

Wojciech Sady

Kuhn kontra Fleck a Maxwellowska rewolucja w elektrodynamice

Słowa kluczowe: *Fleck, Kuhn, J.C. Maxwell, rewolucje naukowe, kolektyw myślowy, styl myślowy, wspólnota naukowa, paradygmat, mechanika klasyczna, elektrodynamika, eter*

I. Czy i co Kuhn przejął od Flecka?

Ktoś może zapytać: dlaczego w tytule artykułu odwracasz kolejność wydarzeń? Najważniejsze prace Flecka z filozofii i socjologii nauki ukazały się w latach 30. XX w.¹, podczas gdy Kuhn swą wizję mechanizmu i natury rewolucji naukowych przedstawił w latach 60.² To odwrócenie nie jest przypadkowe. Będę się

¹ Najważniejsze w tym zakresie prace Ludwika Flecka to *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*, Basel 1935 (wyd. pol. *Powstanie i rozwój faktu naukowego. Wprowadzenie do nauki o stylu myślowym i kolektywie myślowym*, tłum. M. Tuskiewicz, Lublin, Wydawnictwo Lubelskie 1986; „O obserwacji naukowej i postrzeganiu w ogóle”, „Przegląd Filozoficzny” 1935: 57–76; „Zagadnienie teorii poznawania”, „Przegląd Filozoficzny” 1936: 3–37; „Nauka a środowisko” i „Odpowiedź na uwagi Tadeusza Biliakiewicza”, „Przegląd Współczesny” 1939, 8–9: 149–156 i 157–176. Te i inne prace zostały zebrane w: Ludwik Fleck, *Psychosocjologia poznania naukowego*, red. Z. Cackowski, S. Symotiuk, tłum. W. Niemirowski, W. Sady, M. Tuskiewicz, Lublin, Wydawnictwo UMCS 2007.

² Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago UP 1962 (wyd. pol. *Struktura rewolucji naukowych*, tłum. H. Ostromęcka, PWN 1962). Wady tej książki Kuhn próbował naprawić w serii artykułów, z których najważniejsze to „Postscript-1969”, w: *The Structure of Scientific Revolutions*, wyd. 2, Chicago 1970, 174–210; „Logic of Discovery or Psychology of Research”, w: *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos i A. Musgrave (red.), Cambridge UP 1970, 1–22; „Second Thoughts on Paradigms”, w: *The Structure of Scientific Theories*, F. Suppe (red.), Illinois UP 1974, 459–482; „Objectivity, Value Judgments and Theory Choice”, w: T.S. Kuhn, *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago UP 1977. Późniejsze teksty, w których Kuhn próbował przede wszystkim wypracować teorię znaczenia i sprecyzować pojęcie niewspółmierności, nie wnoszą już niczego interesującego do zagadnień poruszanych w tym

starał poniżej pokazać, że *jeśli* Kuhna zainspirowała książka Flecka, to nie rozumiał on jednego z najważniejszych jej przesłań lub je zignorował. Dziś wielu uważa autora *Powstania i rozwoju faktu naukowego* za niedocenionego przez czterdzieści lat poprzednika koncepcji wyłożonych na kartach *Struktury rewolucji naukowych*. Ja sądzę, że aby należycie wykorzystać Fleckowskie idee, należy uwolnić się od pokusy ich odczytania przez pryzmat Kuhnowskiej filozofii nauki.

Zacznijmy od pytania, czy książka Flecka faktycznie zainspirowała Kuhna. W Przedmowie do *Struktury* jej autor wspominał, jak to przed laty (na przełomie 1949 i 1950 r.) natrafił

[...] na niemal nieznaną monografię Ludwika Flecka, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (Basel 1935), pracę, która antycypowała wiele z moich własnych idei. Praca Flecka, a także uwaga innego stażysty z Harvardu, Francisca X. Suttona, uzmysłowiły mi, że idee te trzeba chyba ulokować w ramach socjologii wspólnoty naukowej.

Skoro Fleckowskie *kolektywy myślowe* są dość oczywistym odpowiednikiem Kuhnowskich *wspólnot naukowych*, *styl myślenia* zdaje się być tym samym co *paradygmat* (a raczej *macierz dyscyplinarna* z „Postscriptum-1969”), a wreszcie Fleck w paru miejscach pisze (po polsku) o *niewspółmierności* stylów myślowych, co w książce Kuhna jest jednym z kluczowych pojęć, to z miejsca rodzi się podejrzenie, że autor *Struktury* swe zasadnicze idee przejął od mikrobiologa i filozofa ze Lwowa. Jednak w Przedmowie, jaką kilkanaście lat później napisał do angielskiego wydania książki Flecka, Kuhn stwierdzał:

[...] nie jestem jednak pewien, czy z pracy Flecka przejąłem coś bardziej konkretnego, choć oczywiście mogłem i bez wątpienia powinienem. [...] Znaki na marginesie mojej kopii tej książki sugerują, że reagowałem głównie na to, o czym już sam myślałem: na zmiany postaci, w jakich przyroda nam się ukazuje, i na związane z tym trudności z ujęciem „faktu” niezależnego od „punktu widzenia”³.

Zaraz dalej znajdujemy krytyczną uwagę, iż w książce Flecka „[...] kolektyw myślowy zdaje się funkcjonować niczym spotęgowany umysł indywidualny, gdyż wielu ludzi go posiada (lub jest przez niego posiadanych)”. Zarzut ten powtarza się w wywiadzie, jakiego Kuhn udzielił kilka miesięcy przed śmiercią:

artykule, choć pomocne są wyjaśnienia zawarte w „What Are Scientific Revolutions?”, w: *The Probabilistic Revolution* t. 1, L. Krüger, L. Daston, M. Heidelberger (red.), Cambridge MA 1987. (Wszystkie te teksty są dostępne w polskich przekładach S. Amsterdamskiego w: *Dwa bieguny. Tradycja i nowatorstwo w badaniach naukowych*, PIW 1985, i *Droga po Strukturze*, Sic!, Warszawa 2003, a także w poprawionym wydaniu *Struktury* przez Aletheia, Warszawa 2001. Dalej będę odwoływał się wprost do tych tomów).

