

Dydaktyka elektrotechniki. Magnetyczny Wszechświat

Andrzej Przytułski

Nie tylko Ziemia, ale także Słońce, planety, gwiazdy i całe galaktyki mają własne pola magnetyczne. Już w szesnastym wieku szwajcarsko-austriacki lekarz, alchemik, astrolog, mistyk i filozof Phillippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim (fot. 1), nazywany od 1529 roku Paracelsusem twierdził, że całe niebo wypełnione jest polem magnetycznym [1]. Jednak rola przypisywana istnieniu sił magnetycznych w tamtym czasie różniła się diametralnie od obecnego stanu wiedzy.

Aktualnie najwięcej danych zgromadzonych jest na temat magnetyzmu słonecznego. Od 1908 roku wiadomo, że plamy słoneczne są silnym źródłem pola magnetycznego. Jako pierwszy odkrył to Georg Ellery Hale (fot. 2), amerykański astronom, popularyzator astronomii i badań astronomicznych. Był założycielem lub współzałożycielem kilku obserwatoriów oraz konstruktorem skomplikowanych przyrządów obserwacyjnych. W 1904 roku zbudował w pobliżu Los Angeles Obserwatorium Mount Wilson, którym kierował przez następnych dwadzieścia lat. Tam skonstruował przyrządy do badania Słońca, które we wspomnianym już 1908 roku pozwoliły mu odkryć pole magnetyczne plam słonecznych.

W roku 1958 Harold Babcock wraz ze swym synem Horacym Babcockem, pracując w obserwatorium założonym przez Georga Ellery Hale'a, udowodnili na podstawie



Fot. 1. Paracelsus (1493-1541), lekarz i przyrodnik zwany ojcem medycyny nowożytnej wg [2]



Fot. 2. Georg Ellery Hale (1868-1938), amerykański astronom, popularyzator astronomii i badań astronomicznych wg [3]

biegunowości poszczególnych plam, że cykl ich powtarzania wynosi dwadzieścia dwa lata, a nie – jak przez długi czas uważano – jedenaście lat. Za pomocą magnetografu słonecznego – przyrządu służącego do badania zmian natężenia pola magnetycznego – udowodnili oni periodyczną, wynoszącą jedenaście lat, zmianę jego biegunowości.

Średnia wartość natężenia pola magnetycznego gwiazdy naszego układu jest tylko dwukrotnie większa od średniego pola magnetycznego Ziemi, ale plamy wykazują ponad tysiąc (do dziesięciu tysięcy) większą wartość gęstości strumienia magnetycznego (indukcji magnetycznej). W przeciwieństwie do pola magnetycznego Ziemi pole magnetyczne Słońca obraca się. Jego zmiany mają wpływ na całą heliosferę, która obejmuje Układ Słoneczny. Magnetyczny wpływ Słońca rozciąga się na wiele miliardów kilometrów poza orbitę Neptuna. Nadmienić należy, że cykl słoneczny został odkryty już w 1843 roku przez niemieckiego astronoma amatora Samuela Heinricha Schwabe. Odkrycie to było efektem trwających 17 lat obserwacji tarczy słonecznej i rejestrowania zmian w liczbie plam. Schwabe nie zamierzał wówczas ustalać cyklu słonecznego, lecz miał na celu odkrycie hipotetycznej planety wewnątrz orbity Merkurego. Obecnie wiadomo, że przeciętna długość cyklu to około 11 lat. Zdarzają się jednak cykle o kilka lat krótsze oraz trwające dłużej. Cykl w latach 1755–1766 jest tradycyjnie oznaczany jako numer 1, zgodnie z numeracją, którą ustanowił Rudolf Wolf – szwajcarski astronom badający Słońce w XIX wieku. Obecnie trwa dwudziesty czwarty cykl, który rozpoczął się w roku 2009.

