



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

**ПРО ПЕРСПЕКТИВИ
РОЗВИТКУ ТЕРМОЕЛЕКТРИКИ**

ВИСТУП

**ЛАУРЕАТА ЗОЛОТОЇ МЕДАЛІ ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
ДИРЕКТОРА ІНСТИТУТУ ТЕРМОЕЛЕКТРИКИ
НАН ТА МОН УКРАЇНИ
АКАДЕМІКА НАН УКРАЇНИ
АНАТИЧУКА ЛУК'ЯНА ІВАНОВИЧА**

2021

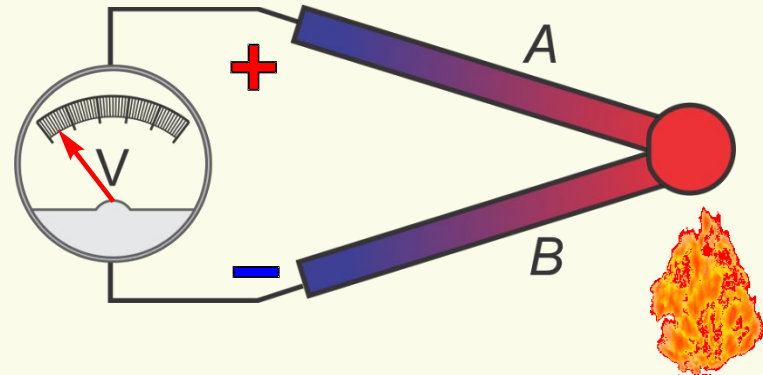
Першовідкривачі термоелектрики



Томас Йоган
Зеебек

1821

Ефект
Зеебека



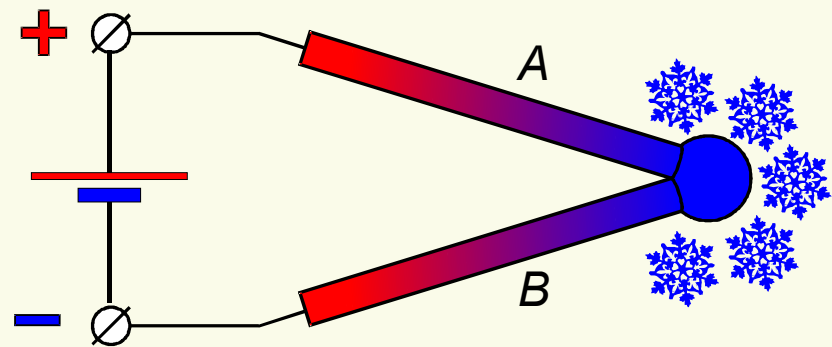
Джерело електричної енергії



Жан Шарль
Пельтьє

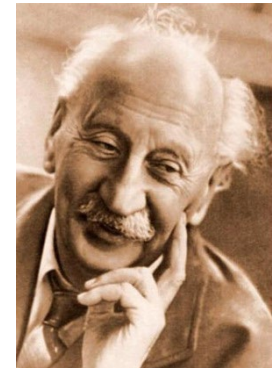
1834

Ефект
Пельтьє



Термоелектричне охолодження

Батьківщиною акад. Йоффе є Україна



Будинок, де народився Йоффе

Перше використання напівпровідників у термоелектриці



Партизанський казанок Йоффе

Інститут
напівпровідників
Йоффе

1954



- напівпровідники

- критерій добротності $Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\kappa}$

- методи оптимізації матеріалів

- теорія термоелектричних генераторів

$$\eta_{\max} = \frac{1}{4} \frac{T_1 - T_2}{T_1} Z_0 \bar{T}$$

- теорія термоелектричних холодильників

$$\varepsilon_{\max} = \frac{T_1}{T_0 - T_1} \frac{\sqrt{1 + 0.5 Z_0 (T_0 + T_1)} - T_0 / T_1}{\sqrt{1 + 0.5 Z_0 (T_0 + T_1)} + 1}$$





