

EPECTELE TERMoeLECTRICE – FENOMENE FIZICE ȘI APLICAȚII PRACTICE

Prof. univ. Anatolie CASIAN
Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract. *Thermoelectric effects are those that refer to direct transformation of the temperature difference into an electrical energy and inversely. These are Seebeck and Peltier effects. The physical interpretation of these effects is presented. It is demonstrated that these effects have large practical applications and the thermoelectric devices have very promising prospects in the future.*

Cuvinte cheie: efectul Seebeck, efectul Peltier, material termoelectric, baterii termoelectrice.

INTRODUCERE

În natură întâlnim o mulțime de efecte și fenomene fizice: mișcarea și deformarea corpurilor, dilatarea termică, evaporarea și fierberea lichidelor, răspândirea câmpurilor electrice și magnetice, emisia și absorbția luminii, descompunerea nucleelor atomilor și multe altele. Toate aceste fenomene sunt studiate de fizică, aceasta având ca scop de a stabili și a explica legile naturii care guvernează aceste fenomene. Cu câteva sute de ani în urmă studiile despre efectele și fenomenele naturii erau atât de reduse încât un singur om era în stare să le cunoască în mod detaliat. Nu în zădar savantul de pe vremurile acelea era numit “naturfilosof”, avându-ce în vedere că el studiaza toate fenomenele naturii. Însă dezvoltarea de mai departe a științei despre natură, creșterea enormă a cantității de informații a dus la aceea că știința despre natură s-a divizat în mai multe științe: fizică, chimie, biologie, geologie, meteorologie, biofizică etc., toate studiind fenomene ale naturii.

Fizicii i-au revenit cercetările, pe de o parte, mai elementare, dar pe de altă parte mai generale ale efectelor și fenomenelor naturii. Însă descoperirile care au loc și astăzi în fizică nu numai că largesc cunoștințele noastre despre procesele care au loc în natură, dar deseori au un rol decisiv în dezvoltarea altor științe. De exemplu, fizica cuantică a dat posibilitate nu numai fizicienilor de a cunoaște procesele care au loc în atomi, molecule, stări condensate, ci și chimiștilor de a înțelege structura materiei și a prezice reacțiile chimice.

Este știut că fizica are legăturile cele mai strânse cu aplicațiile tehnologice și anume prin aceasta se explică rolul ei foarte important în societate. Astfel, descoperirea fenomenului de inducție electromagnetică a condus la crearea generatoarelor și motoarelor electrice fără de care este de neînchipuit activitatea umană de azi. În orice apartament funcționează câteva motoare electrice: în frigider, aspiratorul de praf, ventilator, mașina de spălat ș. a. Un alt exemplu, descoperirea tranzistorului a condus la o eră nouă în electronică, telecomunicații, televiziune, tehnica de calcul, medicină, dar și în viața noastră de toate zilele. Astăzi, noi nici nu ne putem imagina cum am trăi fără telefon mobil.

Fizica este atractivă nu numai prin aplicațiile sale tehnice promițătoare. Omul trăiește nu numai pentru a beneficia de realizările tehnicii, care desigur îi ameliorează starea materială. Omul mai are și tendința de a cunoaște ceva nou, de a descoperi tainele încă ascunse ale naturii, care îl face să-și concentreze rațiunea pentru a-și satisface setea de cunoaștere. Cum s-a creat Universul? Cum s-au format atomii și moleculele? Cum a apărut viața pe Pământ? Există alte forme de viață? Care este soarta Sistemului solar? Acestea și multe alte întrebări îl preocupă pe om. Fizicienii construiesc noi și tot mai sofisticate aparate de cercetare, noi telescoape optice cum ar fi telescopul spațial Hubble, noi acceleratoare de particule elementare (Large Hadron Collider), descoperă așa numitele nanostructuri. Așadar, fizicienii tind să pătrundă tot mai adânc și să descifreze tainele naturii.

Efectele termoelectrice [1] sunt fenomenele care se referă la transformarea directă a diferenței de temperatură (a căldurii) în tensiune electrică și, invers, la crearea directă a unei diferențe de temperatură cu ajutorul energiei electrice. Aceasta înseamnă că dacă capetele unui conductor au temperaturi diferite (se spune că este aplicată o diferență de temperatură), atunci la capetele lui va apărea și o tensiune electrică. Și invers, dacă la capetele conductorului este aplicată o tensiune electrică, atunci va apărea o diferență de temperatură. Desigur, imediat apare ideea că aceste efecte ar putea servi pentru a produce energie electrică direct din căldură (fără utilizarea generatorului electric obișnuit), pentru a măsura temperatura corpurilor și chiar pentru a crea diferențe de temperatură, cu alte cuvinte, pentru a răci obiecte. Într-adevăr, după cum vom vedea mai departe, efectele termoelectrice sunt utilizate pe larg în tehnică și au multe perspective foarte promițătoare de aplicare.

