



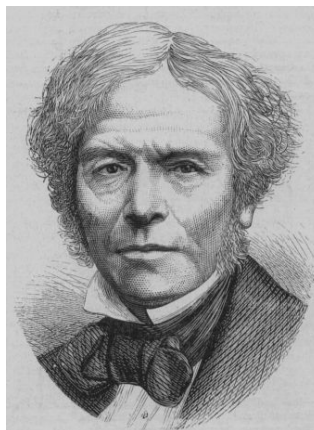
Michael Faraday

Bronisława Średniawa

II LO, Kraków

Rodzina, dzieciństwo i droga do pracy w nauce

Michael Faraday urodził się 22 września 1791 r. W Wielkiej Brytanii był to czas rewolucji przemysłowej, która spowodowała masowy ruch ludności w kierunku dużych miast. Na krótko przed urodzeniem Michaela jego rodzina, pochodząca z Yorkshire, osiadła w Newington Butts, wówczas podlondyńskiej wsi. Dziś jest to okolica dworca kolejowego Waterloo. Faradayowie należeli do presbiteriańskiej sekty zwanej sandemańską, wywodzącej się z XVIII-wiecznej Szkocji, która dążyła do powrotu do prostych, wczesnochrześcijańskich form kultu. James, ojciec Michaela, był kowalem. Status finansowy rodziny był bardzo skromny. Zanim w wieku lat 12 Michael rozpoczął pracę zarobkową jako chłopak na posyłki w księgarni, zakończył pierwszy etap edukacji w szkole, uwieńczony umiejętnością czytania, pisania i znajomością podstaw arytmetyki. Kolejnym etapem jego drogi zawodowej była siedmioletnia praktyka introligatorska, po której został pełnoprawnym rzemieślnikiem. Faraday nie tylko oprawiał książki naukowe, ale również je czytał i studiował. Uczęszczał także na różne wykłady popularnonaukowe, wysłuchał między innymi cyklu prelekcji, które wygłaszał Sir Humphry Davy w *Royal Institution* w Londynie. Davy, pochodzący z Kornwalii, wówczas 32-letni profesor chemii, znany z wynalazku bezpiecznej lampy górniczej i z doświadczeń z łukami elektrycznymi, poza tym odkrywca kilku pierwiastków, był świetnym wykładowcą. Po wysłuchaniu kilku wystąpień Davy'ego Faradayem zawładnęła nieodparta myśl o pracy naukowej, choćby na najniższym stanowisku. Skompletował swoje notatki z czterech wysłuchanych wykładów, opatrzył rysunkami i wysłał najpierw do Przewodniczącego *Royal Society*, na co nie otrzymał żadnej odpowiedzi, a potem do samego Davy'ego, który natychmiast odpowiedział na list w sposób przyjacielski, a po jakimś czasie, gdy zwolniło się miejsce laboranta, zaangażował go do pracy w Laboratorium w *Royal Institution*. Był to marzec 1813 roku, Faraday miał 21 lat.



