

Ciepłe + Zimne = przepływ ładunków

Zjawiska termoelektryczne

Karol Kobiątka (1A), Michał Łakomski (1A), Monika Zemankiewicz (1A)

2015-01-29

Cel pracy

Celem pracy naszej grupy było przedstawienie dwóch zjawisk termoelektrycznych, Seebecka i Peltiera, za pomocą relatywnie prostych doświadczeń fizycznych, możliwych do wykonania z minimalnym nakładem czasu i pracy. W polskich szkołach doświadczenia fizyczne nadal są rzadkością, co dodatkowo motywowało nas w czasie pracy.

1. Wprowadzenie

Tematem zainteresowaliśmy się, gdy w Internecie znaleźliśmy wzmiankę, iż generator termoelektryczny oparty na zjawisko Seebecka może osiągać sprawność powyżej 100%. Na lekcji fizyki, na której w ramach laboratorium skalowaliśmy termoparę i poznaliśmy zjawiska termoelektryczne, zainteresowaliśmy się głębiej zastosowaniem tych zjawisk. Interesowało nas, jak to możliwe iż sprawność generatora może być tak duża. Okazało się, iż powodem rozważań stało się ciepło Joule'a. Drążąc temat, dotarliśmy do zagadnienia budowy prostego generatora termoelektrycznego – nasz głód wiedzy pozostawał nienasycony przez wcześniejsze badania, przez co doszliśmy do wniosku, iż zbudowanie takiej maszyny w warunkach domowych może być ciekawym przeżyciem intelektualnym.

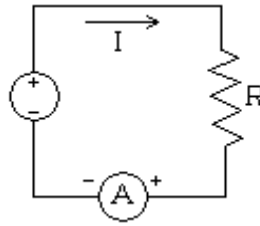
Zjawiskiem termoelektrycznym nazywamy efekt przemiany energii elektrycznej na energię termiczną lub odwrotnie, mówiąc inaczej pozwala zamienić wielkość elektryczną na nieelektryczną lub vice versa. Jako iż napięcie jest łatwe w rejestracji i jesteśmy w stanie nim swobodnie sterować, możemy stworzyć urządzenia pozwalające na dokładną kontrolę temperatury i zautomatyzować procesy zmiany temperatur, czyli ochładzania i ogrzewania. W zależności od kierunku zachodzącej przemiany, możemy wyróżnić trzy typy zjawisk termoelektrycznych: zjawisko Seebecka, Thomsona i Peltiera, oraz oddzielne zjawisko zwane Prawem Joule'a-Lenza. Możemy przedstawić relację między trzema pierwszymi zjawiskami termoelektrycznymi, którą opisał Thomson. Mianowicie, gdy π oznacza współczynnik Peltiera, S oznacza współczynnik Seebecka, ΔT gradient temperatury, a τ_T współczynnik Thomsona, to:

$$\pi = S * T$$
$$\tau_T = T * \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

Prawo Joule'a-Lenza, zwane również prawem Joule'a, sformułowane w 1840 roku (Joule przedstawił je mając 22 lata¹), pozwala na określenie ilości ciepła wydzielanego w czasie przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik.²

¹ http://pl.wikipedia.org/wiki/James_Joule, czas dostępu 29.01.2015.

² [http://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Joule%27a_\(pr%C4%85d_elektryczny\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Joule%27a_(pr%C4%85d_elektryczny)), czas dostępu 29.01.2015.