Prin “efecte termoelectrice”, de obicei, se subînțeleg trei efecte separate: efectul Seebeck, efectul Peltier și efectul Thomson. Uneori se pot întâlni în cărți referințe la efectul Seebeck-Peltier sau Peltier-Seebeck, însă acestea sunt totuși două efecte diferite. Efectul Thomson este mai specific, el constând în faptul că dacă un conductor este parcurs de curent electric, iar capetele lui au temperaturi diferite, atunci în conductor, pe lângă căldura Joule care întotdeauna încălzește conductorul, se degajă sau se absoarbe (în dependență de material) o căldură suplimentară. Efectul a fost descoperit pe cale teoretică în anul 1851 de către fizicianul englez Thomson (cunoscut și ca Lord Kelvin). Efectul Thomson are puține aplicări practice și aici nu va fi examinat.

EFFECTUL SEEBECK

Efectul Seebeck constă în apariția unei tensiuni electrice într-un circuit din doi conductori (semiconductori) diferiți, atunci când contactele dintre aceștia au temperaturi diferite. A fost descoperit de către fizicianul german de origine estoniană Thomas Seebeck în 1821. Schema circuitului lui Seebeck este prezentată în fig.1. A și B reprezintă metale diferite. Seebeck a observat o deviere a acului busolei apropiată de circuit atunci când temperaturile T_1 și T_2 ale contactelor dintre metale sunt diferite. Seebeck nu a înțeles fenomenul și l-a numit efect termomagnetic. Doi ani mai târziu, fizicianul danez Hans Oersted a explicat corect experimentul. Metalele reacționează diferit la diferența de temperatură și în circuit apare un curent electric care creează un câmp magnetic. Acesta din urmă interacționează cu câmpul magnetic al acului busolei și duce la devierea lui. Oersted a introdus și termenul de termoelectricitate.

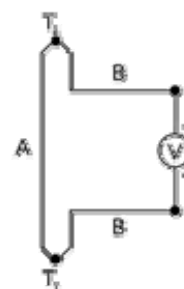


Fig. 1.

Fizica contemporană explică în mod exhaustiv efectul Seebeck. Electronii de la capătul fierbinte cu temperatura T_1 au energie cinetică mai mare și de aceea apare un proces de difuzie a lor spre capătul rece, având temperatura T_2 , al conductorului, $T_1 > T_2$ (fig. 2). Concentrația electronilor la capătul rece crește, iar la cel fierbinte descrește. Respectiv, capătul rece se încarcă negativ, iar capătul fierbinte pozitiv.

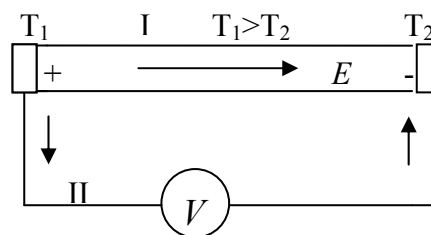


Fig. 2.

În conductor apare un câmp electric E interior care creează un flux invers de drift al electronilor. În starea staționară aceste două fluxuri se echilibrează (dinamic). În circuitul deschis apare o diferență de potențial V sau o forță electromotoare care poate fi măsurată cu un voltmetru. La diferențe mici de temperatură, $\Delta T = T_1 - T_2$, în raport cu T_1 și T_2 vom avea

$$V = \alpha_{12}(T_1 - T_2), \tag{1}$$

unde α_{12} este coeficientul Seebeck al circuitului. Se poate prezenta $\alpha_{12} = \alpha_1 - \alpha_2$, unde α_1 și α_2 sunt coeficienții Seebeck ai materialelor I și respectiv II. Circuitul din fig. 2 nu ne dă posibilitatea de a măsura direct α_1 și α_2 . În metale coeficientul Seebeck α este mic $\sim 1 \div 10 \mu\text{V/K}$ ($1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{V}$), în semiconductori α este cu mult mai mare $\sim 100 \div 1000 \mu\text{V/K}$. Dacă în fig. 1 vom alege ca material II un metal, iar ca material I un semiconductor, atunci

$$V \approx \alpha_1(T_1 - T_2). \tag{2}$$

În continuare, vom omite indicele 1 la α_1 . Din (2) se desprinde sensul fizic al coeficientului Seebeck: α este tensiunea care apare la capetele conductorului atunci când diferența de temperatură este de un Kelvin. Se exprimă α , de obicei, în $\mu\text{V/K}$. În cazul difuziei sarcinilor pozitive (semiconductori de tip p) $\alpha_p > 0$, iar la difuzia sarcinilor negative (semiconductori de tip n) $\alpha_n < 0$. Semnul tensiunii V și deci a coeficientului α servește pentru a determina pe cale experimentală semnul purtătorilor de sarcină. La capătul rece al unui semiconductor de tip n apare polul negativ (surplus de electroni), iar al unui semiconductor de tip p apare polul pozitiv (surplus de goluri).