**Чернівецький
державний
університет**

**Автоматизована установка для
вимірювання
параметрів термоелектричних
матеріалів.**

**Виконавець – студент 4-го курсу
кафедри напівпровідників
Чернівецького державного
університету, 1959 рік**



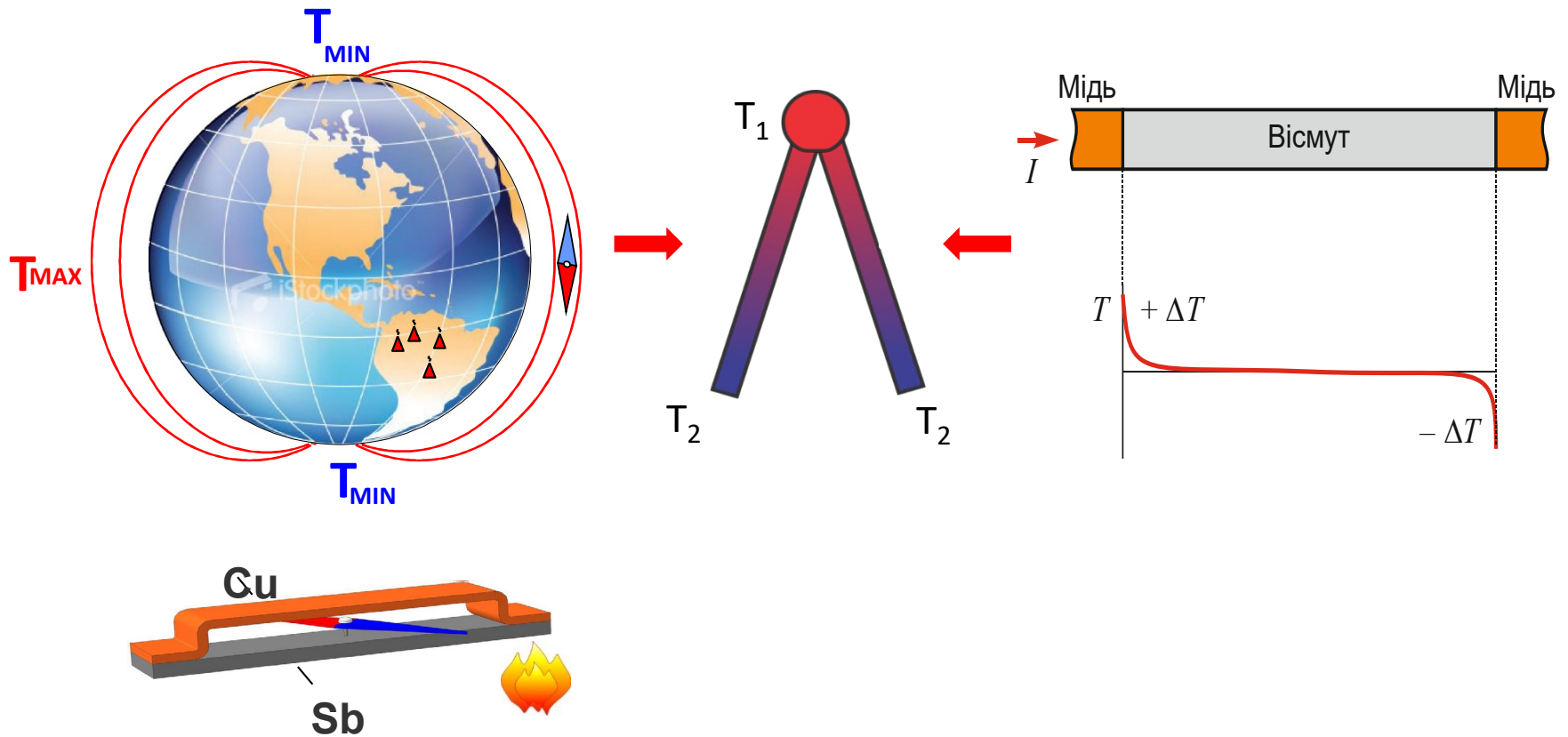


Т. Зеебек

Фізична модель термопар

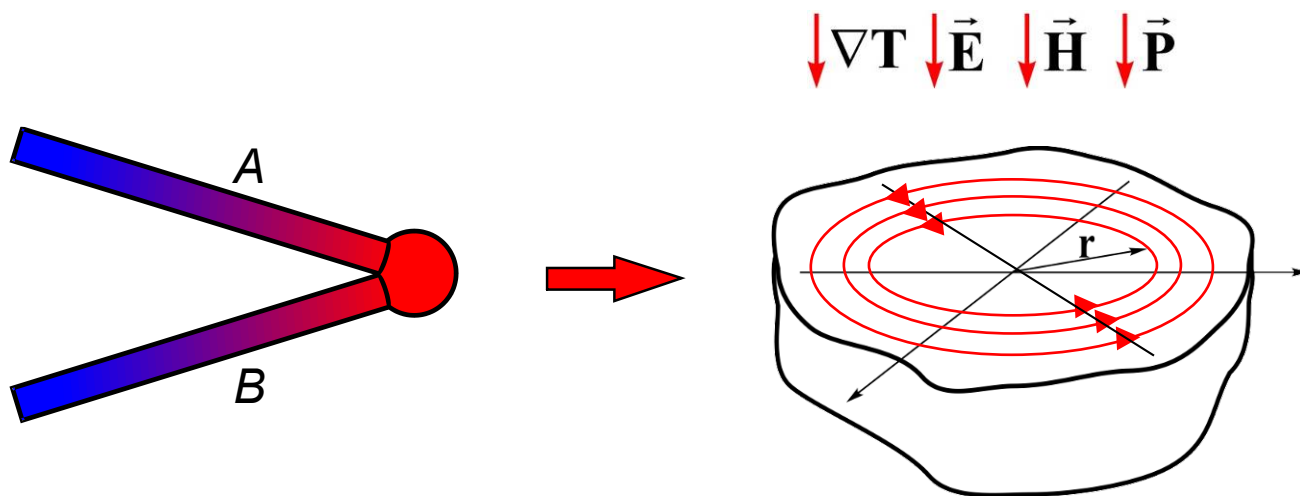


Ж. Ш. Пельтьє



“ТЕРМОМАГНЕТИЗМ”

Термопара Зеєбека і узагальнена модель для опису термоелектричного перетворення енергії

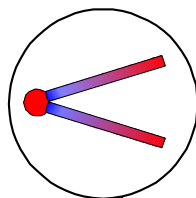


$$\text{rot } \hat{\rho} \vec{j}_{total} = -\text{rot } \hat{\alpha} \nabla T$$

$$\text{rot } \vec{j} \neq 0$$

Закон термоелектричної індукції струмів