Rys.1. Ciepło Joule'a¹

Równanie Joule'a ma postać

$$Q = R * I^2 * t$$

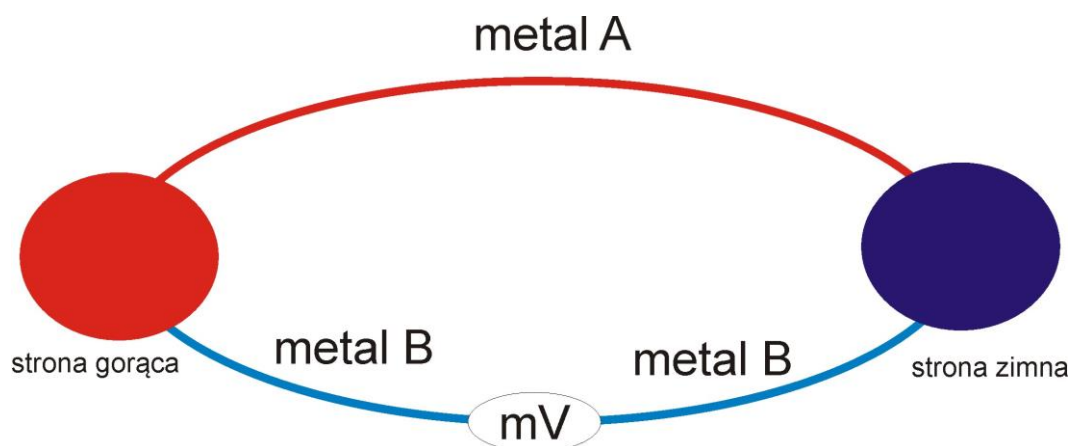
gdzie Q to ilość wydzielonego ciepła, I to natężenie prądu elektrycznego, R to opór elektryczny przewodnika, t to czas przepływu prądu.

Z powyższego wzoru wynika, że ilość wydzielonego ciepła jest iloczynem oporu przewodnika, przez który płynie prąd, kwadratu natężenia tego prądu oraz czasu przepływu, lub inaczej - *Ilość ciepła wydzielanego w czasie przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik elektryczny jest wprost proporcjonalna do iloczynu oporu elektrycznego przewodnika, kwadratu natężenia prądu i czasu jego przepływu.*³

Thomas Johann Seebeck odkrył w 1821, że łącząc obwód dwoma przewodnikami z różnych metali i ogrzewając tylko jeden z nich, igła kompasu, którą umieścił na jednym ze spojeń, wychylała się jak w doświadczeniu Oersteda, z czego wyciągnął wniosek, że działa na nią pole magnetyczne. Dopiero po jakimś czasie odkryto, że można je wykorzystać do pomiaru temperatur i wytwarzania energii elektrycznej.

Na zjawisku Seebecka - powstawaniu różnicy potencjałów elektrycznych na styku metali lub półprzewodników o różnych temperaturach - opiera się zasada działania termopar, przyrządów służących do pomiaru temperatur, których zaletami są małe rozmiary, mała bezwładność czasowa, dosyć wysoka czułość, szeroki zakres pomiaru oraz najważniejsze - przetwarzają wielkość nieelektryczną bezpośrednio na elektryczną napięcie. Schematycznie zjawisko Seebecka przedstawiono na Rys.2.

³ Ibidem, czas dostępu 29.01.2015.



Rys.2. Efekt Seebecka

Jeżeli temperaturę metalu gorącego oznaczymy jako T_1 , chłodnego T_2 , a ich współczynniki Seebecka (charakterystyczne dla danego materiału, wyrażane w V/K lub V/°C) jako odpowiednio S_1 i S_2 , to napięcie możemy obliczyć ze wzoru:

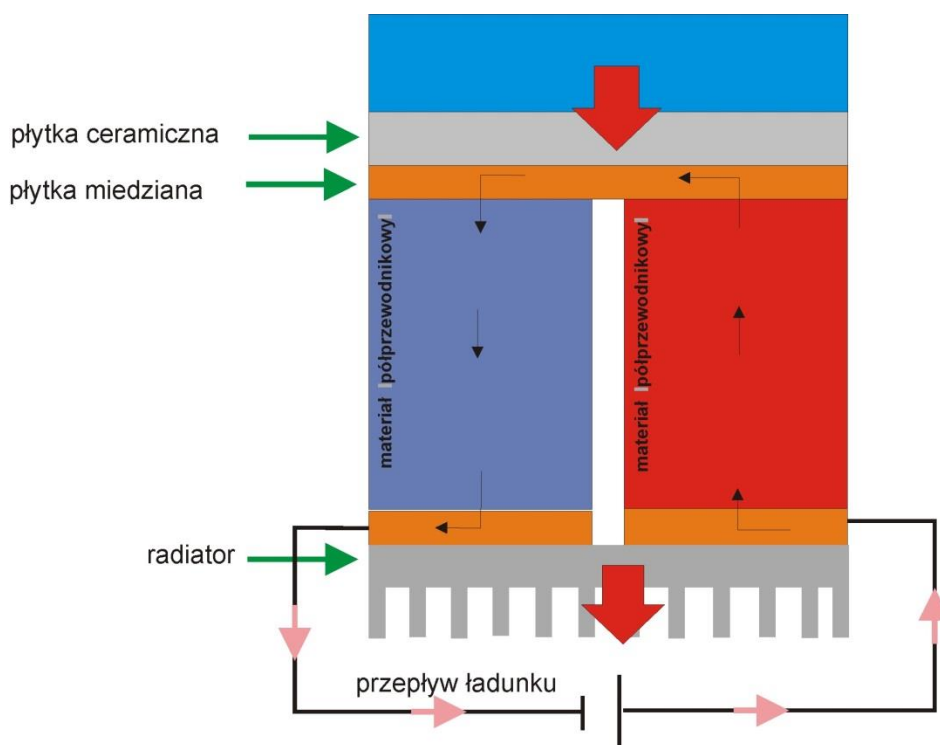
$$V = (S_1 - S_2) * (T_1 - T_2)$$

W 1856 William Thomson, Lord Kelvin, odkrył jedno ze zjawisk termoelektrycznych, które nazwano później jego imieniem. Mówi ono o wydzielaniu lub pochłanianiu ciepła w czasie przepływu prądu przez jednorodny przewodnik, w którym występuje różnica temperatur, zwana również gradientem temperatury. Kelvin zauważył, że ilość wydzielonego, lub pochłoniętego, ciepła jest proporcjonalna do różnicy temperatury, natężenia prądu i czasu jego przepływu, a częściowo i od rodzaju samego przewodnika. Współczynnik Thomsona (τ_T) zdefiniowany jest jako:

$$\Delta Q_T = \tau_T * I * \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Gdzie ΔQ_T to ilość ciepła wydzielonego na długości Δx , $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ to gradient temperatury na danej długości przewodnika, a I to wartość przepływającego prądu.

Efekt Peltiera (zjawisko Peltiera) - jedno z podstawowych zjawisk termoelektrycznych w ciałach stałych. Stanowi odwrotność zjawiska Seebecka. Polega na wydzielaniu lub pochłanianiu energii termicznej, pod wpływem przepływu prądu elektrycznego przez złącze. Zachodzi na granicy dwóch różnych przewodników lub półprzewodników (n i p) połączonych elektrycznie szeregowo. Zjawisko to jako pierwszy zaobserwował francuski fizyk Jean Charles Peltier w 1834 roku. Zauważył on, że po utworzeniu obwodu z dwóch rodzajów drutów - miedzianego i bizmutowego - oraz podłączeniu ich do źródła energii elektrycznej, jedno ze złączy nagrzewało się, natomiast drugie ochładzało. Po umieszczeniu "zimnego" złącza w izolowanym pojemniku, uzyskał w ten sposób bardzo nisko wydajną lodówkę. Efekt Peltiera schematycznie przedstawiono na Rys.3.