Astfel, un conductor sau un semiconductor, ale cărui capete se mențin la temperaturi diferite, devine o sursă de energie electrică. Ce-i drept, forța electromotoare a acestei surse este mică. Dacă vom considera un semiconductor cu $\alpha = 200 \mu\text{V/K}$ și $\Delta T = 100 \text{K}$, atunci vom obține că tensiunea electromotoare a acestei surse $V = 20 \text{mV}$. Dacă însă rezistența circuitului este mică, în el pot apărea curenți de intensitate relativ mare, de ordinul a câțiva amperi. În fig. 3 este prezentată o astfel sursă de curent electric continuu, formată dintr-un singur semiconductor. Sunt indicate direcția fluxului de purtători de sarcină (a golurilor) și direcția fluxului de căldură în semiconductor. La capătul mai rece unde se elimină căldură, avem polul pozitiv.

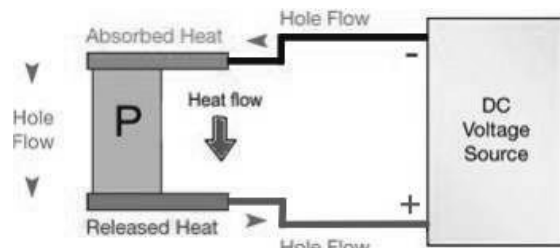


Fig.3.

Pentru a mări tensiunea în circuit pot fi formate baterii prin legarea în serie (polul minus cu polul plus ș. a.m.d.) a câtorva surse elementare, după cum este ilustrat în fig. 4. Astfel de baterii însă nu sunt eficiente fiindcă, datorită conductivității termice, prin conductorii de contact dintre sursele elementare are loc o pierdere suplimentară, pierdere parazit, a unei părți de căldură față de pierdere prin materialul p . Este mult mai eficient de format cupluri din surse de tip n și de tip p . După cum se vede din fig. 5, la capătul rece, de sus, în sursa n va apărea polul negativ (-), iar la sursa p - polul pozitiv (+) și deci aceste surse

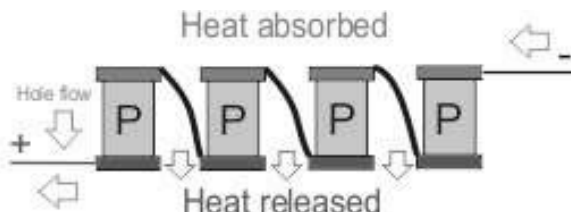


Fig.4.

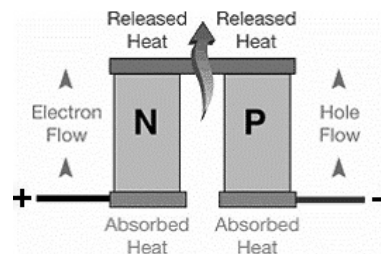


Fig. 5.

sunt deja conectate în serie. Pierdere suplimentară a căldurii prin conductorii de contact a fost eliminată. Pierdere de căldură din cauza conductivității termice în înseși materialele n și p rămâne, dar ea este mai mică, deoarece se aleg materiale termoelectrice cu conductivitate termică joasă. Aceste două materiale, de tip n și de tip p , formează un termocuplu sau un termoelement. Mai multe termoelemente pot fi, de asemenea, legate în serie pentru a forma termobaterii. În fig. 6 este arătat modul de conectare a termoelementelor în termobaterii

pentru a obține valori înalte ale tensiunii la bornele termobateriei. Se pot vedea

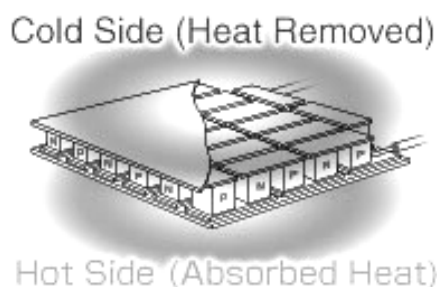


Fig. 6.

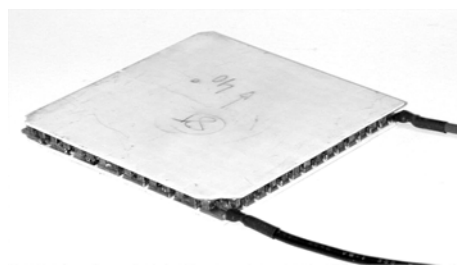


Fig. 7.

termoelementele formate din cupluri p și n . Numărul acestora depinde de valoarea tensiunii pe care dorim să o obținem. Desigur, la creșterea numărului de termocupluri crește și rezistența internă a bateriei. De aceea numărul termocuplurilor se optimizează pentru a obține o putere electrică optimă în circuitul exterior. Procesul de asamblare a termobateriilor este automatizat.