Середовища і фізичні поля, які можуть призводити до термоелектричного перетворення енергії



$$\text{rot } \vec{j} \neq 0$$

$$\text{rot } \hat{\alpha} \nabla T \neq 0$$

Середовища	σ	$\sigma(x_i)$	σ	$\sigma(x_i)$	σ_{ik}	σ	σ_{ik}	$\sigma(x_i)$	$\sigma(x_i)$	$\sigma(x_i)$	σ_{ik}	σ	$\sigma(x_i)$	$\sigma_{ik}(x_i)$	$\sigma(x_i)$	$\sigma_{ik}(x_i)$
Поля	α	α	$\alpha(x_i)$	$\alpha(x_i)$	α	α_{ik}	α_{ik}	α	α_{ik}	α_{ik}	$\alpha(x_i)$	$\alpha_{ik}(x_i)$	$\alpha_{ik}(x_i)$	$\alpha(x_i)$	$\alpha_{ik}(x_i)$	$\alpha_{ik}(x_i)$
ΔT	0	0	■	■	0	■	■	0			■					
$\Delta T, H$	■	■	■	■			■	■	■	■						
$\Delta T, P$	■	■					■									
$\Delta T, E$																
$\Delta T, H, P$	■															
$\Delta T, H, E$																
$\Delta T, H, P, E$																
∇T	■															