Pole magnetyczne przestrzeni międzyplanetarnej

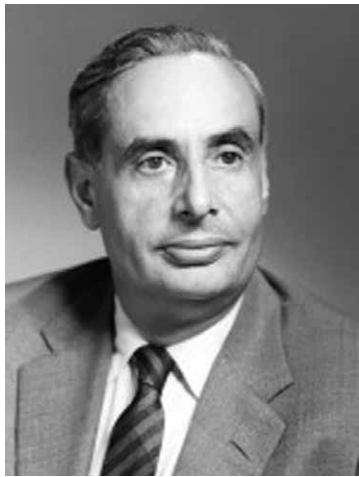
Nad koncepcją pola magnetycznego przestrzeni międzyplanetarnej pracowali w latach 1958–1965 głównie astronomowie amerykańscy: Eugen Newman Parker urodzony w 1927 roku, John Marsh Wilcox (1925–1983) i Norman Frederick Ness urodzony w 1933 roku. Ich teoretyczne rozważania potwierdzone zostały pierwszy raz przez aparaturę pomiarową amerykańskiej sondy kosmicznej Mariner 2 w roku 1962. Obecnie przypuszcza się, że pierwotne pole magnetyczne przestrzeni międzyplanetarnej odegrało bardzo ważną rolę w kształtowaniu się Układu Słonecznego, którego jednakowy układ planet powtarza się co 179 lat, a jego średnica szacowana jest na około pięć lat świetlnych. Najbliższa od Układu Słonecznego gwiazda leży w odległości około czterech lat świetlnych, a od centrum naszej galaktyki – Drogi Mlecznej – dzieli nas prawie 30 000 lat świetlnych.

Najsilniejsze pole magnetyczne w Układzie Słonecznym ma Jupiter, po nim następują Saturn i Neptun. Ziemia zajmuje w tej

klasyfikacji czwartą pozycję. Planety leżące bliżej Słońca – Merkury, Wenus i Mars – mają o wiele słabsze pola magnetyczne niż Ziemia. Na Księżycu nie stwierdza się praktycznie pola magnetycznego. Kąt między osią obrotu poszczególnych planet i osią ich biegunów magnetycznych jest również różny. Dla Ziemi i Jowisza wynosi on obecnie około 10° , a dla Uranu i Neptuna to około $50\text{--}60^\circ$ [4].

Pole magnetyczne Ziemi

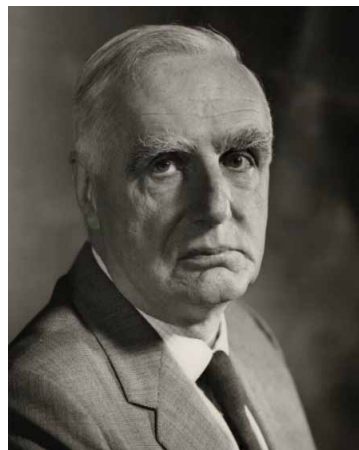
Według dzisiejszego stanu wiedzy pole magnetyczne Ziemi powstaje analogicznie, jak pole magnetyczne w samowzbudnej maszynie prądu stałego. Jako pierwszy koncepcję taką przedstawił Sir Joseph Larmor (1857–1942). W angielskim czasopiśmie „The Electrical Review” z 26 sierpnia 1919 roku opublikował on artykuł pt. „Jak Słońce staje się magnesem”. Postawił on tam hipotezę stwierdzającą, iż magnetyzm słoneczny powodowany jest identycznym mechanizmem, który zastosowali w swoich samowzbudnych dynamach Siemens i Wheatstone, a następnie stwierdził, że w podobny sposób można wytłumaczyć powstawanie ziemskiego pola magnetycznego. Przez niemalże pół wieku hipoteza Larmora pozostawała jedynym z wielu wyobrażeń na temat magnetyzmu ziemskiego. W roku 1937 istniało około 30 różnych koncepcji tłumaczących to zjawisko. Dopiero po drugiej wojnie światowej idea Larmora zaczęli się interesować przede wszystkim niemiecko-amerykański fizyk Walter Maurycy Elsasser (1904–1991), niemiecko-amerykański fizyk żydowskiego pochodzenia, pracownik naukowy wielu europejskich i amerykańskich uniwersytetów wg [5]