Wielka podróż

W październiku tego roku Davy, jego żona i Faraday wyruszyli w długą podróż naukową po Europie. Pomimo trwającej wówczas wojny Anglii z Francją nasi angielscy bohaterowie dzięki specjalnemu pozwoleniu władz francuskich podróżowali bezpiecznie po kraju odwiecznego wroga. Trasa całej podróży wiodła poprzez Francję, Włochy, Niemcy i Belgię. W Paryżu spotkali się z Ampèrem, Gay-Lussakiem i Humboldtem. Od Ampère'a Davy dostał preparat, z analizy którego zidentyfikował nowy pierwiastek jod, wykonał tu również doświadczenia elektrochemiczne przy pomocy dużego ogniwa Volty. W Genui badali rybę, która magazynuje całkiem sporo ładunku elektrycznego i wytwarza „wysokie” napięcie. We Florencji przy użyciu wielkich soczewek Księcia Toskańskiego Davy przeprowadził doświadczenie ze spalaniem diamentu udowadniając, że diament zbudowany jest z węgla. W Rzymie brali udział w badaniach magnetyzmu. Najbardziej na południu byli na Wezuwiuszu i w Neapolu. W drodze powrotnej miało miejsce spotkanie Davy'ego i Faradaya z Alessandro Voltą. Odwiedzili jeszcze Genewę i Bawarię. Podczas drugiego pobytu w Rzymie w czasie karnawału Faraday bawił się i cieszył z zabawy, tak różnej od londyńskich zimowych wieczorów i nocy. Po półtorarocznych wjazdach po kontynencie w kwietniu 1815 roku, w pośpiechu, państwo Davy i Faraday powrócili do Anglii. Ten przyspieszony powrót mogła spowodować zarówno skomplikowana sytuacja polityczna (za dwa miesiące miała rozegrać się bitwa pod Waterloo), jak i dysonanse w związku państwa Davy'ch. Mrs. Apreece, młoda, bogata wdowa ze Szkocji poślubiła Sir Davy'ego w 1812 roku, w 3 dni po otrzymaniu przez niego tytułu szlacheckiego. Należała do tego rodzaju ludzi, którym tytuły i dostatek szkodzą, czyniąc ich przykrymi dla otoczenia i coraz trudniejszymi w kontaktach. Faradaya traktowała źle, na co on bynajmniej nie reagował potulnie. Pomimo utarczek z Lady Davy, ta niezwykła podróż naukowa była jego wprowadzeniem w świat wielkiej nauki.

Członkostwo w *Royal Society*

Założone w 1660 roku *Royal Society*, choć początkowo jego członkami bywali również amatorzy, cieszyło się wielkim prestiżem. Członkostwo w *Royal Society* jest wielkim honorem dla każdego brytyjskiego naukowca, stawia go w szeregu z Newtonem, Wrenem, Hookiem czy Dirakiem. Obcokrajowcy mają szansę na status Członka Zagranicznego, a tym samym na towarzystwo Ohma, Bethego, Bohra czy Heisenberga.

Członkostwo w *Royal Society* było dla Faradaya tym zaszczytem, który wiele lat później cenił sobie najbardziej ze wszystkich otrzymanych wyróżnień. W 1820 r. Faraday był już autorem 37 prac i komunikatów naukowych oraz miał za sobą serię wykładów z chemii w *City Philosophical Society*. Jednak na przeszkodzie do wyboru stanęły niesłuszne oskarżenia o plagiat, które szybko zostały wyjaśnione oraz osobisty sprzeciw Davy'ego, aktualnie sprawującego funkcję przewodniczą-

cego tego stowarzyszenia. Sprzeciw Davy'ego można tłumaczyć nie tylko tym, że podupadał on już wówczas na zdrowiu, ale także zazdrością i strachem przed konkurencją ze strony 13 lat młodszego Faradaya. Z upływem czasu sprzeciw Davy'ego osłabł i w styczniu 1824 roku Faraday dostąpił upragnionego wyboru. Mimo tego niefortunnego incydentu w znajomości obu uczonych, Faraday zawsze wyrażał się z najwyższym szacunkiem o Davym. Biograf Davy'ego tak pisze o ich stosunkach naukowych: „Faraday, świadomie lub nieświadomie, zawdzięczał dużo tym błyskom geniuszu Davy'ego. Faraday z jego zdolnością do doświadczeń, z jego cierpliwością i nieomylną intuicją, dodawał precyzję i końcową postać do wstępnej myśli Davy'ego”. Z upływem czasu Faraday coraz więcej zajmował się własną tematyką naukową.

Faraday poślubił 9 lat od niego młodszą Sarah Bernard, siostrę swego przyjaciela. Znała ona przez swego brata dawne zapiski młodego Michaela na temat małżeństwa. Tym bardziej była nieufna, gdy Michael zaczął okazywać jej swoje zainteresowanie. Ojciec panny, złotnik, również sceptycznie odniósł się do założeń młodego uczonego. Panna wyjechała do Ramsgate by spokojnie sprawę przemyśleć. Faraday podążył w ślad za nią. Spędzili razem w tym nadmorskim, portowym mieście tydzień. Ich ślub odbył się w czerwcu 1821 roku. Własnych dzieci nie mieli, ale w roku 1826 wzięli na wychowanie kilkuletnią krewną żony; życie rodzinne układało im się harmonijnie i szczęśliwie. Mieszkali w gmachu *Royal Institution*. W każdy sobotni wieczór składali wizytę u rodziny Sarah.