0

- перетворення
неможливе – 4



- досліджуються – 14

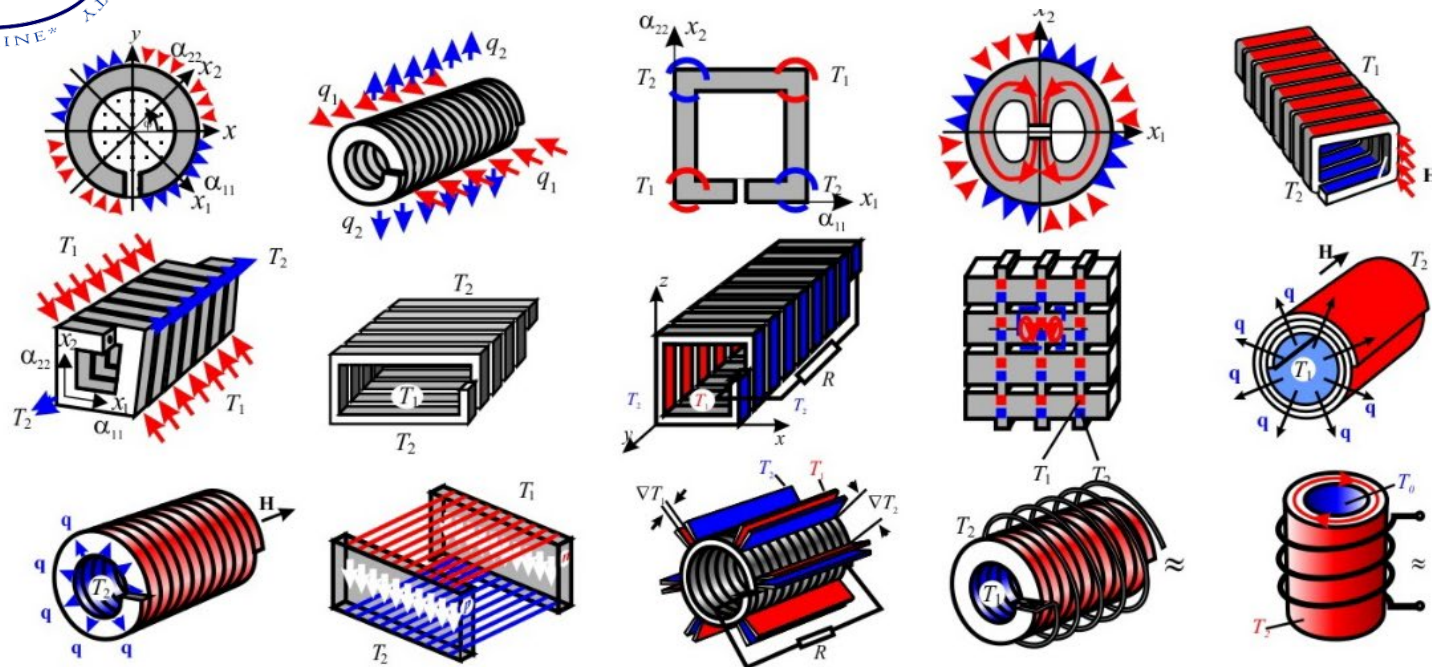


- використовуються – 4



- ще не вивчаються – 106

Нові типи термоелементів



Great Britain



Germany



USA



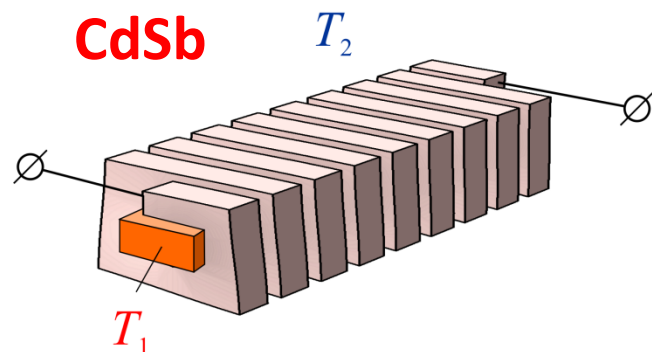
France



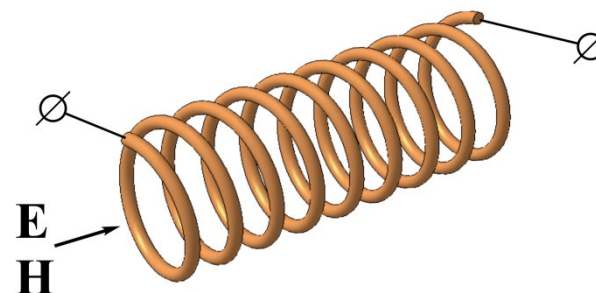
Japan



Спіральні перетворювачі енергії



анізотропний спіральний
термоелемент

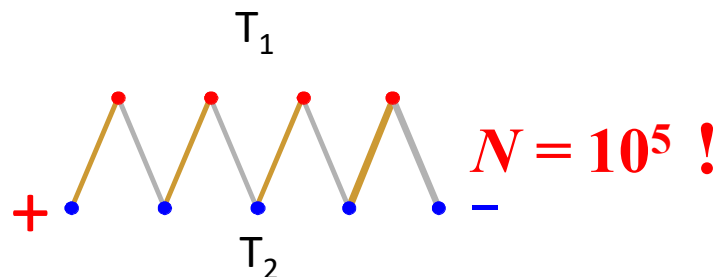


електромагнітна
спіраль Фарадея

$$E = N E_0 (T_1 - T_2)$$

$$T_1 - T_2 = 50 \text{ K} \quad E = 1000 \text{ V} !$$

$$V = 1 \text{ cm}^3$$



термобатарея з термопар
Зеєбека

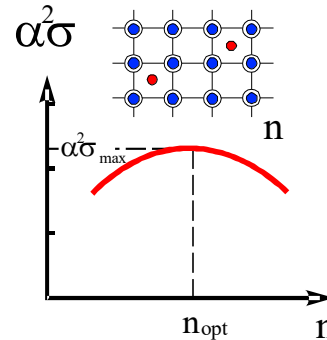
