

**Шановний Президенте Національної академії наук України,
шановні учасники читань академіка Вернадського!**

Спочатку дозвольте висловити свою глибоку подяку Президії Національної академії наук України за нагородження Золотою медаллю імені Володимира Івановича Вернадського і відмітити, що ця нагорода є результатом наполегливої праці і моїх колег, співробітників Інституту термоелектрики.

Рис. 1. Термоелектрика заснована на відомих зі школи ефектах Зеєбека і Пельтьє.

Ефект Зеєбека виникає у електричному колі з двох різних провідників А і В, з'єднаних одними кінцями. Такий пристрій прийнято називати термопарою. При розігріві з'єднання на вільних кінцях термопари виникає електрична напруга, що і є ефектом Зеєбека.

Ефект Пельтьє є зворотнім до ефекту Зеєбека. При пропусканні через термопару електричного струму з'єднання охолоджується.

Напруги від термопар, зроблених з металевих сплавів, були незначними, інтерес до термопар був не великим, термоелектрика була забута майже на 150 років.

Та у 40-х роках минулого сторіччя інтерес до термоелектрики відновився. Він, у першу чергу, був зумовлений діяльністю нашого співвітчизника Абрама Федоровича Йоффе.

Рис. 2. Дещо про Йоффе. Він народився у місті Ромни Сумської області. Був учнем Рентгена. Академік Йоффе був провідним вченим і організатором науки. Відкрив 16 науково-дослідних інститутів, в першу чергу Фізико-технічний інститут, яким керував біля 30 років, і який тепер носить його ім'я.

Рис. 3. Лебединою піснею його наукової діяльності була термоелектрика. Ще у роки Вітчизняної війни під керівництвом Йоффе для живлення радіостанцій було створено вмонтоване в армійський казанок термоелектричне джерело електрики. У цих генераторах була реалізована провідна ідея Йоффе про використання у термоелектриці напівпровідників.

Рис.4. У 1954 році для розвитку термоелектрики у Петербурзі було відкрито Інститут напівпровідників, очолюваний Йоффе. Тут була створена теорія термоелектричних генераторів та холодильників і закладено основи термоелектричного матеріалознавства. Був відкритий критерій якості термоелектричного матеріалу Z , який називають критерієм Йоффе, та механізми його покращення.

Рис. 5. Академік Йоффе залучав до вивчення термоелектрики і наукові центри та ВУЗи країни. Серед них був і Чернівецький державний університет.

У 1959 році я, будучи студентом цього університету, розробив автоматизовану установку для вимірювань властивостей термоелектричних матеріалів. Завдяки цьому був запрошений у Інститут Йоффе. Зустріч з ним для мене була доленосною – з тих пір я присвятив термоелектриці більше 60 років свого життя. Та у 1960 році Йоффе помер. Кандидатську дисертацію я захистив вже без нього.

Важким ударом для мене було і закриття Інституту напівпровідників, флагмана термоелектрики, під тим приводом, що термоелектрика себе вичерпала.

Тому для мене стало важливим питання, чи дійсно наука про термоелектрику не має перспектив. Для мене це питання мало принципове значення і я взявся до його вивчення.

Рис. 6. Повертаючись до витоків термоелектрики, а саме до діяльності Зеєбека і Пельтьє, привертало увагу те, що відкриття і ефекту Зеєбека і ефекту Пельтьє були випадковими. Зеєбек шукав причину виникнення магнітного поля Землі і своє відкриття навіть назвав «термомагнетизмом», заперечуючи його електричну природу; Пельтьє вимірював питому електропровідність вісмуту і

звернув увагу на аномалії температури, що виникали при цьому. Їх об'єднувало одне – фізичною моделлю їх ефектів, як уже відмічалось, була термопара.

Виходило, що термоелектрика побудована на випадковій моделі термоелектричного перетворювання енергії – на термопарі, при чому ні звідки не витікало, що ця модель є найкращою.

Рис. 7. Тому мало зміст розглянути більш узагальнену модель термоелектричного перетворення енергії у вигляді довільного середовища з довільними властивостями при дії на нього фізичних полів – температурного, електричного, магнітного та силового. При цьому індикатором перетворення енергії є індукція замкнених електричних струмів, для якої $rot j \neq 0$.

З цієї умови витікає закон термоелектричної індукції струму, подібний до закону Фарадея для електромагнітної індукції.

Рис. 8. З цього закону витікає таблиця можливих варіантів термоелектричних перетворень енергії. Вона побудована на комбінації фізичних полів та властивостей середовища. В таблиці 128 клітин, з яких 4, позначені нулями, інформують про неможливість термоелектричного перетворення енергії; 4 – червоні, використовуються, при чому серед них є і відома нам термопара; досліджуються ще 14 варіантів, вони позначені синіми клітинами; а 106 варіантів взагалі не вивчались і є білими плямами на карті термоелектрики. Отже, з цієї таблиці витікає, що термоелектрика знаходиться ще у юному віці – найбільш функціональні, і, отже, найбільш перспективні варіанти термоелектричного перетворення енергії ще не вивчені.

Цей результат був переконливим доказом перспективності термоелектрики, що надихало на її подальше вивчення.

Виходило, що закриття флагмана термоелектрики – Інституту напівпровідників Йоффе – було помилкою, і я, як учень Абрама Федоровича Йоффе, мав докласти всіх зусиль, щоб цю помилку виправити. Створення термоелектричного інституту академічного рівня для розв'язку нових задач термоелектрики стало метою мого життя.