Należąc już do *Royal Society* Faraday, przy aktywnym poparciu Davy'ego, został Dyrektorem Laboratorium w *Royal Institution* w 1825 roku. Wtedy właśnie rozpoczęto spotkania naukowe w piątki wieczorem. Z siedemnastu seminariów, które odbyły się w pierwszym roku działalności, sześć wygłosił osobiście Faraday. Spotkania te odbywają się do dziś. W rok później zapoczątkowano tam także tradycję bożonarodzeniowych wykładów dla młodych słuchaczy. Faraday, bardzo dobry prelegent, był wytrawnym słuchaczem wykładów i na temat sztuki wykładania miał od wczesnej młodości skrytykowane poglądy. Twierdził on, że wykładowca powinien zachowywać się swobodnie, a równocześnie być skupiony, przekazywać wiedzę w sposób czytelny, ilustrować wykład, nie powinien zapominać o słuchaczach, a wręcz okazywać im szacunek, nie powinien czytać z notatek (poza cytataми), wykłady nie powinny być zbyt długie, by nie męczyć słuchaczy. Wciąż aktualne są jego praktyczne zalecenia, by nie powtarzać tego samego zdania kilka razy, by nie poprawiać samego siebie, lub nie chrząkać i bąkać, w czasie, gdy szuka się w głowie odpowiedniego słowa. Doceniał wagę zarówno treści, jak i formy wykładu; poziom obu składowych świadczył o doskonałości każdego wystąpienia. Sześć popularnonaukowych wykładów Faradaya z roku 1860 ukazało się jako książka pod tytułem *The Chemical History of a Candle*. (Tytuł polskiego przekładu „Dzieje świecy”).

Jeżeli prąd elektryczny wytwarza pole magnetyczne, to czy pole magnetyczne może indukować prąd elektryczny?

Przypomnijmy w telegraficznym skrócie kilka faktów z historii nauki o elektryczności. W 1800 r. Alessandro Volta zbudował pierwsze ogniwo, dzięki czemu można było rozpocząć systematyczne badania prądu elektrycznego. W 1819 r. Christian Oersted stwierdził, że **prąd elektryczny płynący w przewodniku oddycha igłę magnetyczną**, a Ampère dorzucił do tego, że prąd elektryczny w przewodniku wytwarza pole magnetyczne wokół przewodnika, a zatem oddziałuje z dowolnym polem magnetycznym w sąsiedztwie. Odkrył on również, że **dwa przewodniki z prądem oddziałują na siebie**. Biorąc takie fakty pod uwagę nasuło się pytanie: skoro (stały) prąd elektryczny wytwarza (stałe) pole magnetyczne, to czy możliwe jest, aby pole magnetyczne wytwarzało prąd elektryczny. Zauważmy jeszcze, że wtedy nikt nie mógł wiedzieć tego, co jest dla nas oczywiste, że prąd elektryczny w przewodniku to ruch elektronów (elektron odkrył J.J. Thomson w 1897 r.). Jeśli **dwa magnesy leżące koło siebie wywierają na siebie siły**, to może magnes położony koło przewodnika wywoła przepływ prądu? Okazało się, że takie doświadczenie się nie udało, a dziś wiemy, że udać się nie mogło z powodu zasady zachowania energii. Pytanie z podtytułu nie dawało spokoju Faradayowi od 1824 do 1831 roku. Wykonał w tym czasie wiele doświadczeń i „pomniejszych” odkryć, których uwieńczeniem była seria eksperymentów przeprowadzonych w ciągu kilku tygodni późnym latem i jesienią 1831 roku.

