їх недостача, з іншого боку.

### Передмова

Як свідчить [1], трибоелектричний ефект є свого роду контактною електризацією, за якої певні матеріали стають електрозарядженими після взаємного контакту, а радше тертя з іншими матеріалами. Тертя скла хустром, або розчісування волосся гребенем можуть утворити трибоелектрику. Більшість повсякденної статичної електрики є трибоелектрика. Утворені полярність і сила зарядів різняться в залежності від шершавості, температури, напружень і інших факторів. Трибоелектричний ефект є слабо передбачуваним, і щодо нього можна зробити лише широкі узагальнення. Серед найширше відомих проявів трибоелектризації є електризація бурштину при його натиранні вовною, що його вперше зареєстрував Талес з Мілету, котрий і запропонував слово «електрика» від слова «електрон», котре по-грецьки означає бурштин. Інші широко відомі прояви складають скло, потерте шовком, або тверда гума, потерта хустром.

У 1757 році Джон Карл Вільке оприлюднив статтю, в котрій були наведені данні про так звані трибоелектричні серії з переліком матеріалів, розміщених у залежності від знаку і величини заряду, набутих при їх взаємному контакті. Матеріал, розміщений ближче до низу серії, після

контакту з матеріалом, розміщеним ближче до верху серії, мав одержати негативніший заряд. Чим далі в серії розходились матеріали, тим більшим очікувався набутий заряд, тоді як матеріали, що знаходились у серії близько один від одного, могли не змінювати заряди, або навіть могли їх змінювати протилежно приписаному в серії напрямку.

Хоч префікс «трибо» походить від грецького слова, що означає тертя, два взаємодіючі матеріали для обміну зарядами потребують лише введення їх до контакту. Механізм цього обміну джерело [1] пояснює тим, що після введення до контакту між частинами поверхні тіл формується хімічний зв'язок під назвою «адгезія», і заряди переходять з одного матеріалу до іншого для вирівнювання свого електрохімічного потенціалу, а це створює дебаланс електричних зарядів між взаємодіючими об'єктами. Після роз'єднання деякі з раніше зв'язаних атомів мають тенденцію зберегти надлишок електронів, а інші – від них позбавитись. Таке пояснення видається мало обґрунтованим, мало зрозумілим, і невідповідним уявленням Ефірові дружньої фізика про фізичну суть електричних зарядів [2].

Відтак – метою дослідження є розкриття механізму трибоелектричного ефекту, котрий був би у повній згоді з висунутими Ефірові дружньою фізикою концепціями, викладеними в [3 і 4].

#### Трибоелектричний ефект і газові закони

У відповідності з вище згаданими концепціями фізичні тіла з електропровідного матеріалу, можна розглядати як складені з протонної матерії, з якої утворені ядра атомів, молекул і іонів, і електронів, причому останні частково знаходяться на навкругядерних орбітах а частково входять до складу електронного газу, що обволікає фізичне тіло у формі деякої хмари, в котрій електрони знаходяться у безперервному хаотичному русі з однаковою для всієї хмари швидкістю. Електронна хмара притискається до протонної матерії тіла силами Фаціо, котрі увійшли в науку під назвою електромагнітних сил, унаслідок чого кожне окремо взяте тіло з електропровідного матеріалу має свою окрему і зазвичай непов'язану з іншими електронну хмару. Хоч фізичні тіла, з котрими найчастіше пов'язують трибоелектричний ефект, не є електропровідними, і як це ми побачимо далі, є асоційовані не з однією, а зі значно більшою кількістю електронних хмар, пропонується нижче для розгляду модель трибоелектричного механізму побудована на взаємодії двох тіл, що мають по одній електронній хмарі. Більше того, для подальшого спрощення аналізу роботи цієї моделі, пропонується, щоб ці дві хмари мали однакову масу.

