



Niezwykła kariera poła magnetycznego

Szymon Pustelny¹

Centrum Badań Magnetoptycznych, Instytut Fizyki UJ

Co nieco historii

O tym, że kompas jest niezbędnym elementem wyposażenia podczas survivalu wie każdy. Niewielu z nas jednak zdaje sobie sprawę jak długa jest historia tego urządzenia. Pierwsze zapiski o magicznych łyżeczkach wskazujących północ znajdujemy w zapiskach kronikarza chińskiej dynastii Han z 83 r. n.e. Od tego momentu informacje o „magicznych rzeczach” wskazujących kierunki geograficzne pojawiały się w różnych pismach chińskich i indyjskich.

Sam kompas, jako urządzenie składające się z niewielkiej igły wskazującej północ zbudowano w Chinach około VIII wieku. Do Europy dotarł on najprawdopodobniej Jedwabnym Szlakiem na początku XII wieku i praktycznie od razu został wykorzystany przez kupców weneckich. Dzięki niemu mogli oni bowiem wyprawić swoje statki handlowe na Bliski Wschód nie tylko latem, kiedy dobra pogoda pozwalała „czytać” mapę nieba, ale również zimą kiedy niebo pokryte gęstą warstwą chmur było nieprzychylnie żeglarzom.

Przez wieki ludzie używali kompasu zupełnie nie rozumiejąc zasady jego działania. Co więcej, nie tylko nie wiedzano jak on działa, ale nieznanym był nawet punkt wskazywany przez jego igłę.

W 1600 roku angielski lekarz i fizyk William Gilbert opublikował książkę zatytułowaną *O magnesach, ciałach magnetycznych i wielkim magnesie Ziemi*. W książce tej postawił on hipotezę, że za obrót igły kompasu odpowiedzialne jest ziemskie pole magnetyczne. W celu jej zweryfikowania Gilbert zbudował z bryły magnetytu, jedyne znanego wówczas materiału magnetycznego, model Ziemi. Przykładając do niego malutki kompas, stworzył on mapę pola magnetycznego na powierzchni swojego modelu. Konfrontując następnie wyniki eksperymentu z dostępnymi mu zapisami wskazań kompasów rejestrowanych podczas podróży morskich, udało mu się w pełni potwierdzić swoją hipotezę.



William Gilbert

¹ Obecnie stypendysta na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley, USA.

Przełomowe w teorii Gilberta było nie tylko wprowadzenie ziemskiego magnetyzmu, ale również wprowadzenie nieznanego wcześniej „działania na odległość”, czyli wprowadzenie pojęcia pola. Do tego momentu bowiem obowiązywało antyczne przekonanie, że ciała mogą na siebie działać tylko wtedy, kiedy znajdują się w fizycznym kontakcie. Gilbert stwierdził jednak, że kontakt taki wcale nie jest konieczny, a ciała mogą na siebie oddziaływać poprzez pole. Dzięki polu Gilbert mógł wyjaśnić oddziaływanie magnetyczne, które rządziło obrotem igły w kompasie. Kilkadziesiąt lat później ta sama idea została wykorzystana przez Izaaka Newtona do stworzenia Teorii Powszechnego Ciężenia.

Kompas jest pierwszym przypadkiem wykorzystania własności pola magnetycznego przez człowieka, z czasem jednak okazało się, że pole magnetyczne ma dużo szersze zastosowanie niż tylko te wiążące się z wyznaczaniem kierunków geograficznych.

Innym ważnym wydarzeniem w historii pola magnetycznego było odkrycie duńskiego uczonego Hansa Christiana Oersteda. W kwietniu 1820 roku podczas przygotowań do wykładu o elektryczności Oersted dokonał zaskakującego odkrycia. Zauważył on, że igła kompasu umieszczonego nieopodal przewodnika z prądem odchyła się wtedy, kiedy w przewodniku tym płynie prąd. Przeprowadzone przez Oersteda badania wykazały, że to właśnie ruch ładunków elektrycznych odpowiedzialny jest za powstanie pola magnetycznego. I to nie tylko w przewodnikach, przez które płynie prąd, ale również w magnesach stałych.



Hans Christian Oersted

Co ciekawe Oersted wcale nie był pierwszym uczonym, który odkrył związek pomiędzy magnetyzmem i prądem elektrycznym. Kilkanaście lat wcześniej tej samej obserwacji dokonał Włoch Gian Domenico Romagnosi, który swoje odkrycie ogłosił w jednej z włoskich gazet. Niestety, odkrycie to nie zostało zauważone przez społeczność naukową i to nie Romagnosi, a Oersted uważany jest dziś za jednego z ojców magnetyzmu.

Wielkim spadkobiercą Oersteda był brytyjski uczoney Michael Faraday. Zauważył on, że nie tylko prąd powoduje powstanie pola magnetycznego, ale także pole magnetyczne może powodować, że w przewodniku będzie płynął prąd. To szalenie ważne odkrycie znalazło szerokie zastosowanie praktyczne. Jest ono dziś wykorzystywane we wszystkich silnikach elektrycznych. Stanowi ono również podstawę wytwarzania prądu elektrycznego w większości działających obecnie elektrowni.