Do pierwszego z nich użył żelaznej obręczy grubej na $\frac{7}{8}$ cala, o zewnętrznej średnicy 6 cali. Na tej obręczy nawinięte były dwie cewki, A i B, które były oddzielone od siebie. Cewka A podłączona była do baterii, cewka B w przypadku przepływu w niej prądu miała ładować inną baterię, oddaloną od niej. Igła magnetyczna ustawiona była w odległości 3 stóp od obręczy z cewkami, przy przewodniku łączącym cewkę B z baterią. Gdy Faraday podłączał końce cewki A do baterii, obserwował wyraźne oscylacje igły magnetycznej, która niebawem przestawała drgać. Gdy z kolei rozłączał końce cewki A z baterią, igła magnetyczna również doznawała drgań. Zatem włączając i rozłączając prąd elektryczny w cewce A, Faraday zaobserwował wzbudzenie (indukcję) prądu elektrycznego w cewce B. Oscylacje igły magnetycznej były pierwszym obserwowanym dowodem na istnienie zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Innymi słowy, doświadczenie opisane powyżej było również wynalazkiem i próbą działania pierwszego transformatora. Włączając i wyłączając prąd w cewce A otrzymał prąd zmienny w cewce B. Faraday konsekwentnie kontynuował doświadczenia i w kilka tygodni później udało mu się wytworzyć prąd elektryczny wyłącznie za pomocą magnesu.

Do tego słynnego doświadczenia użył magnesu stałego w kształcie walca o średnicy $\frac{3}{4}$ cala i długości $8\frac{1}{2}$ cala. Wsuwając szybkim ruchem magnes na całą długość do solenoidu, Faraday zaobserwował, że wskazówka podłączonego do

zwojnicy galwanometru poruszyła się. Gdy wyciągał magnes z solenoidu, wskazówka galwanometru drgnęła w kierunku przeciwnym. Powtarzając tę czynność, otrzymał indukowany prąd zmienny.

Trzecie doświadczenie przeprowadził w jedenaście dni po drugim. Okrągłą tarczę z miedzi obracał między biegunami dużego magnesu w kształcie podkowy. Oś i brzeg dysku były podłączone do galwanometru. Gdy tarcza się obracała, wskazówka galwanometru odchyłała się. Był to prototyp generatora prądotwórczego.

Wpływ opisanych powyżej odkryć na rozwój nauki i techniki trudno byłoby przecenić. Po pierwsze, wynaleziony przez Faradaya generator elektryczny do dziś dnia i jeszcze długo będzie sercem każdej elektrowni, a jego transformator działa od tamtego czasu w niezmięnionej postaci. Po drugie, uczony zadał pytanie o odwracalność zjawisk spotykanych w przyrodzie: jeśli elektryczność powoduje powstanie magnetyzmu, to czy magnetyzm może wytworzyć elektryczność, a ogólnie pytał, czy jeżeli A produkuje B, to czy B może wyprodukować A?

Faraday, rozważając np. oddziaływania pomiędzy dwoma magnesami, z niechęcią odnosił się do koncepcji oddziaływań „zjawisk na odległość”. Pojęcia linii magnetycznych, a potem linii elektrycznych były mu bardzo przydatne, aby uniknąć tłumaczenia zjawisk w tym duchu.

Prawa elektrolizy Faradaya

W latach 1833–1834 zajmował się zjawiskami związanymi z przepływem prądu elektrycznego w cieczach. Zauważywszy, że lód nie przewodzi prądu, a woda (musiała nie być chemicznie czysta) przewodzi, badał przewodzenie prądu przez związki chloru w postaci stałej i ich roztwory. Wynikiem tych szczegółowych badań były dogłębne opisy zjawiska, teoria dysocjacji elektrolitycznej, zaproponowanie terminów fizycznych związanych z tym działem fizyko-chemii, a zatem słów: anoda, katoda, anion, kation, elektrolit, elektroliza. W ciągu miesięcy spędzonych w laboratorium nad pomiarami wpływu prądu elektrycznego na zachowanie się wielu elektrolitów, doszedł do wniosków, które dziś nazywamy prawami elektrolizy Faradaya: masa substancji wydzielonych na elektrodach jest wprost proporcjonalna do natężenia i czasu przepływu prądu; ten sam ładunek uwalnia zawsze ilość substancji, która jest proporcjonalna do jej równoważnika chemicznego (96 500 C uwalnia zawsze 1 gramorównoważnik chemiczny substancji). Te pionierskie odkrycia Faradaya dały początek szybko się rozwijającej od tamtego czasu gałęzi nauki zwanej elektrochemią.