EFECTUL PELTIER

Efectul Peltier constă în încălzirea sau răcirea contactelor între doi conductori (semiconductori), atunci când prin circuit trece curent electric. Efectul a fost descoperit de către fizicianul francez Jean-Charles Peltier în 1834 și este invers efectului Seebeck. Cantitatea de căldură Q care se absoarbe sau se degaja în joncțiunea a doi conductori (semiconductori), I și II, este proporțională cu intensitatea curentului în circuit I :

$$Q = \Pi_{12}I, \tag{3}$$

unde Π_{12} este coeficientul Peltier al joncțiunii. Dacă se inversează sensul curentului, rezultă și o inversare a efectului: joncțiunea care era fierbinte se răcește și invers, de aceea $\Pi_{12} = -\Pi_{21}$. Efectul Peltier se explică prin faptul că electronii transportă nu numai sarcină electrică, dar și energie, inclusiv energie cinetică și energie potențială. În prezența curentului electric, în conductor apare un anumit flux de energie. Intensitatea curentului în întreg circuitul este aceeași, însă fluxul de energie este diferit. Dacă la traversarea joncțiunii electronii trec de la energii mai mici într-un conductor la energii mai mari în cel de al doilea conductor, atunci diferența de energie este preluată de la joncțiune și aceasta se răcește. Dacă însă electronii trec de la energii mai mari la energii mai mici, atunci surplusul de energie se degajă în joncțiune și aceasta se încălzește. Din această cauză căldura este fie absorbită, fie degajată.

Se poate prezenta $\Pi_{12} = \Pi_1 - \Pi_2$, unde Π_1 și Π_2 sunt coeficienții Seebeck ai materialelor I și respectiv II. În metale, coeficientul Peltier este relativ mic, iar în semiconductori este cu mult mai mare. Dacă în circuitul din fig. 8 vom alege ca material II un metal, iar ca material I un semiconductor, atunci

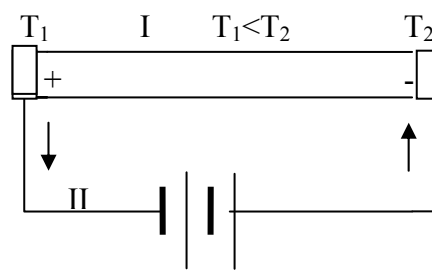


Fig.8.

$$Q \approx \Pi_1 I. \tag{4}$$

În continuare vom omite indicele 1 la Π_1 . Se poate demonstra că

$$\Pi = \alpha T. \tag{5}$$

Astfel, este suficient de a studia numai coeficientul Seebeck α .

Termoelementele din figurile 4 și 5, precum și termobateriile din figurile 6 și 7 servesc la fel și pentru a obține diferențe de temperatură, adică pentru răcire. În acest caz,

termobateriile trebuie conectate la surse de curent continuu și atunci, în dependență de polaritate, o suprafață se va răci, iar alta se va încălzi. Dacă vom schimba sensul curentului (vom schimba polaritatea), atunci suprafața care se răcea acum se va încălzi și invers. Astfel, fiind folosite în climatizoare, termobateriile ne dau posibilitate să trecem de la răcire vara la încălzire iarna printr-o simplă comutare a polilor sursei de curent.

Pentru a obține o diferență de temperatură mai mare se folosesc termobaterii cu mai multe trepte. În fig. 9 este arătată o termobaterie cu o singură treaptă și alta cu două trepte. În fig. 10 este prezentat modul de asamblare a unei baterii cu trei trepte produse de Firma RMT Ltd (Rusia). Mărimea suprafețelor treptelor următoare și numărul de termocupluri

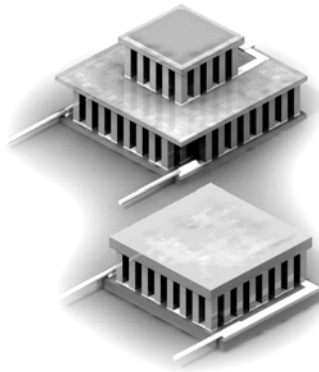


Fig. 9

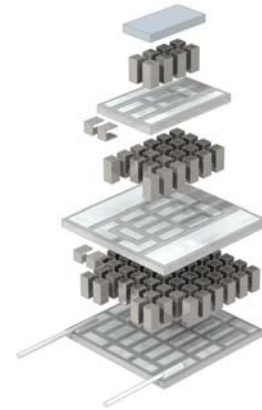


Fig. 10

în ele se optimizează în funcție de scopul urmărit: a obține o diferență de temperatură cât mai mare sau a obține o cantitate de căldură mai mare de la suprafața care se răcește. Iată cum variază acest număr într-o baterie cu trei trepte. În treapta de jos se assemblează 59 de termocupluri, în treapta a doua 17, iar în ultima 4 termocupluri. O termobaterie cu o treaptă creează o diferență de temperatură de $\sim 70\text{ C}$, cu două trepte $\sim 90 - 100\text{ C}$, iar cu trei trepte $\sim 115 - 125\text{ C}$. Temperatura cea mai joasă obținută cu o baterie cu multe trepte este de -160 C .