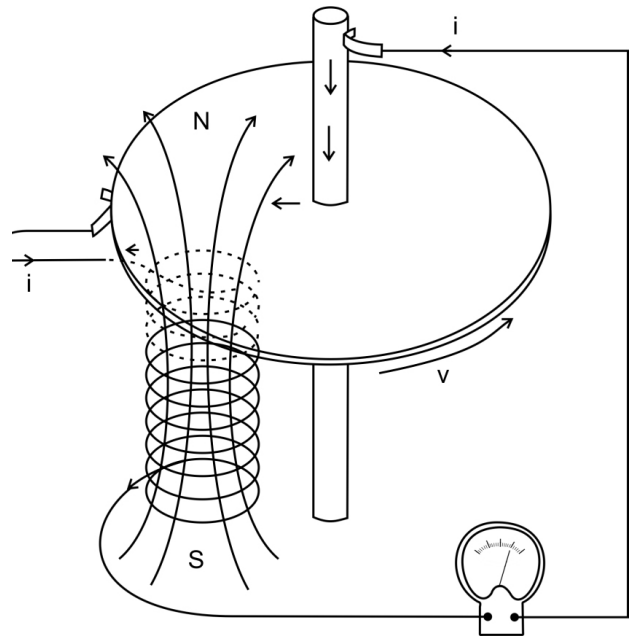
Fot. 3. Walter Maurycy Elsasser (1904–1991), niemiecko-amerykański fizyk żydowskiego pochodzenia, pracownik naukowy wielu europejskich i amerykańskich uniwersytetów wg [5]

Dopiero po drugiej wojnie światowej idea Larmora zaczęli się interesować przede wszystkim niemiecko-amerykański fizyk Walter Maurycy Elsasser (1904–1991) (fot. 3) i angielski geofizyk Edward Crisp Bullard (1907–1980) (fot. 4).

To, że pole magnetyczne Ziemi nie jest stałe, a nawet od czasu do czasu zmienia swoją biegunowość, jest główną przyczyną tego, że stworzenie odpowiedniego modelu odpowiadającego realnym zjawiskom jest niezwykle trudne. Elsasser i Bullard zauważyli, że powstawanie ziemskiego pola magnetycznego można wyjaśnić



Fot. 4. Edward Crisp Bullard (1907–1980), brytyjski geofizyk, znawca generowania pola magnetycznego wewnątrz Ziemi wg [7]



Rys. 1. Mechanizm powstawania ziemskiego pola magnetycznego wg Bullarda z roku 1955 wg [6]

w pewnym stopniu, używając do tego celu jednobiegunowej prądnicy tarczowej, wynalezionej przez Faradaya w 1831 roku (rys. 1). Napięcie na szczotce dotykającej tarczy jest zawsze dodatnie względem szczotki dotykającej jej osi obrotu, a prąd przepływający przez solenoid wytwarza pole magnetyczne o stałej biegunowości [6].

Japończyk Tsuneji Rikitake udoskonalił model Bullarda, wprowadzając w roku 1957 maszynę dwutarczową.

Obecnie przyjmuje się, że pole magnetyczne powstaje w płynnej warstwie Ziemi, zlokalizowanej między stałym jądrem i stałymi warstwami górnymi. Ciepło we wnętrzu naszej planety wytwarzane jest najprawdopodobniej w wyniku procesów radioaktywnych. Hipoteza stałego jądra pochodzi od Emila Wiecherta (1861–1928), a idea płynnej warstwy z roku 1926 – od Sir Harolda Jeffreysa.

Koncepcja powstawania pola magnetycznego Ziemi według Elsassera i Bullarda wydaje się być bardzo prawdopodobna. Wskazuje na to między innymi fakt, że silne pole magnetyczne mają planety, które posiadają płynne jądro, lub te, które są zbudowane całkowicie z gazów, jak np. Jowisz.