Для її реалізації в першу чергу слід було подбати про підготовку кадрів з термоелектрики. Для цього у Чернівецькому університеті було відкрито кафедру термоелектрики, єдину у світі такого профілю, що працює і зараз.

Рис. 9. Одночасно на кафедрі розвивалась і наукова робота. Були розроблені методи, як з кожної клітини таблиці винаходити нові типи термоелементів. Досить швидко тільки з трьох клітин таблиці було винайдено 15 нових типів термоелементів, запатентованих у провідних країнах світу.

Рис. 10. Особливо привабливими були спіральні термоелементи, виконані з анізотропних матеріалів. Наприклад, при об'ємі спіралі 1 см^3 вона розвивала напругу до 1000 В. Щоб отримати таку напругу термопарами необхідно послідовно з'єднати їх біля ста тисяч, що неможливо.

Рис. 11. Було розроблено і матеріалознавство для анізотропних термоелементів. Як і для термопар, були знайдені критерії добротності та механізми виникнення анізотропії термоЕРС.

Рис. 12. Спіральні термоелементи виявилися надчутливими сенсорами теплового потоку. Ними швидко зацікавилися військові, встановивши їх на торпеди, які по тепловому сліду підводних човнів знаходили їх і знищували.

Рис. 13. Створена замаскована розвідувальна інформаційна апаратура з ресурсом роботи 20-30 років. Для забезпечення довготривалої її роботи використовувалося термоелектричне джерело електрики, що працювало від перепаду температур в Землі.

Надійшло замовлення і на мікрокалориметр для визначення деградації вибухових речовин.

Рис. 14. У розвиток цього напрямку було створено універсальний надчутливий мікрокалориметр. Він був відмічений медаллю С. І. Вавілова. Його чутливість не перевершена до цього часу. Наведені приклади демонстрували нові можливості термоелектрики.

Кількість замовлень, особливо військового призначення, наростала, число співробітників кафедри сягло більше 100 одиниць. Їх діяльність виходила за межі можливостей університету.

Рис. 15. Тому у 1980 році на базі контрактних підрозділів кафедри було відкрито конструкторське бюро «Фонон».

«Фонон» одразу був залучений до виконання важливих завдань. За роки своєї активності «Фонон» став головною організацією з термоелектрики в країні з чисельністю біля 1000 співробітників. Ним було розроблено біля 300 різноманітних пристроїв, у першу чергу військового та космічного призначення. Побудовані наукові та дослідно-виробничі корпуси площею біля 10 000 м².

Отже, зросли і можливості для реалізації заповітної мрії – створення науково-дослідного інституту з термоелектрики.

Рис. 16. Такий інститут було відкрито на базі КБ «Фонон» у 1990 році. З'явилася можливість вільно займатися наукою, а не працювати за указкою військових відомств.

Ця можливість покликала нас до поїздок у головні міжнародні центри з термоелектрики для визначення свого місця у світовій термоелектричній науці. Ці поїздки дозволили встановити, що науковий рівень Інституту термоелектрики не поступається міжнародному, а з деяких напрямів його переважає.

У 1994 році інститут організував у себе Міжнародну конференцію з термоелектрики. В її роботі прийняли участь провідні спеціалісти з ряду країн світу, у тому числі з США, Японії, Західної Європи.

Інститут справив сильне враження на гостей, особливо таблиця перспектив розвитку термоелектрики.

Рис. 17. На конференції Інститут термоелектрики запропонував створити своєрідний міжнародний елітний клуб з провідних спеціалістів з термоелектрики для дієвого спілкування та обговорення нових ідей з розвитку термоелектрики.

Такий клуб було запропоновано назвати «Міжнародною термоелектричною академією». Пропозиція була прийнята з ентузіазмом.

Міжнародна термоелектрична академія була зареєстрована у Міністерстві юстиції України. Президентом академії був обраний директор Інституту термоелектрики.

На той час до складу Міжнародної термоелектричної академії було обрано 14 академіків з 8 країн світу. Зараз, через 26 років, до складу академії входять 94 академіки та члени-кореспонденти з 24 країн світу, що свідчить про зростання її міжнародного авторитету.

Академією утверджено найвищу міжнародну нагороду за успіхи у термоелектриці – Почесний золотий приз – у вигляді стилізованої богині мудрості – Афіни.

Рис. 18. Міжнародна термоелектрична академія сприяла і налагодженню наукових та ділових зв'язків між Інститутом термоелектрики і організаціями з 24 країн світу.

Це сприяло залученню інституту до участі у міжнародних термоелектричних програмах. В результаті, наприклад, розробки інституту встановлені вже на 250 космічних апаратах.

Рис. 19. Міжнародна термоелектрична академія також увіковічнює пам'ять фундаторів термоелектрики, встановлюючи пам'ятники на їх батьківщині. 28 листопада 2020 року такий пам'ятник було встановлено до 140-річчя з дня народження фундатора напівпровідникової термоелектрики академіку Абраму Федоровичу Йоффе.

Рис. 20. На завершення є важливим відмітити, що розвитку термоелектрики в Україні активно сприяв Президент НАН України академік Борис Євгенович Патон. Завдяки цьому Україна стала однією з провідних країн світу з термоелектрики.

Дякую за увагу!