Термоелектричне матеріалознавство

1. Для термопар

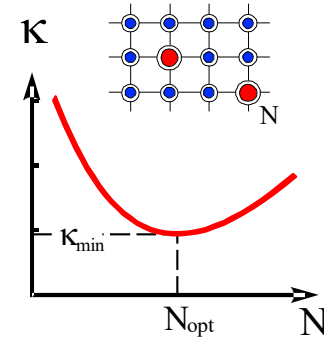
- критерій добротності Йоффе

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\kappa}$$

- α – термоЕРС
- σ – електропровідність
- κ – теплопровідність



активні домішки
для зростання $\alpha^2 \sigma$

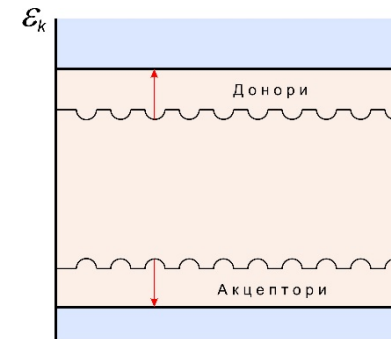


Ізовалентні домішки
для зменшення κ

2. Для анізотропних термоелементів

- анізотропія структури матеріалу
- α_{ik} – анізотропія термоЕРС
- σ_{ik} – анізотропія електропровідності
- один тип провідності при двох типах розсіювання носіїв струму
- два типи провідності при одному типі розсіювання

