

Robert Janusz
WSF–P „Ignatianum”
Kraków

***ROLA MATEMATYKI
W POWSTAWANIU TEORII POLA
J.C. MAXWELLA***

James Clerk Maxwell (1831–1879) był twórcą jednej z podstawowych teorii fizycznych, jaką jest klasyczny elektromagnetyzm. Pracując nad tą teorią, wielki fizyk opierał się początkowo na mechanicznych wzorcach. Co prawda, zdawał sobie później sprawę z nowości zawartej w swojej teorii pola, ale czy do końca pozbył się wszystkich mechanicznych poglądów, trudno jest osądzić, zwłaszcza jeśli chodzi o jego koncepcję eteru. Mimo tego, udało mu się stworzyć spójną teorię, której status epistemologiczny został ustalony już wtedy, gdy przybrała ona matematyczną postać. Zmieniło się przy tym znaczenie fenomenologicznych pojęć, które Maxwell przejął od swoich poprzedników. Na początku naszego artykułu opiszemy pokrótce stylizowaną nieco ewolucję pojęć, które weszły do teorii pola elektromagnetycznego, podkreślając niektóre ważne wątki, które wpływały na tworzący się nowy, polowy paradygmat fizyki. Odniesiemy się także do indukcjonizmu w filozofii, panującej za czasów Maxwella. W końcu, zastanawiając się nad tym, co znaczy rozumieć w fizyce, skupimy się zarówno na roli matematyki w procesie powstawania teorii fizycznej, jak i jej późniejszym rozwoju.

1. EWOLUCJA POJĘĆ PROWADZĄCA DO TEORII POLA

W fizyce ważne pojęcia często związane są z odkrywczymi doświadczeniami, ale także z dominującą tradycją. Mechanika klasyczna wprowadziła paradygmat mechanicystyczny, w którym punkty materialne poruszały się pod wpływem działających na nie sił. Podobnie próbowano podchodzić do zjawisk elektrycznych i magnetycznych, znanych już od starożytności. Już wtedy zaciekawienie Talesa z Miletu (VI r. przed Chr.) wzbudzał potarty tkaniną bursztyn (gr. elektron), gdyż przyciągał kawałki trawy czy pergaminu, ale dopiero systematyczne badania W. Gilberta, zwieńczone w 1600 r., i późniejsze eksperymenty z 1752 r. B. Franklina (1706–1790) pokazały, że różne ciała wykazują podobne do bursztynu zachowanie. Gilbert nazwał opisywane przez siebie oddziaływanie siłami elektrycznymi. W roku 1734 Ch.F. du Fay wykazał istnienie dwóch typów ładunków elektrycznych, a Franklin je sklasyfikował na dodatnie (gromadzące się na szkle) i ujemne (na ebonicie). Ładunki różnoimienne się przyciągają, a równoimienne odpychają. W r. 1729 S. Gray wprowadził podział substancji na izolatory i przewodniki, po których mogą przemieszczać się ładunki elektryczne¹. Siły magnetyczne także znano już w starożytności. Pochodzące z Magnezji w Azji Mniejszej rudy (magnetyt, piryt magnetyczny) mają tę właściwość, że przyciągają żelazo i siebie nawzajem. W średniowieczu znano już zjawisko magnesowania stali, która stawała się, w wyniku tego procesu, magnezem stałym. Od III r. w Chinach i od ok. XIII r. w Europie używano igły magnetycznej do wyznaczania kierunków geograficznych na morzu. Wiedzano także, że pod wieloma względami (dwutypowość ładunków i biegunów, przyciąganie i odpychanie)

¹Oznaczenie ładunków było czystą konwencją, bez jakiegokolwiek fizycznej treści, gdyż ładunek dodatni uważać by trzeba za niedomiar ładunków ujemnych. Por.: Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, cz. III: *Elektryczność i magnetyzm*, s. 11n.; R. Penrose, *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, PWN, Warszawa 1996, s. 211; D. Halliday, R. Resnick, *Fizyka*, PWN, Warszawa 1974, t. 2, s. 13n.