Elektryczność jest jedna

W tamtych czasach opisywano kilka rodzajów elektryczności. Elektryczność „zwykłą” otrzymywano przez pocieranie, między innymi w maszynie elektrostatycznej, „voltyczną” wytwarzano na skutek reakcji chemicznych na przykład w bateriach

Volty, „magnetyczną” produkowano w generatorach prądu elektrycznego, „termoelektryczność” obserwowano na spoiniach metali, które były umieszczone w ośrodkach o różnych temperaturach, aż w końcu (choć chronologicznie jako pierwszą) badano elektryczność zwierzęcą, głównie obserwowaną u żab i u ryb, na przykład u węgorzy. Hipoteza Faradaya była następująca: jeżeli obserwowane rezultaty działania tych różnych rodzajów elektryczności są takie same, to istota tych zjawisk, pomimo z pozoru różnych źródeł zjawiska, powinna być również taka sama. Zatem systematycznie i metodycznie sprawdzał doświadczalnie, które z pięciu wyszczególnionych rodzajów elektryczności powodują taki sam skutek, jaki jest obserwowany w przypadku jakiegokolwiek innego rodzaju elektryczności. Sprawdzał krok po kroku czy każde z pięciu źródeł napięcia wywołuje ten sam efekt na ludzkie zmysły, czy przepływ prądu elektrycznego z każdego z tych źródeł odchyła igłę magnetyczną, czy indukuje magnetyzm, czy pomiędzy elektrodami każdego z tych źródeł może przeskoczyć iskra, czy prąd płynący z każdego z tych źródeł wytwarza ciepło itd. Wyniki tych badań zawarł w tabelce. X oznacza, że taki efekt zaobserwował w doświadczeniu, + oznacza, że nie został zaobserwowany, ale wydaje się być bardzo prawdopodobny.

Observed results Rodzaj elektryczności	physiological fizjologiczny	deflection of magnetic needle odchylenie igły magnetycznej	induction of magnetism indukowanie magnetyzmu	spark jumping przeskakwanie iskry	heat production wytwarzanie ciepła	decomposition of chemical substance rozkład substancji chemicznej	attraction and repulsion przyciąganie i odpychanie	heating in air rozładowanie w gorącym powietrzu
VOLTYCZNA	X	X	X	X	X	X	X	X
ZWYKŁA	X	X	X	X	X	X	X	X
MAGNETYCZNA	X	X	X	X	X	X	X	
TERMICZNA	X	X	+	+	+	+	+	
ZWIERZĘCA	X	X	X	+	+	X		

Faraday tłumaczył, że brak doświadczalnego dowodu niektórych zjawisk, spośród wymienionych w tabeli, w przypadku elektryczności termicznej i zwierzęcej jest wynikiem słabej intensywności tych rodzajów elektryczności. Wykonał również wiele doświadczeń ilościowych potwierdzających jego tezę.

Kryzys wieku męskiego, lata podeszłe

Po kilkudziesięcioletnim okresie wyjątkowej pracy Faraday podupadł na zdrowiu. W 1841 roku cierpiał na poważne załamanie psychiczne i już nigdy nie powrócił do pełni sił. Objawy jego choroby sam opisywał jako utratę pamięci, utratę fizycznej wytrzymałości mózgu, niemożność rysowania... Pewien wpływ na stan

jego zdrowia mogło mieć wieloletnie używanie kubeczków z rtęcią jako połączeń drutów. Z pewnością krople rtęci co jakiś czas rozlewały się na podłodze i parowały w laboratorium trując sukcesywnie uczonego przez wiele lat. W 1844 roku Faraday, stosując używane wówczas metody otrzymywania niskich temperatur poprzez mieszaniny oziębiające i szybko parujące ciecze, dokonał skroplenia chloru i kilku innych gazów oraz udowodnił, że powyżej pewnej temperatury nie można gazu już skroplić. Bezskutecznie próbował również skroplić tlen i wodór

Począwszy od 1845 roku podjął prace bardziej teoretyczne, myślał o teorii elektromagnetyzmu i jego związku z grawitacją. W 1858 roku wyprowadził się z mieszkania w *Royal Institution* do domu ofiarowanego mu przez królową Wiktorię w pobliżu *Hampton Court*. Ostatni wykład wygłosił w wieku 70 lat, jednakże przerwał go w połowie i już więcej do niego nie powrócił. Wtedy słuchacze wstali z miejsc i we wzruszającej atmosferze zgotowali mu długą owację. Michael Faraday zmarł w wieku 77 lat.