Od czasu Oersteda i Faradaya ludzie wiedzieli, że pomiędzy polem elektrycznym i magnetycznym istnieje nierozzerwalny związek. Teoria łącząca w jedną spójną całość oddziaływania elektryczne i magnetyczne powstała w 1864 roku. Jej

twórcą był Anglik James Clerk Maxwell. Powiązał on ze sobą oba oddziaływania w formie relacji matematycznych znanych dziś pod nazwą równań Maxwella. Teoria ta nie tylko wyjaśniała związek pomiędzy oboma polami, ale również tłumaczyła rozchodzenie się fal elektromagnetycznych w przestrzeni.

Kolejnym przełomowym wydarzeniem w historii pola magnetycznego było odkrycie momentu magnetycznego atomów. Okazuje się bowiem, że atomy zachowują się jak małe magnesy. Klasycznie magnetyzm atomowy można wyjaśnić posługując się planetarnym modelem budowy atomu. W modelu tym każdy elektron krążący po orbicie kołowej wokół jądra może być traktowany jako elementarny przewodnik z prądem. Zgodnie z obserwacją Oersteda prowadzi to do powstania pola magnetycznego. Jednakże na moment magnetyczny atomów składa się nie tylko magnetyzm związany z ruchem elektronów wokół jądra, ale odpowiedzialne jest za niego także pole magnetyczne związane ze spinem. W klasycznym rozumieniu spin to ruch ciała wokół własnej osi. Ponieważ zarówno elektron jak i jądro posiadają ładunek elektryczny ruch taki prowadzi do powstania pola magnetycznego. Suma pól magnetycznych związanych z ruchem elektronów wokół jądra oraz ruchem elektronów i jądra wokół własnej osi składa się na moment magnetyczny atomu.

Seria odkryć naukowych dotyczących pola magnetycznego pozwoliła nam lepiej zrozumieć otaczający nas świat. Lepsze zrozumienie natury prędkiej czy później zawsze prowadzi do konkretnych zastosowań. W przypadku pola magnetycznego zastosowań jest niezmiernie dużo.

Pole magnetyczne – od teorii do zastosowań

Znaczenie pola magnetycznego we współczesnej nauce jest olbrzymie. Jest ono m.in. wykorzystywane w serii eksperymentów, w których weryfikowane są fundamentalne teorie naukowe, pozwala na badanie struktury materii na poziomie mikroskopowym, wykorzystuje się je w badaniach kosmosu.

Pole magnetyczne może pomóc w rozwiązaniu jednej z największych zagadek współczesnej nauki czyli odpowiedzi na pytanie dlaczego we Wszechświecie pojawiła się materia. Zgodnie z obowiązującą obecnie teorią Wszechświat powstał w wyniku tzw. Wielkiego Wybuchu. Jego skutkiem było powstanie materii i antimaterii. Atomy antimaterii zbudowane są z tzw. antycząstek: antyprotonów, antyneutronów i antyelektronów, które posiadają taką samą masę i spin jak ich materialne odpowiedniki, ale mają przeciwny ładunek elektryczny. Gdy cząstka i antycząstka spotykają się ze sobą dochodzi do ich anihilacji – obie cząstki znikają. W ich miejsce pojawia się promieniowanie elektromagnetyczne o odpowiedniej energii. Gdyby jednak we wczesnym Wszechświecie liczba cząstek materii i antimaterii była równa, dziś byłby on wypełniony jedynie promieniowaniem elektromagnetycznym. Tak jednak nie jest, ponieważ tuż po Wielkim Wybuchu złamana została subtelna równowaga pomiędzy materią i antimaterią. Odpowiedź

na pytanie dlaczego tak się stało oraz jakie mechanizmy rządziły tym procesem wciąż pozostaje otwarta. Możliwe, że uda nam się ją przybliżyć poprzez serię eksperymentów, w których bada się własności elektryczne i magnetyczne neutronów.

Za pomocą pola magnetycznego bada się dziś również skład chemiczny materii. Ponieważ cząstki posiadają moment magnetyczny, umieszczenie ich w zewnętrznym polu magnetycznym powoduje, że zaczynają one w tym polu wirować. Częstość ich obrotu zależy od natężenia pola, w którym zostały one umieszczone i jest ona różna dla poszczególnych związków chemicznych. Pozwala to na określenie składu chemicznego danej substancji.

Opisana powyżej metoda nosi nazwę metody rezonansu magnetycznego. Ma ona bardzo szerokie zastosowania poczynając od przełomowych badań nad lekami na raka, poprzez diagnostykę medyczną wielu chorób, a na czujnikach narkotyków montowanych na lotniskach skończywszy.