siły magnetyczne i elektryczne są do siebie podobne². Najprawdopodobniej Franklin był pierwszym, który zauważył (1755), że wewnątrz metalowego, izolowanego naczynia nie ma ładunków elektrycznych. W r. 1767 J. Priestley (1733–1804) potwierdził obserwacje swego przyjaciela, Franklina, i przewidział, że siła elektrostatyczna jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości — podobnie jak to ma miejsce dla sił grawitacyjnych. Właściwe prawo, opisujące siłę przyciągania elektrostatycznego, zostało odkryte w 1785 r. przez Ch.A. de Coulomba (1736–1806) i miało ono rzeczywiście postać analogiczną do centralnej siły grawitacji (z wyjątkiem co do znaku, ładunków — w miejscu grawitacyjnych mas i stałej proporcjonalności). Jeśli zaś idzie o wykładnik przy odległości między oddziałującymi ładunkami, to H. Cavendish (1731–1810) wyznaczył go empirycznie na 2 ± 0.02 , jednak nie opublikował swych badań. Podobnie do elektrostatycznej zachowuje się statyczna siła magnetyczna, znana także już Coulombowi, z tym, że w miejsce ładunków wchodzi do wzoru tzw. „masy magnetyczne”³. W ten sposób sklasyfikowane i przebadane doświadczalnie statyczne oddziaływania elektryczne i magnetyczne bardzo dobrze pasowały do paradygmatu mechanicznego: punktowe obiekty (masy, ładunki, masy magnetyczne) oddziałują z siłą zależną tylko od odległości (tzw. siła centralna), a mianowicie odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości.

Jednakże pojawiły się nowe typy doświadczeń, które zaczęły mącić mechaniczny obraz. H.Ch. Oersted (1777–1851) zauważył, że płynący prąd elektryczny odchyła igłę busoli (1820), a A.M. Ampère (1775–1836) odkrył zjawisko magnetycznego przyciągania się płynących prądów. Przed Maxwellem największy wkład w badania odrębnych — jak się dotąd uważało — zjawisk elektrycznych i magnetycznych pochodził od Michaela Faradaya (1791–1867). To jego zasługą było wprowadzenie koncepcji pola

²Por.: Sz. Szцениowski, dz. cyt., s. 101n.

³Por.: D. Halliday, R. Resnick, dz. cyt., s. 16, 66; Sz. Szцениowski, dz. cyt., s. 133n.

po to, by wyrazić przy jego pomocy odkryte w 1831 r. prawo indukcji polegające na tym, że zmienne w czasie pole magnetyczne wzbudza zamknięte linie sił pola elektrycznego. Otwierała się w ten sposób możliwość unifikacji obu oddziaływań. Geniusz Faradaya w odniesieniu do intuicyjnych koncepcji pól sprawił, że w opisie zjawisk elektrycznych i magnetycznych zaczęto później odchodzić od mechanicznego podejścia. Dotychczasowy obraz oddziaływań punktowych mas i ładunków, przyciągających się lub odpychających „na odległość”, został przez Faradaya całkowicie zastąpiony przez inny, fenomenologiczny obraz: oddziaływanie jest lokalne, oparte na działaniu pól elektrycznego i magnetycznego na ładunek i prąd elektryczny. Mimo tego, że Faradayowi nie udało się sformułować teorii w języku matematycznym, jego koncepcja fizycznych pól i oddziaływań lokalnych stanowiła przełom w dziewiętnastowiecznym, mechanicznym podejściu do zjawisk fizycznych. Model Faradaya okazał się bardzo plastyczny, zwłaszcza w późniejszym opisie swobodnych, zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych⁴. Przed Faradayem uważano, że istotne znaczenie dla zjawisk elektrycznych mają jedynie ładunki elektryczne. Jednak Faraday wykazał, że ważne jest także to, co dzieje się „wewnątrz” substancji, że także izolator — dielektryk — „decyduje” o tym, że w jego wnętrzu może istnieć pole elektryczne. Co do przewodników, to Faraday przeprowadził interesujące doświadczenie, wchodząc do skrzyni, która była pokryta metalem, stała na izolatorach i była naładowana za pomocą generatora elektrostatycznego; wielki eksperymentator siedzący wewnątrz nie odczuwał żadnego naładowania, które wyraźnie dawało o sobie znać na zewnątrz skrzyni⁵. Dielektryki i przewodniki domagały się nowych uzasadnień. Koncepcja punktowych ładunków