Pole magnetyczne gwiazd

Pierwsze eksperymenty potwierdzające istnienie pola magnetycznego gwiazd przeprowadzone zostały przez Harolda i Horacego Babcocków. Teoretyczne prace dotyczące tej tematyki prowadzone były już w 1937 roku przez szwedzkiego fizyka plazmowego Hannesa Olafa Gösta Alfvéna (1908–1995). Brał on pod uwagę nie tylko magnetyzm gwiazd, ale również przestrzeni międzygwiazdnych. Istnienie pola magnetycznego w przestrzeni międzygwiazdnej zostało eksperymentalnie dowiedzione jednak dopiero w 1968 roku przez Amerykanina Gerrita Verschuur.

Najsilniejszymi znanymi dzisiaj źródłami pola magnetycznego we wszechświecie są pulsary odkryte w 1967 roku przez brytyjską astrofizyczkę Jocelyn Bell Burnell (fot. 5), urodzoną w 1943 roku w Belfaście, i jej rodaka Anthony Hewisha, urodzonego w 1924 roku w Fowey w Kornwalii.



Fot. 5. Susan Jocelyn Bell Burnell, brytyjska astrofizyczka, współodkrywczyni pulsarów i współautorka określenia *little green men* – „małe zielone ludziki” wg [8]

Pulsary należą do młodych gwiazd neutronowych. Włoski astronom Franco Pacini (1939–2012) poinformował o prawdopodobieństwie ich istnienia w 1967 roku.

„Czarne dziury”, będące ostatnim stadium rozwoju gwiazd neutronowych, nie wykazują natomiast żadnego pola magnetycznego. Pojęcie „czarnej dziury” wprowadził do języka astrofizyki w roku 1968 amerykański fizyk John Archibald Wheeler (1911–2008). Te niewidoczne gwiazdy zostały odkryte i zaobserwowane w roku 1972. Teoria pola magnetycznego przestrzeni galaktycznej opracowana została w 1953 roku przez indyjskiego astrofizyka pracującego w Stanach Zjednoczonych – Subramanyana Chandrasekhara (1910–1995) i włosko-amerykańskiego fizyka atomowego Enrico Fermiego (1901–1954). Pięć lat później angielski astrofizyk Fred Hoyle (1915–2001) wysunął hipotezę, że życie przybyło na Ziemię z przestrzeni kosmicznej. Był on też „ojcem” określenia „Big Bang” („Wielki Wybuch”), chociaż był przeciwnikiem twierdzenia, że z nieskończonej gęstej i gorącej osłoniętej wyłonili się Wszechświat (przestrzeń, czas, materia, energia i oddziaływania). Wyniki teoretycznych prac wielu uczonych odnośnie do wartości pól magnetycznych szczególnie w Układzie Słonecznym, potwierdzone zostały między innymi przez sondy kosmiczne i sztuczne satelity.

Pionierskie sondy kosmiczne i sztuczne satelity badające magnetosferę

- 4.10.1957 Sputnik 1, pierwszy radziecki sztuczny satelita Ziemi bez aparatury pomiarowej.
- 31.01.1958 Explorer 1, pierwszy amerykański sztuczny satelita Ziemi prowadzący badania naukowe, odkrył schwyte w ziemskim polu magnetycznym promieniowanie, nazwane później pasami Van Allena.
- 26.03.1958 Explorer 3 osiągnął orbitę odległą o około 1000 km od Ziemi i kontynuował badanie pasów Van Allena.
- 15.05.1958 Sputnik 3, trzeci radziecki statek kosmiczny miał na pokładzie pierwsze automatyczne obserwatorium astrofizyczne, potwierdził odkrycie zewnętrznych pasów radiacyjnych Ziemi.
- 26.07.1958 Explorer 4 prowadził obserwacje magnetosfery