Pomiary pola magnetycznego są wykorzystywane również w badaniach kosmosu. To m.in. dzięki badaniom magnetosfery Saturna na jednym z jego księżyców – Enceladusie – odkryto po raz pierwszy w kosmosie wodę w stanie ciekłym. Jest to niezmiernie ważne odkrycie, ponieważ woda stanowi podstawowy składnik niezbędny do powstania życia.

W elektronice znane jest prawo Moore'a. Prawo to mówi o tym, jak szybko zwiększa się wydajność i miniaturyzacja produkowanych układów scalonych. Bezpośrednią konsekwencją prawa Moore'a jest istnienie pewnej nieprzekraczalnej granicy technologicznej, która uniemożliwi dalszą miniaturyzację i wzrost wydajności takich układów. Istnienie tej granicy związane jest z probabilistyczną naturą świata ujawniającą się na poziomie mikroskopowym. Wszystko wskazuje na to, że przy obecnym tempie rozwoju techniki granica ta zostanie osiągnięta w ciągu najbliższych kilkunastu lat. Dlatego też niezbędne jest stworzenie nowych rozwiązań, które pozwoliłyby na dalszy rozwój tej dziedziny.

Jedną z propozycji jest tzw. spinotronika. Wykorzystuje się w niej nie tylko ładunek, ale również moment magnetyczny (spin) elektronu. Takie rozwiązanie miałoby pozwolić na prowadzenie tzw. obliczeń kwantowych, w których wykorzystywane byłyby własności mechaniki kwantowej. Już dziś wiadomo, że stworzenie komputerów, w których wykorzystywane byłyby algorytmy kwantowe, stanowiłoby jakościową zmianę w wielu znanych obecnie problemach obliczeniowych. Algorytmy te dramatycznie przyspieszyłyby rozkład liczb na czynniki pierwsze, co stanowi podstawę znanych obecnie algorytmów kryptograficznych oraz algorytmów przeszukujących bazy danych.

Nie mniej znaczące są zastosowania pola magnetycznego w technice. Już samo jego zastosowanie we wszystkich typach silników elektrycznych nadaje mu zupełnie wyjątkowe znaczenie. Na tym jednak jego zastosowania w technice wcale się nie kończą. Jest ono np. wykorzystywane do zapisu informacji. Realizacja

zapisu danych w postaci odpowiednio namagnesowanych obszarów w materiale magnetycznym, jak to ma miejsce w przypadku twardego dysku, jest bardzo wydajna i szybka. Pozwala ona na zapis setek gigabajtów na powierzchni nie większej od spodeczka do kawy. Co więcej, najnowsze osiągnięcia dotyczące superczułych czujników pola magnetycznego przyczynią się do dalszej miniaturyzacji obszaru potrzebnego do zapisu informacji. Pozwoli to na wielokrotne zwiększenie pojemności stosowanych obecnie twardego dysku.

Badania pola magnetycznego znalazły również zastosowanie w początkowej fazie poszukiwań złóż surowców mineralnych. Okazuje się bowiem, że w miejscach, w których występują złoża ropy naftowej czy gazu ziemnego dochodzi do zaburzenia ziemskiego pola magnetycznego. Wszystko dlatego, że blisko 10% ziemskiego pola magnetycznego pochodzi od namagnesowanych skał znajdujących się w skorupie ziemskiej. W miejscach gdzie występują złoża ropy czy gazu ziemnego takich skał nie ma, a przez to odpowiednio mniejsze jest ziemskie pole magnetyczne. Badania anomalii w ziemskim polu magnetycznym pozwalają zatem na wstępną lokalizację obszarów, w których złoża takie mogą występować.

Nie mniej ważnym zastosowaniem pola magnetycznego są zastosowania militarne. Okazuje się bowiem, że dokładne czujniki pola magnetycznego mogą stanowić podstawę działania urządzeń służących do wykrywania łodzi podwodnych. Wbrew szpiegowskim opowieściom większość współczesnych misji takich łodzi polega na wielotygodniowym nieruchomym przebywaniu na dnie morza. Nie poruszając się są one praktycznie niewykrywalne przy pomocy wykorzystywanych obecnie przez wojsko czujników. Ponieważ jednak łodzie podwodne są w większości zbudowane ze stali, która jest materiałem magnetycznym, w pewnym obszarze wokół nich dochodzi do zaburzeń pola magnetycznego. Istnienie takich zmian na znanych mapach magnetycznych pozwoli na wykrycie łodzi nawet wtedy, kiedy nieruchomo leżą one na dnie morza.

Pole magnetyczne znalazło we współczesnym świecie niezliczoną liczbę zastosowań począwszy od silników elektrycznych, poprzez czujniki narkotyków, a na poszukiwaniach złóż skończywszy. Co więcej wszystko wskazuje na to, że z biegiem czasu ich liczba będzie wciąż rosła. Być może będą wśród nich tak spektakularne jak choćby te związane z komputerami kwantowymi. A przecież wszystko zaczęło się od zwykłego kompasu.