⁴Por.: J. Werle, *Czym jest fizyka?*, [w:] *Encyklopedia fizyki współczesnej*, [red.] A.K. Wróblewski i inni, PWN, Warszawa 1983, s. 28n.

⁵Por.: Sz. Szczeniowski, dz. cyt., s. 13; D. Halliday, R. Resnick, dz. cyt., s. 66.

działających na siebie na odległość musiała ustąpić fenomenologicznemu opisowi polowemu.

2. MAXWELLA TEORIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Zasługą Maxwella było m.in. stworzenie matematycznej teorii zjawisk elektromagnetycznych. Warto wspomnieć w tym miejscu, że Maxwell miał także inne, ważne osiągnięcia dotyczące np. kinetycznej teorii gazów. To właśnie on jako pierwszy podał prawo rozkładu prędkości molekuł w jednorodnym gazie o stałej temperaturze, co pozwoliło uściślić rodzącą się teorię kinetyczną, która oparta została na zjawiskach mikroskopowych i matematycznych teoriach dotyczących zachowania się układów o wielkiej liczbie cząstek. Także Maxwell opisał teoretycznie takie fenomenologiczne zjawiska jak: przewodnictwo cieplne, lepkość i dyfuzja gazów⁶. Maxwell był człowiekiem swej epoki, w której paradygmatem był mechanycyzm, do którego pasowało odkryte przez Coulomba prawo. W tym duchu Maxwell przeprowadził dokładne eksperymenty w badaniu prawa Coulomba: wyznaczył empirycznie wykładnik potęgowy z doświadczenia Cavendisha, otrzymując 2 ± 0.00005 ⁷. Doświadczalne potwierdzenie wszystkich matematycznych przewidywań było uspokajające, ale tak naprawdę nie tłumaczyło nowych, empirycznych problemów związanych z elektrycznością i magnetyzmem. Maxwell zdawał sobie z tego sprawę. Okazało się, że to właśnie fenomenologiczna koncepcja Faradaya, dotycząca linii pola w opisie zjawiska indukcji, stała się dla twórcy elektrodynamiki bardzo istotna, choć obalała paradygmatyczne, mechanicystyczne oddziaływania na odległość.

⁶Por.: J. Werle, *Czym jest fizyka?*, dz. cyt., s. 28.

⁷Por.: D. Halliday, R. Resnick, dz. cyt., s. 66n. Z równań Maxwella wynika, że wykładnik ten jest dokładnie równy 2, a więc jest tak, jak w odniesieniu do sił grawitacyjnych działających na odległość.

