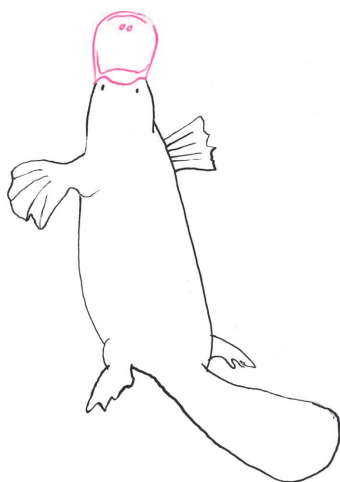


Magnetyczna chłodziarka

Sposobów na chłodzenie wymyślono wiele. Z termodynamicznego punktu widzenia każdy proces, w którym zmienia się entropia, może być użyty do wytworzenia różnicy temperatur. Jednym z ciekawszych, choć raczej mało znanym sposobem, jest wykorzystywanie efektu magnetokalorycznego. Został on odkryty pod koniec XIX wieku, jako ogrzewanie się substancji magnetycznych na skutek magnesowania. Jeżeli substancja jest paramagnetykiem, to w czasie jej adiabatycznego rozmagnesowania następuje obniżenie temperatury. Zjawisko to zostało objaśnione (niezależnie) przez Petera Debaya i Williama Giaque'a w latach dwudziestych XX wieku.

Giaque dostał Nagrodę Nobla z Chemii (1949) za badania, które przeprowadzał dzięki wykorzystywaniu zaprojektowanej przez siebie magnetycznej chłodziarki [1]. Zasadę działania takiego urządzenia można przybliżyć za pomocą analogii ze standardowym cyklem termodynamicznym używanym np. w lodówkach. Tak jak nasycona para jest skraplana za pomocą wysokiego ciśnienia, tak paramagnetyk jest magnetyzowany za pomocą pola magnetycznego. W obu przypadkach następuje uporządkowanie kosztem wzrostu temperatury, a poprzez oddanie ciepła – obniżenie entropii. Następnie, tak jak ciecz odparowuje po obniżeniu ciśnienia, tak paramagnetyk rozmagnesowuje się po usunięciu zewnętrznego pola magnetycznego. W obu przypadkach proces odbywa się kosztem ciepła wewnętrznego, więc temperatura się obniża, co wykorzystuje się do chłodzenia. Pobranie ciepła z otoczenia powoduje wzrost entropii i cykl się zamyka.



Od około dwudziestu lat obserwuje się wzrost zainteresowania chłodzeniem magnetycznym. W tym roku ma miejsce premiera komercyjnego wykorzystania pomysłu [2]. Produkowane przez francuską firmę *Cooltech Applications* urządzenie *Weenter®* wykorzystuje zestaw kilku substancji magnetokalorycznych o zbliżonych temperaturach Curie (T_C), uformowanych w porowaty blok, umieszczony w polu magnetycznym wytwarzanym przez stały magnes. Rotacja magnesu zapewnia zmianę pola. Przez blok przepuszczany jest czynnik chłodzący (taki jak w chłodnicy samochodowej), na przemian: od strony o najniższej T_C po ogrzaniu, a z powrotem po schłodzeniu. Po około 200 cyklach (z częstością 1 Hz) osiągnięta jest równowaga z temperaturą około -5°C po jednej oraz 36°C po drugiej stronie.

Jednocześnie trwa rywalizacja, jeżeli chodzi o badania podstawowe w tej dziedzinie. Jednym z dominujących tematów jest badanie materiałów wieloferroicznych (ang. *multiferroic*). Chodzi o substancje, które wykazują więcej niż jedną własność ferroiczną (więcej niż jeden parametr uporządkowania). Oprócz ferromagnetyzmu jest to np. ferroelektryczność (spontaniczne pojawianie się polaryzacji dielektrycznej poniżej temperatury Curie). Warunkiem koniecznym ferroelektryczności jest asymetria kryształów.

W czerwcu ukazała się praca [3], w której autorzy opisują badanie monokryształu HoMn_2O_5 . Ta wieloferroiczna substancja wykazuje bardzo dużą anizotropię magneto-krystaliczną. Łatwość jej magnesowania zależy od kierunku pola magnetycznego względem osi kryształu. Dzięki temu wystarczy taki kryształ obrócić w polu magnetycznym, żeby uzyskać efekt magnetokaloryczny. Umożliwia to użycie silnych nieruchomych magnesów nadprzewodzących. Autorzy argumentują, że jest to kolejna droga do uzyskania komercyjnych chłodziarek, choć akurat badana substancja wykazuje efekt magnetokaloryczny w okolicach 10°K , więc na domową lodówkę raczej się nie nadaje.

Trudno wyrokować, czy magnetyczne chłodziarki zawojują rynek.

Wyeliminowanie freonów jest jakimś argumentem, ale decydujący będzie, moim zdaniem, prosty rachunek ekonomiczny. Jeżeli rzeczywiście okażą się tańsze w eksploatacji, to nie można wykluczyć scenariusza, że za kilkanaście lat inne chłodziarki mogą już nie być produkowane.

Piotr ZALEWSKI

- [1] W.F. Giaque, D.P. MacDougall, *Attainment of temperatures below 1° absolute by demagnetization of $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$* , Phys. Rev. **43**, 768, maj 1933; DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRev.43.768>.
- [2] V. Delecourt, M. Hittinger, Ch. Muller, *Réfrigération magnétique appliquée au froid commercial*, Revue Générale Froid et Conditionnement d'Air **1142**, kwiecień 2014; <http://www.cooltech-applications.com/files/Froid%20article.pdf>.
- [3] M. Balli, S. Jandl, P. Fourier, M.M. Gospodinov, *Anisotropy-enhanced giant reversible rotating magnetocaloric effect in HoMn_2O_5 single crystals*, Appl. Phys. Lett. **104**, 232402, czerwiec 2014; <http://dx.doi.org/10.1063/1.4880818>.