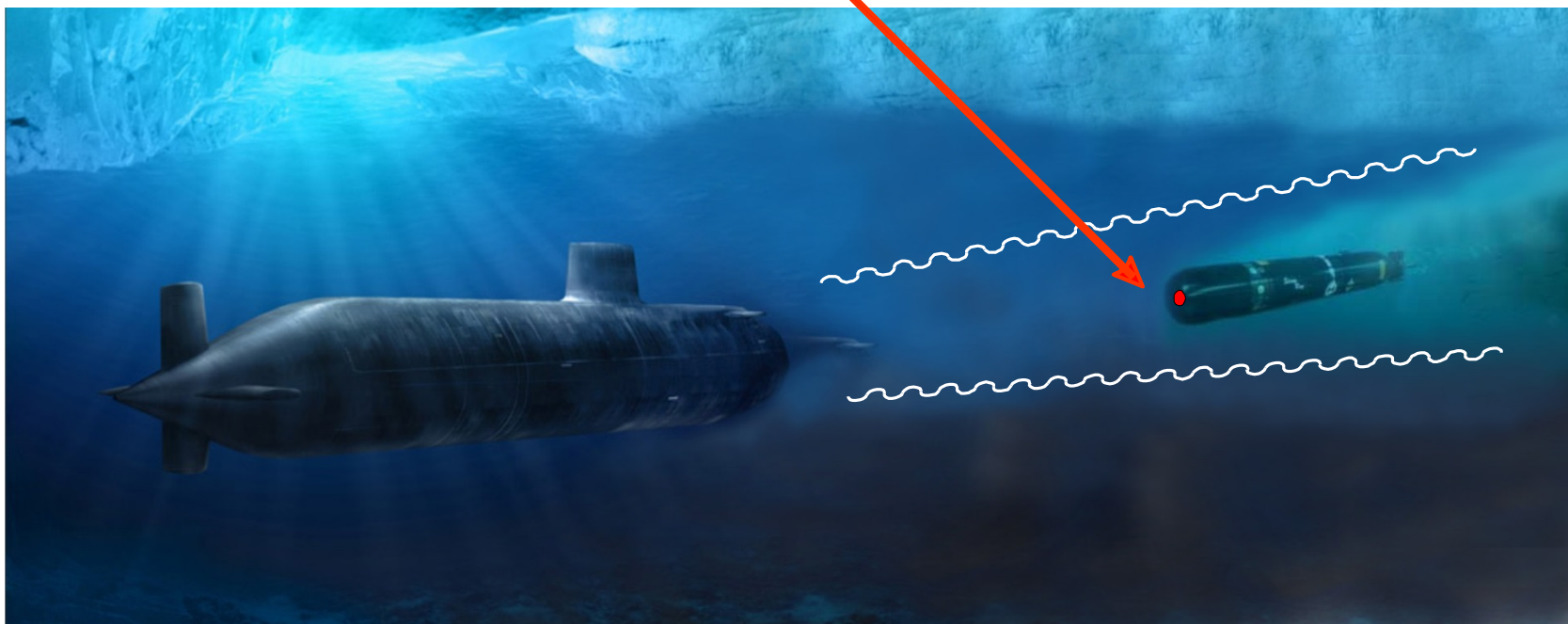
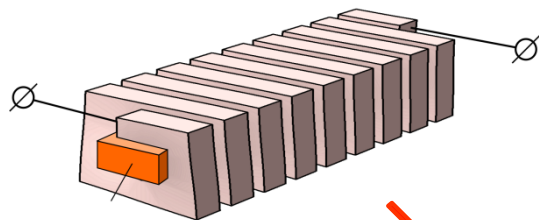
$$Z_A = \frac{(\alpha_{ii}^2 - \alpha_{kk}^2) \bar{\sigma}_{ik}}{\bar{\kappa}_{ik}}$$



умови використання

- домішкова провідність
- легування донорними та акцепторними домішками

Надчутливий
сенсор теплового
потoku



Градiєнтний термоелектричний сенсор для визначення теплового слiду
вiд пiдводного човна

Інформаційна апаратура тривалої дії

Замаскована
інформаційна апаратура
тривалої дії – 20-30 років

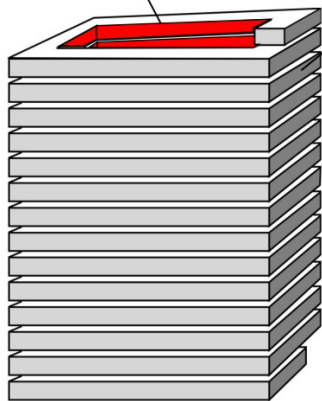


Мікрокалориметр військового
призначення для визначення
деградації вибухових речовин