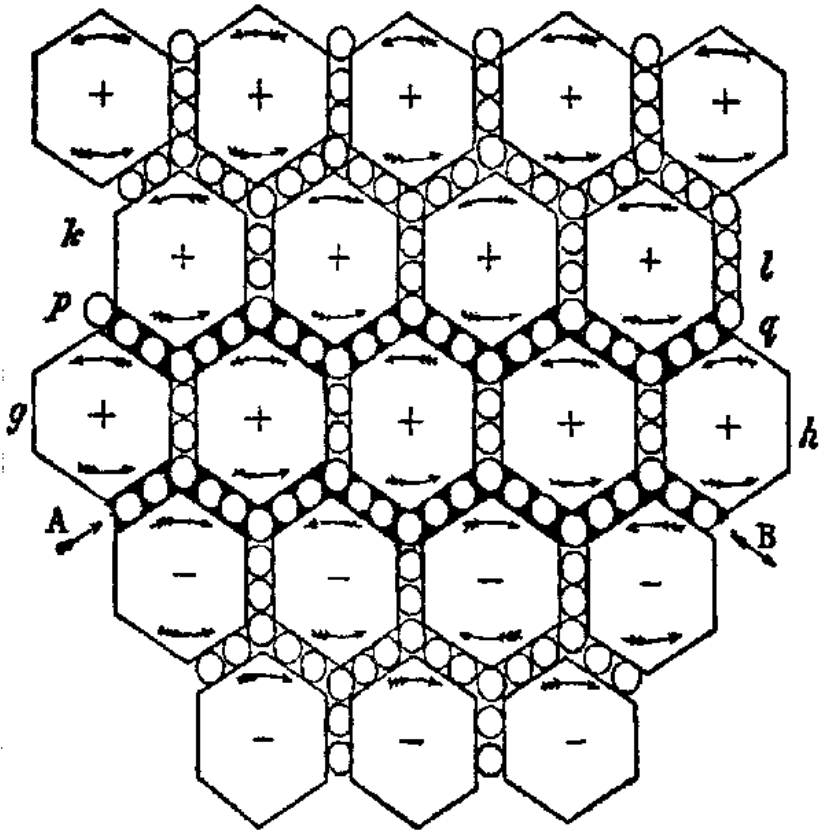
Faraday był do przekonany (1851) o prawdziwości swego polowego ujęcia. Pisał: „Nie mogę się powstrzymać od ponownego wyrażenia przekonania o prawdziwości obrazu, jaki dają nam linie oddziaływania magnetycznego. Obraz ten jest zgodny ze wszystkimi faktami, jaki można eksperymentalnie ustalić dla tego oddziaływania, tzn. ze wszystkim, co nie jest hipotezą”. Jednakże w społeczności uczonych poglądy Faradaya nie były łatwo akceptowane. G. Airy, znany uczyony brytyjski, broniąc teorii oddziaływania na odległość, ripostował w 1855 r.: „Stwierdzam, że nie mogę wyobrazić sobie, aby ktokolwiek, kto praktycznie i liczbowo stwierdził [...zgodność z siłą działającą na odległość...] mógł wahać się choć chwilę w wyborze między prostym i ścisłym oddziaływaniem z jednej strony, a czymś tak niejasnym, jak linie sił z drugiej strony”⁸. Maxwell stanął wobec opracowania nowej koncepcji, ale także wymagań starego paradygmatu. Nie od razu stało było jasne, że obie te rzeczy są od siebie niezależne. J. Życiński zauważył, że „koncepcja pola miała w intencjach Maxwella służyć ratowaniu mechanicyzmu. Ostatecznie okazało się jednak, że to właśnie ona przyczyniła się w sposób decydujący do upadku tego kierunku”⁹. Prace Maxwella, dotyczące zjawisk elektrycznych i magnetycznych, pojawiły się ok. 1861 r. i zostały zwieńczone dziełem *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873). Maxwell wykorzystał w nich fenomenologiczny opis polowy, opracowany właśnie przez Faradaya. Początkowo wyobrażał sobie pole jako ciecz złożoną z różnych molekuł, albo jako maszyny, których części obrazowałyby nową teorię [zob. rysunek]. Niemniej, dla nauki ważne okazały się nie fenomenologiczne wyobrażenia Maxwella, ale jego ujęcia praw fizyki w ścisłym języku matematycznych równań różniczkowych. Maxwellowi udało się opisać w ten sposób prawa Gaussa, Oersteda, Ampère’a (który przypuszczał, że oddziaływania elektryczne są przyczyną wszystkich zjawisk

⁸Cyt. za: D. Halliday, R. Resnick, dz. cyt., s. 249.