APLICAȚII PRACTICE

Efectul Seebeck servește pentru:

- măsurarea temperaturii obiectelor cu ajutorul termocuplurilor (termometre cu și fără contact),
- detectarea radiației infraroșii (IR) cu ajutorul detectoarelor de IR.
- transformarea directă a energiei termice în energie electrică (generatoare termoelectrice)

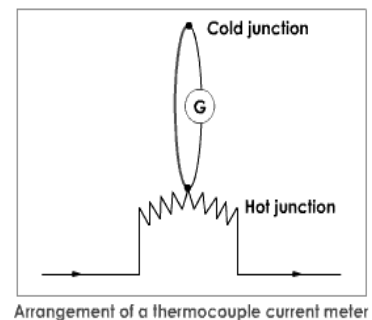
Cel mai simplu termocuplu pentru măsurarea temperaturii este prezentat în fig. 11. Avantajele acestuia sunt:

- interval larg de măsurări ($0.001 - 2000\text{ C}$),
- nu necesită aplicarea surselor electrice,
- absoarbe puțină căldură, nu schimbă temperatura obiectului,
- măsoară foarte rapid, chiar temperatura variabilă,
- este ieftin și simplu în utilizare,
- văsoară temperatura la distanță, chiar și a obiectelor în mișcare.

Dezavantaje:

- pentru diferite temperaturi sunt necesare diferite termocupluri,
- calibrare individuală.

Termometrele cu termocupluri se utilizează pe larg în industrie, în laboratoarele științifice și în multe alte domenii.



Arrangement of a thermocouple current meter

Fig. 11.

Pe această bază sunt confecționate și termometre pentru măsurarea temperaturii corpului omenesc. În multe țări termometrul medical de sticlă cu mercur este interzis, pentru că el se poate sparge, iar vaporii de mercur care se poate scurge în acest caz sunt toxici. În afară de aceasta, fiind folosite de diferite persoane, termometrele cu mercur pot contribui la răspândirea unor maladii.



Fig. 12.

În prezent se utilizează termometre care funcționează pe baza măsurării prin contact a radiației infraroșii, radiate de artera de la tâmpla omului (Fig. 12). Măsurarea se face foarte rapid, timp de 6 - 7 secunde, și cu o precizie de 0,2 C. Există termometre care măsoară temperatura obiectelor la distanță, fără a fi în contact cu ele. În fig. 13 este arătat un termometru care măsoară temperatura corpului omenesc de la o distanță de 8 – 15 cm de la fruntea omului. Astfel de termometre au și memorie pentru a păstra rezultatele a mai multor măsurări. Măsurarea temperaturii la distanță este foarte importantă în industria metalurgică, de prelucrare a metalelor, unde regimul de temperatură trebuie monitorizat pe tot parcursul procesului tehnologic.



Fig. 13

Pe baza sistemelor de termocupluri se construiesc detectoare de radiație infraroșie, termovizoare care servesc la obținerea imaginii termice a obiectelor în domeniul roșu îndepărtat al spectrului, unde alte detectoare nu pot fi aplicate. În prezent, termografia se utilizează pe larg în medicină. Detectoarele de IR au și multe aplicații militare, inclusiv pentru observarea obiectelor în întuneric.

Generatoarele termoelectrice se folosesc, în primul rând, acolo unde alte surse electrice nu există, de exemplu, pentru supravegherea și monitorizarea automată a conductelor de gaze și petrol în regiunile îndepărtate de liniile electrice, pentru apărarea catodică a țevelor din conducte. Se știe că dacă la țeava de oțel se aplică polul negativ, atunci țeava nu este supusă coroziunii.