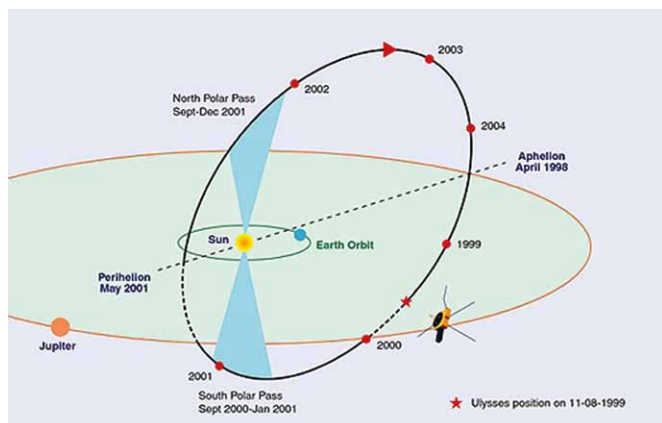
- 7.08.1958 Explorer 6 badał galaktyczne promieniowanie kosmiczne, magnetyzm Ziemi, propagację fal radiowych w górnych warstwach atmosfery i liczbę mikrometeoroidów. Dostarczył również pierwsze fotografie Ziemi zrobione z kosmosu.
- 11.10.1958 Pioneer 1 (niedoszła amerykańska sonda księżycowa), wyposażony w magnetometr, osiągnął odległość około 100 000 km od Ziemi, nie zbliżył się do Księżyca.
- 18.09.1959 Vanguard 3, uzyskane przez satelitę dane pozwoliły na określenie dokładnych lokalnych wartości pola magnetycznego Ziemi i na określenie dolnej granicy pasów radiacyjnych.
- 25.03.1961 Explorer 10, odkrycie magnetopauzy, osiągnął odległość 240 000 km od powierzchni Ziemi, zbierał dane o polu magnetycznym i plazmie również w sąsiedztwie Księżyca.
- 16.08.1961 Explorer 12 badał pasy Van Allena, promieniowanie kosmiczne i magnetosferę.
- 2.10.1962 Explorer 14, odkrycie zewnętrznej magnetosfery, pozostałe zadania jak dla Explorera 12.
- 30.10.1979 Magsat, pomiary bliskiego pola geomagnetycznego, zbieranie danych dotyczących budowy geologicznej Ziemi.

Pomiary pola magnetycznego Księżyca

- 2.01.1959 Łunnik 1, radziecka sonda księżycowa, była pierwszym ziemskim obiektem, któremu nadano drugą prędkość kosmiczną i która wydostała się poza oddziaływanie pola grawitacyjnego. Wyposażona została w magnetometr, dane z niej potwierdziły brak pola magnetycznego satelity Ziemi.
- 14.09.1959 Łunnik 2, zderzenie z Księżycem i pomiar jego magnetyzmu z odległości 55 km.
- 4.10.1959 Łunnik 3, pierwszy lot wokół Księżyca i przesłanie na Ziemię pierwszych zdjęć jego ciemnej strony.
- 1.08.1967 Lunar Orbiter, bezzałogowa amerykańska sonda księżycowa, której zadaniem było uzyskanie szczegółowych zdjęć powierzchni Księżyca i poszukiwanie potencjalnych lądowisk dla statku Apollo. Sonda prowadziła również pomiary pola magnetycznego.
- 20.07.1969 Apollo 11, lądowanie na Księżycu, pomiary magnetyzmu zastygłej lawy.

Pole magnetyczne wybranych jego źródeł w odniesieniu do pola magnetycznego Ziemi

Poniższe zestawienie pozwala na wyrobienie sobie poglądu, jak silne są pola magnetyczne spotykane we Wszechświecie, pola magnetyczne domowych urządzeń elektrycznych oraz pola magnetyczne wybranych narządów (organów) ciała człowieka w odniesieniu do pola magnetycznego Ziemi [4].