⁹J. Życiński, *Przed upadkiem monarchii w nauce*, [w:] *Wszechświat — maszyna czy myśl*, dz. cyt., s. 208.

magnetycznych), i — oczywiście — Faradaya. Co prawda, matematyczne opracowanie odkrytej przez Faradaya indukcji elektromagnetycznej było dziełem Thomsona, to jednak przełomowe okazały się dokonania Maxwella. W pracach tych doszło do ważnego metodologicznie odkrycia — matematyczne równanie, które miałyby odpowiadać pierwotnemu prawu Oersteda, dla gęstości ładunku zależnej od czasu, okazało się sprzeczne z prawem zachowania ładunku. Dla Maxwella było to nie do przyjęcia, dlatego zmienił to równanie, otrzymując niesprzeczny układ zwany dziś „równaniami Maxwella” (elektrodynamiki klasycznej). Równania te, w jednolitej matematycznie formie, zunifikowały ze sobą zjawiska magnetyczne i elektryczne. Co więcej, ich formalna postać sugerowała istnienie nowego zjawiska, nieznanego dotąd, jakim są fale elektromagnetyczne. Maxwell teoretycznie przewidział, że powinny być to fale poprzeczne. Ponadto zauważył, że znane wówczas zachowanie się światła może być zrozumiane dzięki opisowi przy użyciu fal elektromagnetycznych, mających ściśle określone własności. Opierając się na doświadczeniach Faradaya i swoich teoretycznych dociekaniach Maxwell założył, że światło jest falą elektromagnetyczną o małej długości. Fale elektromagnetyczne o dużych długościach wytworzył eksperymentalnie H.R. Hertz dopiero w 1888 r. Chociaż Maxwell w *Traktacie* postulował istnienie eteru — substancji, w której rozchodziłoby się oddziaływanie elektromagnetyczne, a nawet wcześniej konstruował mechaniczne modele falującego ośrodka, to w innych pracach uważał eter jedynie za hipotezę. Ten pogląd był powszechny w XIX r. i dopiero Michelson w 1881 r., a następnie Michelson i Morley w r. 1887., badając ruch światła, doświadczalnie wykluczyli wpływ eteru na jego ruch. Eter był hipotetyczną, materialną substancją, której teoria Maxwella w ogóle nie postulowała ani fizycznie, ani matematycznie¹⁰.

¹⁰Por.: tamże; M. Heller, *Światło i eter*, [w:] *Wszechświat — maszyna czy myśl*, [red.:] M. Heller, J. Życiński, PTT, Kraków 1988, s. 212n.



„Pole” mechaniczne

3. TEORIA POLA A POZYTYWIZM

Zauważmy, że program badań przyjęty przez Maxwella jest także dziś typowy dla fizyki teoretycznej i już wtedy ukazał swoją metodologiczną płodność. Bez wątpienia, dla wielkiego fizyka ważna była fenomenologiczna baza ujmująca wyniki badań w nowej koncepcji pola (nie wolnej od tajemniczego eteru), wy-