Un alt domeniu de aplicare largă a generatoarelor termoelectrice este cosmosul. Navele

cosmice care se îndepărtează de Soare nu au alte surse de energie decât bateriile termoelectrice cu material radioactiv în calitate de sursă de căldură. Se construiesc diferite tipuri de generatoare termoelectrice cu radioizotopi, care pot fi utilizate atât în aparate cosmice, cât și în cele terestre. În fig.14 este prezentat un asemenea generator GPHS-RTG (General Purpose Heat Source – Radioisotope Thermoelectric Generator). Generatorul termoelectric БЭС - 5 (Rusia) folosește izotopul ^{235}U , masa izotopului fiind de 30 kg, iar puterea electrică produsă - de 3000 W, generatorul având masa totală de 1000 kg. Un alt generator destinat pentru aplicații terestre folosește izotopul Sr_2TiO_4 , masa izotopului fiind de 1.77 kg, puterea electrică produsă de 53 W, iar masa totală a generatorului -de 1234 kg. În acest caz masa este mai mare, fiindcă

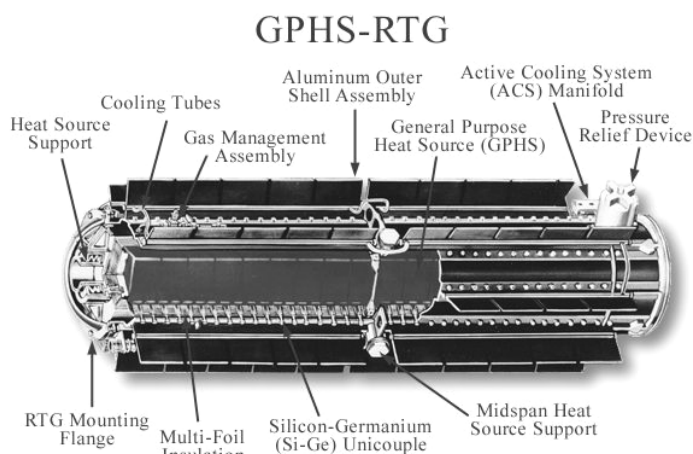


Fig. 14

generatorul necesită o protecție radioactivă în anumite condiții de exploatare.

În ultimii ani, în legătură cu criza energetică a apărut încă un domeniu larg de aplicare a generatoarelor termoelectrice, și anume, folosirea lor pentru recuperarea parțială a energiei termice care se pierde fără a fi folosită în metalurgie, în centralele termoelectrice, în motoarele cu ardere internă ș. a. S-a calculat că chiar cu ajutorul bateriilor termoelectrice actuale, nu prea eficiente, s-ar putea recupera o cantitate enormă de energie termică. Înlocuirea generatorului electric obișnuit (care folosește puterea motorului și duce la un consum suplimentar de combustibil) cu un generator termoelectric care folosește căldura eliminată de motor, aduce economii de 4% la consumul de combustibil al unui automobil. În fig. 15 este arătat cum se montează un generator termoelectric pe țeava de eșapament a unui motor. Dacă generatoarele obișnuite ar fi înlocuite cu cele termoelectrice la doar 10% din toate automobilele, avioanele, navele maritime existente, s-ar face economie de o cantitate enormă de combustibil. Scumpirea carburanților pe an ce trece îi obligă pe cercetători și ingineri să rezolve cât mai urgent această problemă. Cercetătorii de la firmele BSST și BMW (SUA) au și anunțat despre intenția lor de a lansa în anul 2013 în rețeaua comercială primul generator termoelectric pentru automobile.

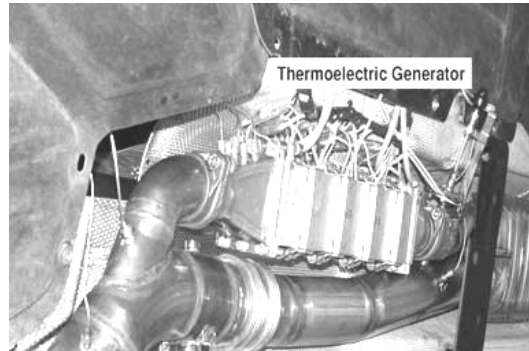


Fig. 15

Largi aplicații practice are **efectul Peltier** care este folosit la construirea aparatelor de răcire, a micro- și minifrigiderelor. Acestea prezintă avantaje evidente: nu au piese în mișcare și pot servi lung timp, pot avea dimensiuni reduse și costuri relativ mici, au o funcționare fără zgomot și nu necesită deservire tehnică. Multe firme produc o varietate largă de termobaterii care se folosesc la răcirea componentelor radioelectronice, a detectoarelor de radiație vizibilă și infraroșie, a componentelor sistemelor de telecomunicație, a componentelor computerelor. Ele sunt cînfectionate cu una sau mai multe trepte. Au dimensiuni diferite, de la 2×2 mm până la câțiva cm^2 , și parametrii optimi care variază în dependență de construcție. În fig. 16 sunt prezentate câteva microtermobaterii asamblate de firma RMT Ltd. din Rusia. Pentru comparație, este arătată și rigla milimetrică. De obicei, ele se folosesc la răcirea componentelor din optoelectronică. Termobaterii mult mai puternice se folosesc la confecționarea micro- și minifrigiderelor care de mai mulți ani se pot găsi în rețeaua comercială. Se produc și minifrigidere portabile care se alimentează de la bateria automobilului. Unele automobile sunt completate chiar de uzină producătoare cu minifrigidere termoelectrice, prevăzute pentru a putea răci două sticle de apă sau două cutii de suc. Se așteaptă ca piața minifrigiderelor termoelectrice să se extindă considerabil în următorii ani.