Rys.3. Efektu Peltiera

Dalsze eksperymenty potwierdziły pochłanianie lub wydzielanie energii cieplnej przez złącza różnych półprzewodników lub metali, znajdujących się w obwodzie, w którym przepływa prąd elektryczny. Na skutek jego działania, energia pochłaniana przez jedno złącze jest następnie wydzielana przez drugie - wynikiem jest ochłodzenie jednego złącza i ogrzanie drugiego, co doprowadza do powstania pomiędzy nimi różnicy temperatur. Ochłodzeniu ulega złącze, w którym elektrony przechodzą z przewodnika o niższym poziomie Fermiego (maksymalna energia, jaką mogą przyjmować elektrony swobodne w ciele stałym w temperaturze zera bezwzględnej) do przewodnika o wyższym. Poprzez zmianę polaryzacji obwodu, a tym samym zmianę kierunku przepływu prądu, zachodzi odwrócenie temperatur złącza.

Ilość przekazywanej w ten sposób energii zależy od materiałów wykonania złącza, natężenia przepływającego prądu oraz czasu jego przepływu. Ponadto, różnica temperatur wzrasta przy większej różnicy zdolności termoelektrycznej (wspomniany wcześniej współczynnik Seebecka) materiałów oraz ze zwiększeniem się natężenia prądu, co zostało przez Peltiera opisane wzorem:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \eta_{AB} * I$$

Gdzie ΔQ to ciepło pochłaniane przez złącze zimne i wydzielane przez złącze ciepłe, Δt to czas pomiaru, η_{AB} to współczynnik Peltiera danego układu a I to natężenie prądu przepływającego w tym układzie.

Tabela 1 . Przykładowe zastosowania zjawisk termoelektrycznych

DOMOWE	MEDYCZNE	TECHNICZNE
małe lodówki	aparaty do mrożenia komórek	higrometr
urządzenia klimatyzacyjne	kriochirurgia	urządzenia termostatujące
Termostaty	przechowywanie preparatów	wymrażarki próżniowe
pojemniki o stałej temp.	urządzenia do terapii temp.	topienie strefowe
chłodzenie cieczy	chłodzenie próbek biologicznych	miniaturowe chłodnice

2. Eksperyment

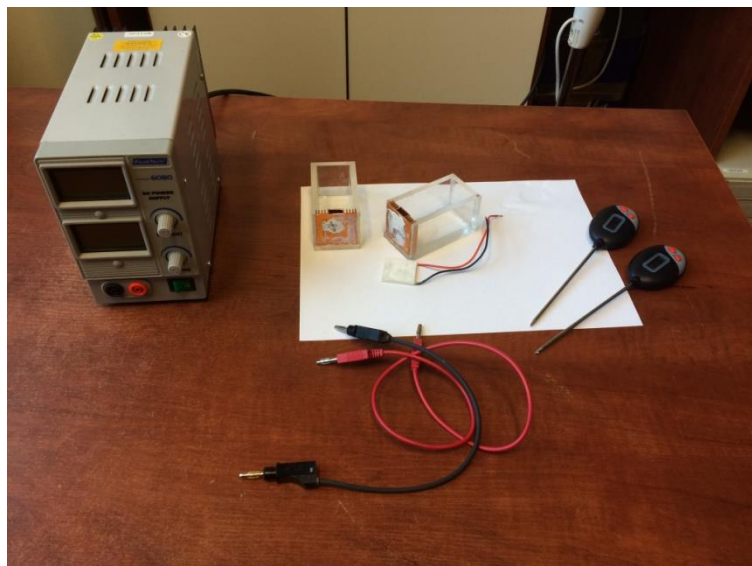
Nasza grupa stworzyła generator termoelektryczny oparty na ogniwie Peltiera, za pomocą którego można zaprezentować zjawisko Seebecka. Wykorzystaliśmy do tego celu następujące elementy (Rys.4): dwa zbiorniczki na wodę (1), w których jedna ze ścian została zastąpiona przez radiator, w celu dobrego transportu ciepła, wodę zagotowaną (2) oraz mieszaninę wody z lodem (3), ogniwo Peltiera (4), wiatrak z silnikiem krokowym 2V(5) oraz układ termopar (6)



Rys.4. Elementy użyte do budowy układu pomiarowego demonstrującego efekt Seebecka.