Якщо фізичні тіла є або щойно були поєднаними з землею, швидкості хаотичного руху електронів їх електронних хмар мають бути однаковими. Електронні хмари, асоційовані з двома різними тілами можуть мати різні питомі маси, а відтак – різні питомі енергії (сумарні енергії руху електронів, що знаходяться в одиниці об'єму хмар) і різні тиски електронного газу. Останній, за нашими переконаннями, має всі ознаки ідеального газу, і так само як і звичайні молекулярні гази має підпорядковуватись відомому Законові ідеального газу [5]

$$PV = nRT \quad (1), \text{ в котрому}$$

$P$  є тиск газу,

$V$  є об'єм газу,

$n$  є кількість газової речовини в молях,

$R$  є універсальна газова стала, що дорівнює добуткові сталої Больцмана і сталої Авогадро,

$T$  є температура газу.

За нашим переконанням електронний газ задовольняє всім вимогам, поставленим перед ідеальним газом, і тому, враховуючи його особливості а також думки, висловлені в [5], формулу (1) для електронного газу можна записати як

$$PV = E \quad (2), \text{ де}$$

$P$  є тиск електронного газу,

$V$  є об'єм, що його займає одиниця маси електронного газу,

$E$  є кінетичною енергією електронів одиниці маси електронного газу, що займає зазначений об'єм.

Для двох різних електронних хмар зазначене рівняння дозволяє записати

$$P_1V_1 = P_2V_2 = E \quad (3), \text{ або}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (4).$$

Якщо у взятих для прикладу двох хмарах одиничної маси 1 і 2 об'єми  $V_1$  і  $V_2$  є об'ємами одиничних мас, вони мають бути також і їх фактичними об'ємами, і ці фактичні об'єми хмар, так само як і тиски  $P_1$  і  $P_2$  є за нашими переконанням величинами, виключно залежними від особливостей їх носіїв.

Якщо носії хмар 1 і 2 ввести до контакту і дозволити хмарам 1 і 2 об'єднатися в одну спільну хмару 3, то об'єм одиниці маси об'єднаної хмари становитиме  $V_3 = \frac{V_1+V_2}{2}$  (бо маса збільшилась у двічі), а її тиск становитиме  $P_3 = \frac{P_1V_1+P_2V_2}{V_1+V_2}$ . Взевши для прикладу  $P_1 = 10$ ,  $V_1 = \frac{1}{10}$ ,  $P_2 = 2$ ,  $V_2 = \frac{1}{2}$ ,  $E = 1$ , одержуємо

$$P_3 = \frac{P_1V_1+P_2V_2}{V_1+V_2} = \frac{1+1}{6/10} = \frac{10}{3}. \quad V_3 = \frac{6}{10 \cdot 2} = \frac{3}{10}. \quad P_3V_3 = 1.$$

Для більшої наочності зводимо одержані дані в таблицю 1.

Таблиця 1

Тиск	Об'єм		Маса	Енергія
	Одиниці маси	Фактичний		
$P_1 = 10$	$V_1 = 0.1$	0.1	$m_1 = 1$	$P_1V_1 = E = 1$
$P_2 = 2$	$V_2 = 0.5$	0.5	$m_2 = 1$	$P_2V_2 = E = 1$
$P_3 = \frac{10}{3} = 3.33$	$V_3 = 0.3$	0.6	$m_3 = 2$	$P_3V_3 = E = 1$

Якщо носії хмари 3 розвести знову, поновлені на них хмари 1а і 2а займуть попередні фактичні об'єми  $V_1$  і  $V_2$ , тиск охопленого ними електронного газу збереже величину  $P_3$ , а одиничні маси обох хмар 1а і 2а збережуть об'єми  $V_3$ . Відношення  $\frac{V_1}{V_3} = \frac{0.1}{0.3} = \frac{1}{3}$  покаже, у скільки раз зменшиться маса хмари 1а по відношенню до хмари 1, так само як відношення  $\frac{V_2}{V_3} = \frac{0.5}{0.3} = \frac{5}{3}$  покаже, у скільки раз збільшиться маса хмари 2а порівняно до хмари 2. Маси хмар 1а і 2а в сумі складуть  $\frac{1}{3} + \frac{5}{3} = 2$ , що і очікувалось.