Rys. 2. Druga orbita sondy Ulysses, badanie pola magnetycznego Słońca wg [9]

1 000 000 000 000	gwiazdy neutronowe
100 000 000 000	pulsary
10 000 000 000	
1 000 000 000	
100 000 000	badania naukowe ograniczone w czasie
10 000 000	
1 000 000	badania naukowe, magnesy trwałe
100 000	technika, gwiazdy
10 000	plamy słoneczne
1 000	
100	norma dopuszczalnej wartości natężenia pola dla ludzi
10	Jupiter
1	Ziemia
0,1	urządzenia elektryczne
0,01	burze magnetyczne
0,001	Mars, telewizory
0,0001	
0,00001	Księżyc, przestrzenie międzyplanetarne
0,000001	serce
0,0000001	obszary międzygwiazdne
0,00000001	mózg
0,000000001	oko, przestrzenie międzygalaktyczne

Literatura

- [1] BENZEHÖFER U.: *Studien zum Frühwerk des Paracelsus im Bereich Medizin und Naturkunde*. Klemm & Oelschläger, Münster 2005.
- [2] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Paracelsus.jpg> (21.01.2018)
- [3] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b7/Portrait_of_George_Ellery_Hale.jpg/220px-Portrait_of_George_Ellery_Hale.jpg (21.01.2018)
- [4] KLOSS A.: *Geschichte des Magnetismus*. VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach 1994.
- [5] <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4590> (21.01.2018)
- [6] PRZYTUŁSKI A.: *Efekty fizyczne w ciele człowieka wywołane polem magnetycznym Ziemi*. „Wiadomości Elektrotechniczne” 1/2016.

Pomiary pola magnetycznego planet i Słońca

Nazwa planety	Rok	Nazwa sondy kosmicznej i wyniki badań
Merkury	1974	Magnetometr amerykańskiego Mariner 10 wykazał, że planeta ma słabe pole magnetyczne.
Wenus	1961	Radziecka bezzałogowa sonda kosmiczna Wenera (Wenera) 1 badała pole magnetyczne wokół Wenus i w przestrzeni między Ziemią i Wenus.
	1962	Amerykańska bezzałogowa sonda kosmiczna Mariner 2 wykazała brak mierzalnego pola magnetycznego wokół planety.
	1967	Wenus (Wenera) 4 i Mariner 5, potwierdzenie braku pola magnetycznego planety, badanie jej atmosfery.
	1974	Mariner 10, pomiary pola magnetycznego Wenus w drodze do Merkurego.
	1978	Wenus (Wenera) 11, badanie Wenus za pomocą wielu przyrządów naukowych umieszczonych na pokładzie.
	1982	Wenus (Wenera) 13, pierwsze kolorowe zdjęcia planety. Potwierdzenie uzyskanych wcześniej wyników.
Mars	1965	Mariner 4, pomiary pola magnetycznego z odległości 8700 km od planety.
	1989	Radziecka sonda kosmiczna Fobos 2, badanie marsjańskiego księżycy Fobosa i pola magnetycznego samej planety.
Jowisz	1973	Amerykańska sonda Pioneer 10, odkrycie pasów radiacyjnych wokół planety i przekazanie szczegółowych danych na temat pola magnetycznego.
	1974	Pioneer 11, badanie złożoności pierścieni planety.
	1979	Amerykański Voyager 1, badanie Jowisza i Saturna oraz krańcowych obszarów heliosfery. Misja trwa nadal.
	1992	Ulysses, amerykańska sonda kosmiczna badała pole magnetyczne Jowisza oraz północny i południowy biegun Słońca (rys. 2).
Saturn	1979	Pioneer 11, zbliżenie do planety i pomiar pola magnetycznego za pomocą magnetometru i magnetometru transduktorowego.
	1981	Voyager 2, określenie struktury pola magnetycznego planety.
Uran	1986	Voyager 2, pomiar pola magnetycznego magnetometrem.
Neptun	1989	Voyager 2, pomiar pola magnetycznego magnetometrem.
Słońce	1992–1998	Ulysses, badanie pola magnetycznego podczas przelotu na pierwszej orbicie.

- [7] https://images.findagrave.com/photos/2014/33/124575939_1391453999.jpg
- [8] <http://famousirishscientists.weebly.com/uploads/7/5/8/0/758034/9121421.jpg> (21.01.2018)
- [9] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Ulysses_2_orbit.jpg (21.01.2018)

dr inż. Andrzej Przytułski – Adiunkt na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej oraz nauczyciel mianowany w Zespole Szkół Elektrycznych im. T. Kościuszki w Opolu