Jeden zbiornik na wodę został wypełniony wodą gorącą, podczas gdy drugi mieszaniną wody z lodem. Moduł Peltiera pokryliśmy pastą termoprzewodzącą w celu lepszego transportu ciepła. Następnie moduł Peltiera umieszczono pomiędzy dwoma zbiorniczkami, w taki sposób, że znajdował się w kontakcie cieplnym ze ściankami miedzianymi obydwu zbiorniczków. Schemat układu do badania zjawiska Seebecka przedstawiliśmy na rysunku 4. Do modułu Peltiera podłączono wiatraczek.

Schemat układu do badania zjawiska Peltiera przedstawiliśmy na Rysunku 5. Układ złożony jest z modułu Peltiera, który został połączony cieplnie z radiatorami, zasilacza prądu stałego oraz układu termopar. Moduł Peltiera podłączono do zasilacza prądu stałego, natomiast termopary umieszczono odpowiednio w bloku gorącym i zimnym. Podczas eksperymentu wyznaczyliśmy zależność gorącego i zimnego bloku od czasu.



Rys.5. Elementy wykorzystane w zjawisku Peltiera

3. Wyniki i wnioski

3.1 Zjawisko Peltiera.

Układ pomiarowy wykorzystany do demonstracji zjawiska Peltiera jest przedstawiony na rysunku nr 6.



Rys. 6. Układ pomiarowy do demonstracji zjawiska Peltiera

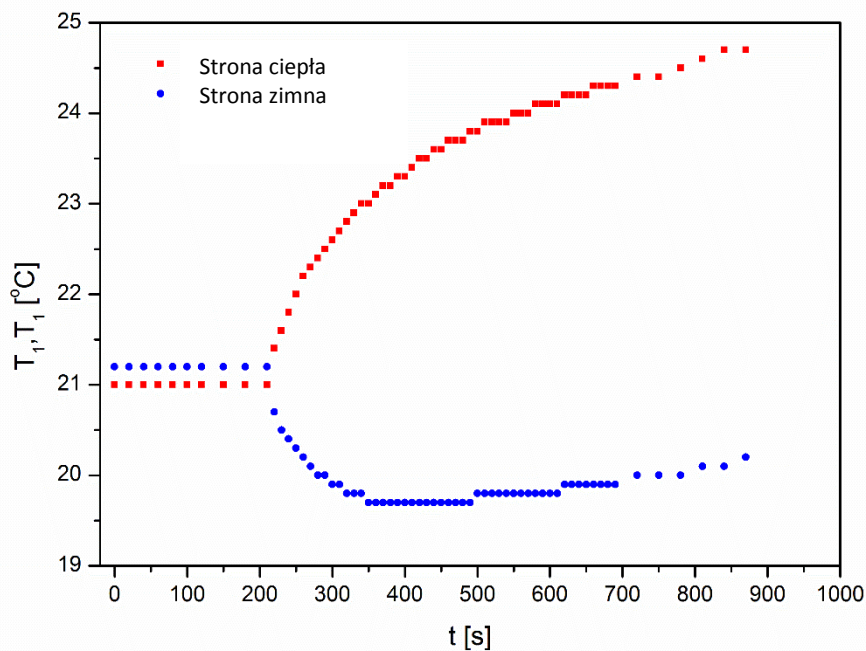
Moduł Peltiera podłączono do zasilacza prądu stałego i przepuszczono prąd o natężeniu 0,98 A.

W wyniku przepływu prądu przez moduł Peltiera zauważono zmiany temperatury płytek miedzianych stykających się z modułem. Temperatura jednej płytki wzrastała wraz z upływem czasu, a temperatura drugiej spadała. Zależność temperatury od czasu dla obydwu stron modułu Peltiera przedstawiony jest na rysunku nr 7.