pracowanej przez poprzedników. Niemniej jednak, matematyczne równania, uogólnione do zmiennych prądów, wykazały sprzeczność z zasadami zachowania. Ten stan rzeczy nie spowodował jednak „powrotu do empirii”, ale „sięgnięcie do teorii” — Maxwell wybrał nową postać równań kierując się zasadami niesprzeczności. W ten sposób zaufał równaniom, tworząc z nich matematyczną hipotezę uogólniającą dostępne fenomenologicznie zjawiska. Uogólnienie pochodziło więc od wymagań, jakie teoretyk stawia swoim teoriom a nie eksperymentator swoim doświadczeniom. Powstała zatem spójna teoria, która przy pomocy równań różniczkowych cząstkowych opisywała zachowanie się pól: elektrycznego i magnetycznego, unifikując je w oddziaływania elektromagnetyczne. Mając do dyspozycji nowe, matematyczne narzędzie Maxwell rozpoczął opis obiektów fizycznych, które dotąd nie zostały w ogóle zbadane. To z równań wynika, że pola mają własności falowe, i że fale elektromagnetyczne są falami poprzecznymi. O ile znane własności światła podpadały pod opis elektrodynamiczny, o tyle odkrycie fal o dużej długości (małej częstości zmian) — fal radiowych — nastąpiło dopiero 9 lat po śmierci Maxwella. Teoria podpowiadała eksperymentatorom, czego należy w przyrodzie szukać i jak to „coś” się zachowuje. Natomiast ważne w kontekście odkrycia cechy fenomenologiczne zostały przez Maxwella poprawione, gdyż tego domagała się matematyka rodzącej się teorii. Pole fizyczne stało się jasnym pojęciem naukowym dzięki matematyce, bez względu na to, „co” miałyby falować. Późniejszy rozwój elektrodynamiki nie potrzebował hipotetycznego eteru — wystarczyło, aby sama teoria była poprawna.

Elektromagnetyzm musiał się bronić nie tylko przed paradygmatem mechanicznym. W drugiej połowie wieku, który miał rozpocząć pozytywny rozwój wiedzy według kanonów nakreślonych przez filozofów, właśnie fizyka zaczęła przepowiadać upadek deklaratywnej metodologii. Indukcyjna wizja wszystkich nauk J.S. Milla (1806–1873) kompletnie zawodzi przy próbie zastosowania jej do teorii Maxwella. Kanony: jedynej zgodności, jedy-

nej różnicy, zmian towarzyszących, zgodności i różnicy, reszt¹¹ — zastosowane do odrębnych zjawisk elektrycznych lub magnetycznych — nie są w stanie wskazać poprawnej teoretycznie postaci równań opisujących zuniifikowane oddziaływanie elektromagnetyczne. Maxwell postawił matematyczną hipotezę, której wewnętrzna spójność była podyktowana względami teoretycznymi, bo to właśnie one ujawniły kłopoty z fenomenologią empirycznych ujęć Oersteda. Nieprzydatność kanonów Milla w zastosowaniu do przewidywań teorii Maxwella, potwierdzonych przez Hertza, jest więc oczywista.

Teoria oddziaływań elektromagnetycznych Maxwella była bez zastrzeżeń przyjmowana już w końcu XIX r. Wprowadziła ona istotny przewrót w strukturze całej fizyki. Zuniifikowane zostały zjawiska uważane dotąd za niezależne: elektryczne, magnetyczne, oraz cała optyka stała się działem elektrodynamiki. H.A. Lorenz (1853–1928), jeszcze przed odkryciem elektronu, zastosował prawa Maxwella do opisu mikroświata i jako wynik statystycznych uśrednień potrafił wywnioskować wiele właściwości elektromagnetycznych ciał¹². Również ten sposób rozwijania się fizyki przeczył pozytywistycznemu programowi Milla. Teoria Maxwella zapoczątkowała nowy typ badań, który bogato rozwinęto w XX w. Podkreślamy tutaj jeszcze pewien ważny metodologiczny fakt. Elektrodynamika klasyczna odniosła sukces zmieniając fizyczną ontologię. Teoria ta opisuje bowiem lokalne oddziaływanie pól, a nie oddziaływanie cząstek na odległość, jak to było w mechanice I. Newtona (1642–1727). Również postulat sprężystego eteru okazał się chybiony, mimo że rozważali go fizycy przyzwyczajeni do mechanicyzmu, z Maxwellem włącznie.

¹¹Na temat kanonów Milla zob.: J.W. Bremer, *Wprowadzenie do logiki*, (Myśl filozoficzna), WAM, Kraków 2004, s. 198n.

¹²Por.: J. Werle, dz. cyt. s. 29n.