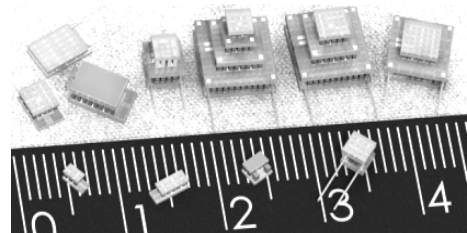


Fig. 16

Actualmente utilizarea pe scară largă a dispozitivelor termoelectrice este limitată de eficacitatea lor joasă. Aceasta este limitată de eficiența joasă a materialelor termoelectrice existente care, la rândul său, este determinată de valoarea parametrului adimensional de calitate (engl. *figure of merit*) ZT a materialului (parametrul Ioffe):

$$ZT = \alpha^2 \sigma T / \kappa, \quad (6)$$

unde α este coeficientul Seebeck, σ - conductivitatea electrică, T - temperatura, κ - conductivitatea termică. În prezent, materialele termoelectrice cele mai comercializate, atât de tip n cât și de tip p , sunt obținute pe baza cristalelor Bi_2Te_3 . Ele au $ZT \sim 0,7 - 1$ ceea ce este prea puțin. Din cauza aceasta frigiderele termoelectrice, comercializate în prezent, au randamentul de 1/6 din valoarea respectivă a frigiderelor obișnuite cu motor electric și compresor. De aceea dispozitivele termoelectrice se utilizează mai ales acolo unde eficiența lor nu este parametrul cel mai important, dar se preferă confortul și comoditatea sau există o strictă necesitate. Pentru ca dispozitivele termoelectrice să fie economic competitive cu cele obișnuite sunt necesare materiale ieftine cu $ZT \geq 3$.

După cum se vede din (6), se cere ca materialul dat să posede valori cât mai mari ale lui α și σ și valori cât mai reduse ale lui κ la temperatura T . S-ar părea un lucru simplu. Dar natura nu deschide ușor tainele sale și aceste cerințe sunt contradictorii pentru un material termoelectric ordinar. Creșterea conductivității electrice duce, de regulă, la micșorarea coeficientului Seebeck și la creșterea conductivității termice, iar mărirea coeficientului Seebeck duce la reducerea conductivității electrice. Este necesar de a căuta și a studia materiale noi cu proprietăți fizice mai complexe, care să permită înlăturarea acestor contradicții. Cercetătorii lucrează intens în această direcție. Au fost obținute și studiate mai multe materiale și structuri termoelectrice noi, inclusiv structuri cu dimensiuni reduse ale spectrului purtătorilor de sarcină – bidimensionale (suprarețele cuantice), unidimensionale (fire cuantice), zero dimensionale (cristale cu puncte cuantice) și materiale masive nanostructurate.

În fig. 17 este prezentată evoluția creșterii parametrului termoelectric de calitate ZT în ultimii 60 de ani. Se observă că până la mijlocul anilor 90 această creștere a fost destul de modestă. Nu existau stimulenți evidenți pentru creșterea lui ZT . În legătură cu criza resurselor energetice care s-a acutizat considerabil în ultimii zece ani, au fost investite sume mari pentru cercetări științifice orientate spre căutarea și studierea materialelor termoelectrice noi, mai eficiente. Multe laboratoare din diferite țări și-au concentrat activitățile în acest domeniu. După cum se vede din fig. 17, aceste eforturi s-au încununat cu succes. Valoarea lui ZT a atins 3,5 și chiar 3,8 (ultimul rezultat). E drept că aceste structuri sunt deocamdată foarte sofisticate și scumpe. Dar este foarte important însuși faptul că au fost obținute valori ale lui ZT mai mari ca trei și chiar aproape de patru. Pe viitor, când vor fi obținute materiale noi cu eficiență termoelectrică mult mai ridicată decât în prezent, dispozitivele termoelectrice care pot fi considerate și pompe de căldură vor fi pe larg utilizate pentru a încălzi clădirile prin pomparea căldurii în ele din bazine subterane, unde căldura a fost acumulată în perioada caldă, sau chiar de afară, de la frig. Transportarea căldurii cu dispozitivele termoelectrice va fi mai ieftină și mai confortabilă, decât crearea ei prin arderea combustibilului.