Aby wyjaśnić obserwowane zjawisko należy oprzeć się na zjawisku Peltiera. Jak już wcześniej wspomniano, moduł Peltiera składa się z dwóch ceramicznych płytek, pomiędzy którymi umieszczono naprzemiennie ułożone półprzewodniki typu n i p połączone elektrycznie szeregowo. Jak wiadomo, w półprzewodnikach typu p brakuje elektronów do obsadzenia górnego poziomu energetycznego, podczas gdy w półprzewodnikach typu n występuje nadmiar elektronów, co oznacza, że pasmo energetyczne jest całkowicie zapełnione i nadmiarowe elektrony znajdują się w następnym paśmie energetycznym.

Podłączając napięcie do modułu Peltiera spowodowaliśmy, iż każdy nadmiarowy nośnik ładunku będzie przenoszony do miejsca o przeciwnej polaryzacji, czyli możemy mówić o przepływie prądu. Elektrony w półprzewodniku typu n przepływają w miejsce dodatniego bieguna, powodując gromadzenie się w tym miejscu ładunku, wytwarzając jego niedobór po przeciwnej stronie. Podobnie w półprzewodniku typu p, dziury przepływają w stronę ujemnego bieguna. Ze względu na pole elektryczne wytworzone przez napięcie między zaciskami modułu, powoduje wzrost energii kinetycznej nośników ładunku, co uwidacznia się przez ogrzanie jednej ze stron modułu.

Podczas doświadczenia wykonano pomiar zależności temperatur zimnego i gorącego bloku od czasu przy ustalonej wartości prądu zasilającego moduł Peltiera. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku na rysunku nr 7.

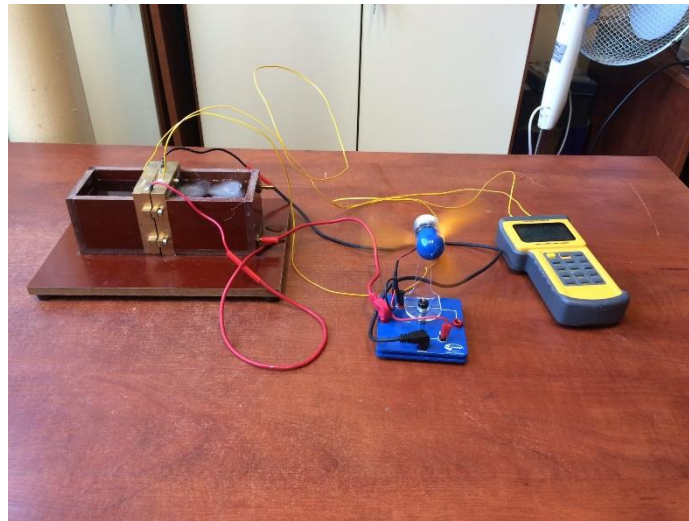


Rys. 7. Zależność temperatur zimnego i gorącego bloku od czasu.

Warto zwrócić uwagę, iż największy przyrost temperatury następuje w początkowej fazie eksperymentu. Wraz z upływem czasu temperatura obydwu stron stabilizuje się na pewnej charakterystycznej wartości, zależnej od przyłożonego napięcia. Ważnym wynikiem otrzymanej charakterystyki, jest zaobserwowanie w końcowej fazie pomiaru wzrostu temperatury bloku zimnego. Spowodowane jest to wydzielaniem się ciepła Joule'a.