„Muszę pozostać Michaelem Faradayem do końca”

Faraday od czasów swojej młodszej praktyki czeladniczej nie lubił merkantylnej postawy życiowej. Pomimo wielu pokus zawsze wyżej stawiał wolność naukowca i filozofa od osobistego dobrobytu. Pozostał do końca uczonym niezależnym od przemysłu, fabrykantów czy polityków. Został również kaznodzieją w swoim Kościele. Jego kazania były starannie przygotowywane, niezwykle taktowne, nakierowane na zainteresowanie słuchacza i przekazanie mu własnej radości wypływającej z doznawania wzruszeń religijnych. Ofiarowano mu tytuł szlachecki, ale wrodzona skromność nie pozwoliła mu go przyjąć, dwukrotnie też proponowano najwyższy honor w świecie brytyjskiej nauki, objęcie funkcji przewodniczącego *Royal Society*; także i ten zaszczyt odrzucił, gdyż obawiał się, że ze względu na stan zdrowia nie podoła funkcji.

Podsumowanie

Faraday był nie tylko wybitnym eksperymentatorem. Na podstawie swoich doświadczeń sformułował wiele koncepcji oraz praw fizyki. Myślał dogłębnie, metodycznie i systematycznie rozwijał logicznie swój tok rozumowania, którego poprawność sprawdzał i korygował za pomocą wyników i wniosków z kolejnych doświadczeń. Jego następcą w *Royal Institution*, John Tyndall pisał wręcz górnolotnie, że Faraday był więcej niż filozofem, że był prorokiem. Maxwell, znający Faradaya osobiście, tak pisał: „Proste, szlachetne życie Faradaya pozostanie równie długo we wspomnieniach potomnych, jak odkrycia, które jego imię uczyniły nieśmiertelnym”.

Faraday znalazł się w gronie uczonych i odkrywców, których nazwiska wymienia się nie tylko w kontekście odkryć oraz praw fizyki – dwie jednostki fizyczne wzięły nazwę od jego nazwiska: stała Faradaya – ilość ładunku potrzebna

do wytrącenia na elektrodzie jednego gramorównoważnika substancji oraz farad – jednostka pojemności elektrycznej.

Referencje

[1] D.C.K. MacDonald, *Faraday, Maxwell and Kelvin*, wyd. Heinemann, London 1964.

[2] Rom Harré, *Great Scientific Experiments*, wyd. Phaidon, Oxford 1981.

[3] J. Gordon Cook, *Michael Faraday*, wyd. Adam&Charles Black, London 1963.

Od Redakcji:

Władysław Natanson w eseju *Michał Faraday*, będącym wstępem do książeczki *Dzieje świecy* (Prószyński i S-ka, Warszawa 1997) przytacza słowa Faradaya:

„Mam o wiele więcej zaufania do jednego człowieka, który ciałem i duszą usiłuje rozwiązać pewne zadanie, aniżeli do sześciu ludzi, jeśli o nim tylko wciąż rozprawiają. Nic nie dorówna doświadczeniu, ono prostuje sądy mylne i dla wiedzy jest prawdziwym postępowaniem. [Podręczna notatka.]”

„Elektryczność nazywają siłą piękną, cudowną... Ale urok elektryczności nie na tym polega, że jej działanie jest nieoczekiwane i tajemnicze, że każdy zmysł ludzki może podrażnić zniechęca; nie, raczej na tym, że poddana jest pewnym prawom, że wiedza i rozum człowieka potrafi ją rządzić. [Ustęp z publicznego wykładu w 1858 r.]”