Премія С.І. Вавілова
за досягнення
у метрології



Спіральний
анізотропний
сенсор теплового
потoku

Надчутливий мікрокалориметр



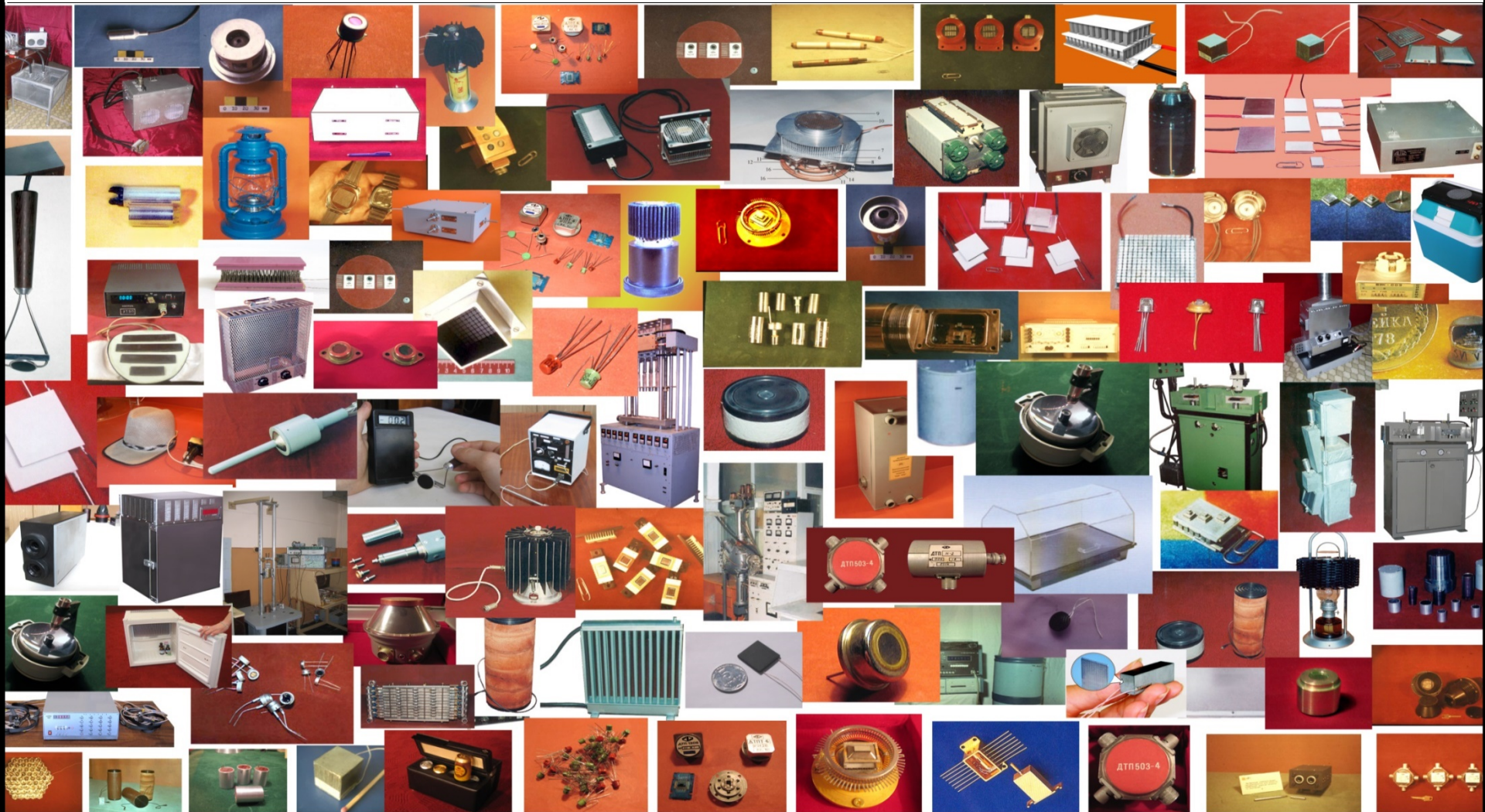
Роздільна здатність – 10^{-8} Вт

1980 – У Чернівцях створено СКТБ “Фонон”.

За десять років він стає провідною організацією з термоелектрики в країні.

Чисельність співробітників досягла біля 1000 одиниць.