3.2. Zjawisko Seebecka.

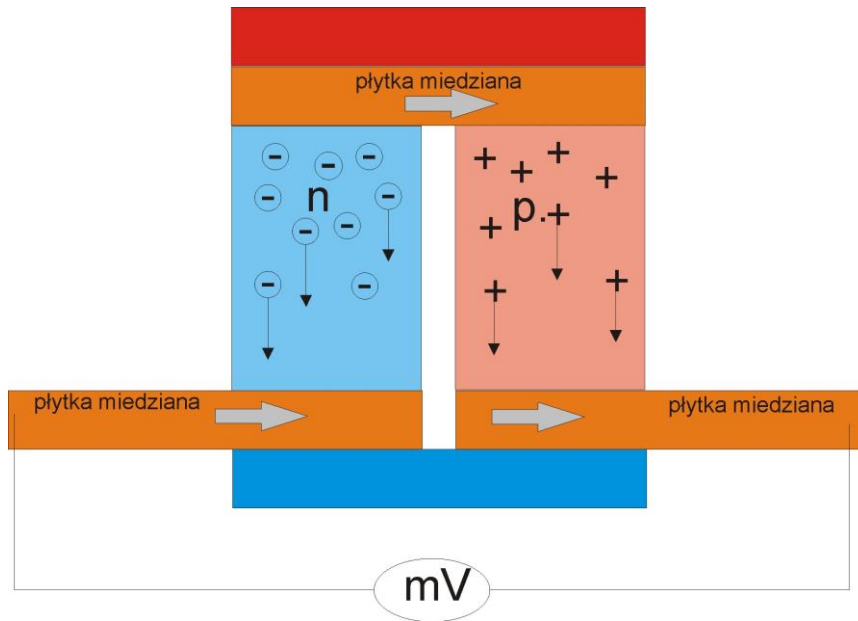
Do demonstracji zjawiska Seebecka zmontowano układ przestawiony na rysunku nr 8.



Rys. 8. Układ pomiarowy do demonstracji zjawiska Seebecka.

W celu demonstracji zjawiska Seebecka wytworzono różnice temperatur pomiędzy stronami modułu Peltiera (pomiędzy blokami miedzianymi) poprzez wypełnienie ich odpowiednio mieszaniną wody z lodem o temperaturze $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz wodą ogrzaną do temperatury $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. W wyniku wytworzenia gradientu temperatur między stronami modułu Peltiera zaobserwowaliśmy powstanie siły elektromotorycznej poprzez podłączenie do obwodu wiatraczka. W przypadku stworzenia gradientu temperatury równego $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ czas pracy wiatraczka wynosił ok. 20 min.

Wyjaśnienie obserwowanego zjawiska przedstawiono schematycznie na Rys.10. Energia termiczna, wytworzona w wyniku umieszczenia jednej ze stron modułu Peltiera przy zbiorniku z gorącą wodą, powoduje iż elektrony w półprzewodniku typu n i dziury w półprzewodniku typu p mają wystarczającą energię aby przejść do pasma przewodnictwa. Nośniki ładunku znajdujące się po stronie ciepłej modułu będą się odpychać w wyniku czego będą się przemieszczać w kierunku strony zimnej modułu Peltiera, która została zapewniona przez mieszaninę wody z lodem. W półprzewodniku typu n przepływ elektronów wytwarza prąd, który płynie od zimnej do ciepłej strony modułu. Przepływ elektronów powoduje powstanie ładunku ujemnego na stronie zimnej modułu oraz w wyniku migracji elektronów z gorącej strony powstanie ładunku dodatniego na stronie ciepłej. W półprzewodniku typu p przepływ dziur powoduje iż prąd płynie w przeciwnym kierunku, w wyniku czego dodatni ładunek wytwarza się na stronie zimnej a ujemny na stronie ciepłej. Jeśli zapewnimy połączenie elektryczne między stronami, jak to pokazaliśmy schematycznie na rys.9 to popłynie prąd.



Rys.9 Wyjaśnienie zasady działania generatora termoelektrycznego

4. Podsumowanie

W ramach pracy chcieliśmy wykazać, w jak prosty i ciekawy sposób można przedstawić zjawiska termoelektryczne. Przedstawiono dwa proste doświadczenie demonstrujące zjawisko Peltiera i Seebecka. Wykazano również obecność ciepła Joule'a w omawianych zjawiskach.

Brak szczególnych wymagań BHP dla pokazu.