Данні про поновлені хмари 1a і 2a розміщуємо в Таблиці 2

Таблиця 2

Тиск	Об'єм		Маса	Енергія
	Одиниці маси	Фактичний		
$P_{1a} = 3.33$	$V_{1a} = 0.3$	0.1	$m_{1a} = \frac{1}{3}$	$P_{1a}V_{1a} = E = 1$
$P_{2a} = 3.33$	$V_{2a} = 0.3$	0.5	$m_{2a} = \frac{5}{3}$	$P_{2a}V_{2a} = E = 1$

Як можна зрозуміти з вище викладеного наслідком проведеної операції по об'єднанню і роз'єднанню хмар стане те, що тіло 1 втратить дві третини маси своєї електронної хмари і стане зарядженим позитивно, тоді як тіло 2 набуде дві третини маси своєї електронної хмари і стане зарядженим негативно.

Викладене вище свідчить про те, що якщо звести до купи два тіла – носії електронних хмар, в котрих тиски електронного газу суттєво різняться, а потім їх знову розвести, маси цих хмар повинні будуть змінитися, і суть такої зміни полягатиме в переході частини електронів з хмари, що мала більш високий тиск до іншої, що мала нижчий тиск.

#### Про роль взаємного тертя заряджуваних матеріалів

Хоч, як вже відмічалось в Передмові, для одержання трибоелектричного ефекту достатньо просто прикласти тіла один до одного, у більшості випадків така проста операція виявляється недостатньою, і для одержання бажаного результату доводиться вдаватись до їх взаємного тертя, чим і пояснюється надана ефектові назва. Як відомо, переважна більшість матеріалів, застосовуваних при демонстрації трибоелектричного ефекту, є діелектриками, тобто матеріалами, що вкрай погано проводять електричний струм. Таку погану електропровідність можна пояснити тим, що не в приклад провідникам, об'єкти, виконані з діелектриків, не мають хмар, що могли б їх обволочти повною мірою. Натомість, ці об'єкти мають безліч мікроскопічних хмаринок, що обгортають окремі молекули або групи молекул і є пов'язані між собою лише ефіром. Тому аби добитися контакту яка мого більшої кількості таких хмаринок, асоційованих з тим і іншим об'єктом, доводиться ці об'єкти терти один об одний. Крім того, заряджені діелектричні об'єкти довше і не в приклад провідникам, зберігають свої заряди, під якими, як зрозуміло, розуміються надлишок електронів, з одного боку, і їх недостача, з іншого боку.

#### **ВИСНОВКИ**

- 1) Якщо фізичні тіла є або щойно були поєднаними з землею, швидкості хаотичного руху електронів їх електронних хмар мають бути однаковими;
- 2) Якщо звести до контакту два тіла – носії електронних хмар, в котрих тиски електронного газу суттєво різняться, а потім їх розвести знову, маси цих хмар повинні будуть змінитися, і суть такої зміни полягатиме в переході частини електронів з хмари, що мала більш високий тиск, до іншої, що мала нижчий тиск;
- 3) Об'єкти, виконані з діелектриків, не мають хмар, що могли б їх обволочти повною мірою. Натомість, ці об'єкти мають безліч мікроскопічних хмаринок, що обгортають окремі молекули або групи молекул і є пов'язані між собою лише ефіром;

- 4) Аби при трибоелектричному заряджанні добитися контакту яка мого більшої кількості електронних хмаринок, асоційованих з об'єктами, виконаними з діелектриків, потрібно ці об'єкти терти один об одний;
- 5) Заряджені діелектричні об'єкти довше і не в приклад провідникам, зберігають свої заряди, під якими розуміються надлишок електронів, з одного боку, і їх недостача, з іншого боку.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

- 1) [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Triboelectric\\_effect&oldid=687534957](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Triboelectric_effect&oldid=687534957)
- 2) Юрій Дунаєв, Маса і електричний заряд як дві інші іпостасі екрануючої площі, [/Research Papers-Quantum Theory / Particle Physics/Download/4359](#)
- 3) Юрій Дунаєв, Електричний Струм В Ефірові Дружній Фізиці, [/Research Papers-Mechanics / Electrodynamics/Download/6223](#)
- 4) Юрій Дунаєв, Електричний Струм В Ефірові Дружній Фізиці, Перший додаток, [/Research Papers-Mechanics / Electrodynamics/Download/6240](#)
- 5) Юрій Дунаєв, Ефірові дружня фізика і газові закони, [/Research Papers-Chemistry/Download/5759](#)