4. ROZUMIENIE W FIZYCE

Richard P. Feynman (1918–1988) świetnie scharakteryzował problem rozumienia w fizyce — na problemy trzeba patrzeć z różnych perspektyw, gdyż fizyczna rzeczywistość jest nazbyt powikłana, „aby móc ją bezpośrednio zanalizować przez rozwiązanie równania różniczkowego”. Jednakże żaden z „heurystycznych modeli, jak na przykład linie sił pola, nie jest dla wszystkich sytuacji ani dostatecznie ścisły, ani dostatecznie wyczerpujący. Istnieje tylko jedna droga ścisłego przedstawienia tych praw, a są nią równania różniczkowe. Mają one tę zaletę, że są to równania podstawowe i, o ile wiemy, ścisłe”. Feynman dostrzega jednak różnicę między fizykami a matematykami; ci drudzy nierzadko gubią fizyczny sens zagadnień i twierdzą, że równanie zawiera wszystko, że wystarczy je zrozumieć, aby rozumieć fizykę. Fizyk, zdaniem Feynmana, musi mieć „o wiele głębsze zrozumienie równań”. Noblista powołuje się przy tym na Diraca, który powiedział, że „rozumiem, co jakieś równanie oznacza, gdy mogę, nie rozwiązując go, wyobrazić sobie cechy charakterystyczne jego rozwiązania”. Umiejętność przewidywania tego, o czym mówi równanie w określonych warunkach — bez rozwiązywania go — oznacza, według Feynmana, rozumienie tego równania zastosowanego do tychże warunków. Takie „rozumienie fizyczne jest całkowicie niematematyczne, nieścisłe i niedokładne, ale dla fizyka bezwzględnie konieczne”. Poza tym, poznanie tego, co prawdziwe w szczególnych sytuacjach, nie konieczne jest prawdziwe ogólnie. Dlatego Feynman woli rozpoczynać od ogólnych praw i stosować je do konkretnych sytuacji, co jest zupełnie różne od, pożytecznego skądinąd, ujęcia historycznego¹³. W powyższych rozważaniach zawarta jest *implicite* ważna metodologia, odnosząca się także do elektrodynamiki. Matematyka, rozumiana jako sposób rachowania lub dowodzenia twierdzeń w technicznym rachunku logicznym, rzeczy-

¹³Zob.: R.P. Feynman i inni, *Feynmana wykłady z fizyki*, PWN, Warszawa 1974, t. II, cz. 1, s. 29n.

wiecie nie przydaje się fizyce, bo fizyka nie polega na dowodach i sprowadzaniu jakiejś równości do prostszej postaci. Fizyka jest nauką empiryczną, ale równocześnie — matematyczną w „głębszym” sensie. Nie chodzi w niej także o zmatematyzowanie fenomenologicznych treści, jak to czyniło wielu badaczy zjawisk elektrycznych i magnetycznych. Co więcej, nawet zbyteczne rusztowanie skonstruowane z pojęcia eteru, mogło odgrywać pomocną rolę prowadzącą do odkrycia „tych” równań, które stały się podstawą teorii, dzięki którym można zrozumieć istotne szczegóły i metodologicznie odseparować to, o czym teoria w ogóle nie mówi, z racji zakresu dostępnej jej abstrakcji. Takie równania wielkich teorii, zweryfikowane przez tysiące doświadczeń, nierzadko skrywają jednak pierwotnie nieoczekiwaną od nich głębię treści. Podobnie było z równaniami klasycznej elektrodynamiki.