Cercetătorii de la Catedra de mecanică teoretică a Universității Tehnice a Moldovei (UTM) au efectuat studii teoretice și au modelat materiale organice cvasiunidimensionale, în care se prezic valori ale parametrului ZT de ordinul 20 [2]. Chiar dacă, din cauza dificultăților

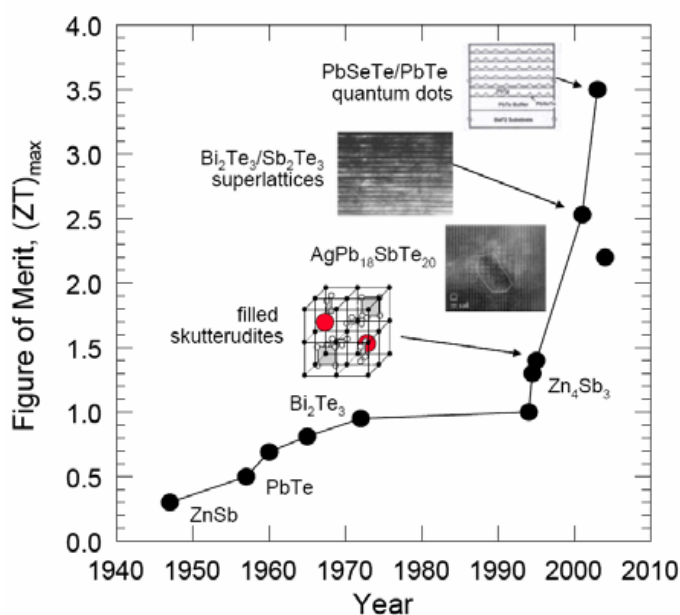


Fig. 17.

tehnologice, s-ar realiza valori și de cinci ori mai mici, adică $ZT \sim 4$, aceasta ar fi o realizare excepțională. O realizare bună ar fi chiar și obținerea unor materiale organice nepoluante și ieftine având valori ale lui ZT numai cu puțin mai mari decât unu.

Recenti, o echipă de cercetători de la Catedra menționată a UTM sub conducerea prof. univ. A. Casian, împreună cu o echipă de cercetători de la Institutul de Chimie al Academiei de Științe a Ucrainei sub conducerea prof. univ. B. Gorelov au câștigat prin concurs un proiect internațional, finanțat de Uniunea Europeană prin intermediul STCU (Science and Technology Centre in Ukraine), destinat obținerii și cercetării materialului organic nanostructurat de iodură de tetratiotetracena, în conformitate cu parametrii calculați la UTM [3]. Proiectul este prevăzut pentru doi ani. Sperăm ca în acest scurt răstimp să obținem un material termoelectric promițător.

În concluzie, vom menționa că studiile teoretice și experimentale ale efectelor și materialelor termoelectrice sunt importante și actuale. Este necesar de a căuta și studia materiale noi cu valori cât mai înalte posibile ale parametrului termoelectric de calitate ZT . Se așteaptă că cercetările intense în acest domeniu vor da posibilitatea de a obține în scurt timp materiale termoelectrice performante și ieftine.

REFERINȚE

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect.
2. A. Casian. Prospects of thermoelectricity based on organic materials, Journal of Thermoelectricity. No. 3, 45-50, 2007.
3. A. Casian, J. G. Stockholm, V. Duscic, V. Nicic. Low-Dimensional Organic Crystal Tetrathiotetracene-Iodide as Thermoelectric Material: Reality and Prospects, Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics- V. 4, 95-100, 2009.

SIMETRIZAREA ECUAȚIILOR TEORIEI CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC. PROPAGAREA UNDELOR ELECTROMAGNETICE ÎN MEDIILE ANIZOTROPE

Prof. univ. dr habil. Mihai VLADIMIR
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău
mihai.vladimir@mail.ru

ABSTRACT

Propagation of electromagnetic waves in anisotropic medium is being studied. Together with scalar and vectorial potential, we introduce scalar and vectorial currents of electromagnetic field. D'Alembert equations for anisotropic medium are being written.

REZUMAT

Se examinează propagarea undelor electromagnetice în mediile izotrope și anizotrope, ținând cont de simetrizarea ecuațiilor teoriei câmpului electromagnetic. Se introduc corect din punct de vedere fizic, paralel cu potențialele scalar și vectorial ale câmpului electromagnetic, și curenții scalar și vectorial ai câmpului. Cu aceste mărimi auxiliare, ecuațiile simetrizate Maxwell se transformă în ecuații de tip d'Alembert care se scriu pentru medii anizotrope. Problema este actuală, din punctul de vedere al dezvoltării tehnologiilor informaționale. Rezultatele obținute sunt noi și originale.

CUVINTE-CHEIE: *simetrizare, ecuații, unde, anizotropie, potențiale, curenți.*