Побудовані наукові та дослідно-виробничі корпуси площею біля 10 000 м²



За 10 років створено біля 300 термоелектричних приладів

1990 рік. На базі КБ «Фонон» створено
Науково-дослідний Інститут термоелектрики
Національної академії наук та Міністерства освіти і науки України



Міжнародна термоелектрична академія

Зареєстрована У Міністерстві юстиції
України у листопада 1994 року.

На той час до складу Міжнародної
термоелектричної академії було обрано
14 академіків з восьми країн світу.

Зараз, через 26 років, до складу
Міжнародної термоелектричної академії
входять

**94 академіки та члени-кореспонденти
з 24 країн світу,**

що свідчить про зростання її
міжнародного авторитету.

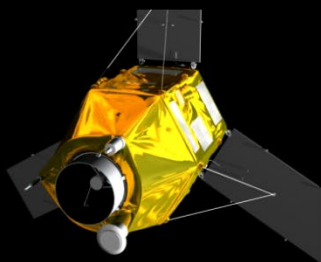
Академією утверджено найвищу
нагороду – **Почесний золотий приз**
за успіхи в термоелектриці у вигляді
стилізованої богині мудрості – Афіни.



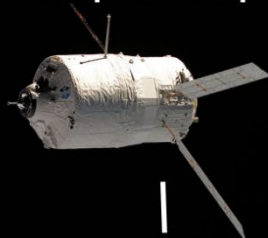
Приклад участі інституту у міжнародних космічних програмах

Євросоюз

Pleiade – для моніторингу поверхні Землі



ATV – автоматичний транспортний корабель

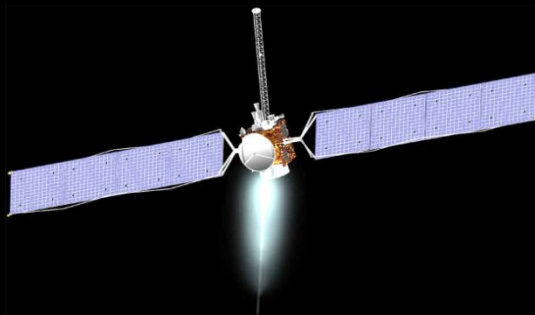


Spacebus 4000 - базова платформа для комплексних досліджень

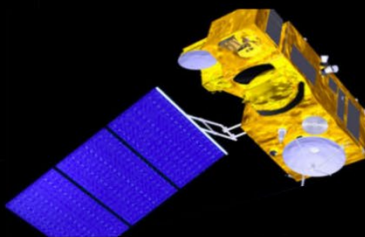


250

Dawn – міжпланетна станція до Марсу та поясу астероїдів



Sentinal 3 – для океанографії



Express 1000 - базова платформа для комплексних досліджень



**Пам'ятник академіку А.Ф. Йоффе у місті Ромни
на території школи, де він навчався**



Термоелектрика в Україні

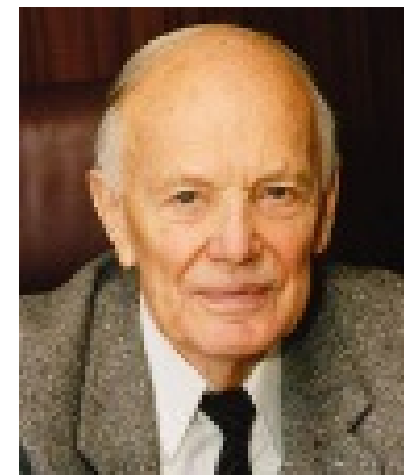
Львів:

- НВО "Термоприлад"
- НВО "Система"
- Львівська політехніка
- Львівський університет

- Луцький приладобудівний завод

Київ:

- Ін-т напівпровідників
- КПІ
- НВО "Модуль"



Президент
Національної академії
наук України, академік
Б. Є. Патон

- Ужгородський університет

Чернівці:

- Інститут термоелектрики
- ЦКБ «Ритм»
- ЧНУ

- Вінницький університет



Одеса:

- НВО "Шторм"
- НВФ «Терміон»

- Харківський політехнічний інститут