Okazało się wkrótce, że pola elektryczne i magnetyczne nie mają charakteru bezwzględnego (jak np. — klasycznie — masa lub ładunek są niezależne od położenia i układu odniesienia). Z równań Maxwella wynika, że spoczywający ładunek wytwarza pole elektryczne a pole magnetyczne zeruje się, natomiast ładunek w ruchu (prąd) wytwarza dodatkowo pole magnetyczne. Zatem w układzie własnym ładunku (tym, w którym on spoczywa) brak jest pola magnetycznego, a w każdym innym, który porusza się względem układu własnego, pole magnetyczne wystąpi. Stwierdzono, że bezwzględny charakter ma jedynie nowa wielkość fizyczna — pole elektromagnetyczne, którego składowe — pola elektryczne i magnetyczne — zależą od wyboru układu odniesienia. Jak zauważył Misner, dla A. Einsteina (1879–1955) siły elektryczne i magnetyczne były początkowo „obrazami na siatkówce. Wkrótce zobaczył on jednak [...] rzecz realnie istniejącą, przedmiot [...] pierwotny względem tych sił, mianowicie pole elektromagnetyczne $F_{\alpha\beta}$ ”. Misner podkreśla, że nie tyle unifikacja oddziaływań odgrywa tutaj pierwszorzędą rolę, ile raczej „przekonanie o istnieniu pewnej zewnętrznej rzeczywistości” obiektu F . „Einstein pokazał, że niematerialne byty są fundamentalnym tworzy-

wem Wszechświata”. Genialny następca Maxwella odkrył (w powyższym sensie) pole elektromagnetyczne, ale także — nieoczekiwane przez nikogo — metryczne pole grawitacyjne. „Wyższe symetrie” Einsteina, to „użycie matematycznych struktur w charakterze współautorów przy zapisie praw fizyki, a nie tylko posługiwanie się nimi w taki sposób, w jaki korzystamy z pióra i papieru”¹⁴. Fenomenologiczny opis Faradayowskiego pola osiągnął pełnię i stał się zrozumiały w matematycznym wydaniu równań Maxwella, który wyraził opisaną tu prawidłowość mówiącą o tym, że „równania matematyczne są mądrzejsze od tych, którzy je po raz pierwszy napisali”¹⁵. Nie oznacza to jednak — jak chce Feynman — ekspansji teorii tam, gdzie nie jest to uprawnione. Odnosi się to także do filozofii Maxwella, który „przyjmując mechanycyzm metodologiczny w dziedzinie badań przyrodniczych [...] odrzucał mechanycyzm ontologiczny, jako teorię sprowadzającą całą rzeczywistość do wszechwładnej mechaniki”¹⁶.

W naszych rozważaniach widać, jak powstająca wielka teoria wspiera się nierzadko na założeniach, które „nie powinny” być brane pod uwagę przy jej powstawaniu, ale widzimy też nowości, których nikt by się „nie spodziewał” po dojrzałej teorii. W nauce tkwi filozoficzne piękno zadziwienia i głębia ukrytej prawdy. Nasze ludzkie środki dowodzenia, liczenia i eksperymentowania zaledwie wyczuwają ogromne bogactwo racjonalności dostępne nam poznawczo w odkrywaniu świata.

¹⁴A. Einstein doszedł, na badanie podobnych rozważań, do swojej szczególnej teorii względności. Por.: J. Mostowski, dz. cyt., s. 67; Ch.W. Misner, *Niematerialne składowe obiektów fizycznych*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce”, 1983: V, s. 8n.

¹⁵Cyt. za: M. Heller, *Matematyczne zasady Izaaka Newtona*, [w:] *Wszechświat — maszyna czy myśl*, dz. cyt., s. 82.

¹⁶J. Życiński, dz. cyt., s. 209.

*SUMMARY**THE ROLE OF MATHEMATICS IN J.C. MAXWELL'S
FIELD THEORY*

Phenomenological concepts describing electromagnetic interactions were expressed mathematically by Maxwell in his theory of electromagnetic field. His work was not free of mechanistic influences. It also broke down some elements of inductionistic paradigm. Maxwell's theory cannot be reduced to a simple methodology of solving equations. Physical theories imply a deeper understanding of equations which carry an 'immaterial content'. The 'higher symmetries' hidden in the equations should to use Einstein's expressions be viewed as a 'stuff of the Universe'.