³ Thomas S. Kuhn, „Foreword”, w: Ludwik Fleck, *Genesis and Development of a Scientific Fact*, tłum. F. Bradley i T.J. Trenn, Chicago UP 1979, s. VII–XI.

Nie sądzę, bym się wiele dowiedział z tej książki; może dowiedziałbym się więcej, gdyby niemiecki tego Polaka nie był tak trudny. Ale niewątpliwie umocniła mnie ona w moich poglądach. Fleck pod wieloma względami myślał o interesujących mnie kwestiach podobnie do mnie. Nigdy nie przyjąłem jego koncepcji „kolektywu myślowego”. Jasne było, że chodzi mu o grupę, ale jego modelem był indywidualny umysł⁴.

Dalej postaram się wykazać, że uwagi Kuhna o *quasi-indywidualistycznym* charakterze Fleckowskiego kolektywu są właśnie przejawem fundamentalnego nieporozumienia nadmienionego powyżej.

II. Kuhn o mechanizmie rewolucji naukowych

Kuhn swą słynną książkę poświęcił, na co wskazuje sam tytuł, rewolucjom naukowym. Używał tego terminu w sposób wysoce nieprecyzyjny, nazywając „rewolucjami” zarówno globalne przewroty w naukowym myśleniu, jakich dokonali Kopernik w astronomii czy Lavoisier w chemii, jak i lokalne wydarzenia, jakim dla wspólnoty badaczy promieni katodowych było odkrycie promieni X przez Roentgena. Również w tekście z 1987 r. obok przykładów przewrotów globalnych, takich jak przejście od fizyki Arystotelesa do mechaniki Newtona, a potem od fizyki klasycznej do kwantowej, znajdujemy uwagi o „rewolucyjnej” zmianie rozumienia działania stosu elektrycznego, do jakiej doszło w ciągu około trzydziestu lat od skonstruowania go przez Voltę⁵. Zarówno globalne, jak i lokalne rewolucje mają przebiegać według jednego schematu. Oto on⁶.

Najpierw dana dyscyplina wchodzi w stadium paradygmatyczne – w okresie *nauki normalnej* – gdy pewne osiągnięcie poznawcze uznane zostaje przez wspólnotę naukową za fundament jej dalszych praktyk, za wzorzec – *paradygmat* – do naśladowania. Takie osiągnięcia obejmują prawa, teorie, zastosowania i przyrządy laboratoryjne. (Od 1969 r. Kuhn ów kompleks nazwie *macierzą dyscyplinarną*, raz na zawsze rezygnując z używania słowa „paradygmat”). Akceptacja paradygmatu narzuca uczonym określone przekonania co do tego, z jakiego rodzaju składników zbudowany jest świat, jak oddziałują one na siebie i na nasze zmysły, jakie pytania ich dotyczące można i należy zadawać oraz jakich technik używać w celu znalezienia odpowiedzi, a wreszcie jakie kryteria rozstrzygają o poprawności rozwiązań. Mało tego, przyswojenie sobie paradygmatu decyduje o tym, w jaki sposób członkowie wspólnoty spostrzegają świat, co jawi im się jako „fakty” czy „zjawiska”.

⁴ „Rozmowa z T. S. Kuhnem”, tłum. S. Amsterdamski, w: *Droga po Strukturze*, wyd. cyt., s. 258.

⁵ „Czym są rewolucje naukowe?”, w: *Droga...*, wyd. cyt., s. 17–33. Kuhn nie wyjaśnia jednak, kto tej rewolucji w myśleniu o zjawiskach elektrycznych dokonał i na czym ona polegała.

⁶ Kuhnowską koncepcję rewolucji naukowych omówiłem w *Spór o racjonalność naukową. Od Poincarého do Laudana*, Funna 2000, rozdz. IV, wprowadzając do schematu z kart *Struktury* aparat pojęciowy, zarysowany w „Postscriptum-1969” i innych tekstach z tego okresu – ale później przez Kuhna porzucony. Tu będę się trzymał chwiejnej terminologii z kart *Struktury rewolucji naukowych*.

Paradygmat dostarcza badaczom łamigłówek, czyli problemów, które można rozwiązać za pomocą właściwych dla niego narzędzi zarówno teoretycznych, jak i eksperymentalnych. Udana rozwiązanie łamigłówki wystawia naukowcowi świadectwo kompetencji – i młodych wprowadza do wspólnoty naukowej, a starym służy umocnieniu w niej swojej pozycji. Dzięki rozwiązywaniu kolejnych łamigłówek dyscyplina paradygmatyczna rozwija się: coraz więcej zjawisk z coraz większą dokładnością włączonych zostaje w obszar udanych zastosowań teorii. Ale choć uczeni skonstruowali zbiorowym wysiłkiem paradygmat i na jego podstawie budują przyrządy laboratoryjne oraz rozumieją ich wskazania, to nie od ich woli zależy np., w którym miejscu zatrzyma się wskazówka amperomierza czy przez jakie substancje i w jakim stopniu przenikać będą odkryte właśnie promienie. I naukowcy wreszcie natrafiają na zjawiska, które zdają się przeczyć przyjętym zasadom teoretycznym. Kuhn określił je mianem *anomalii*.

Stając w obliczu anomalii, naukowcy często je ignorują, jako że w okresie nauki normalnej niepowodzenie w rozwiązaniu problemu obciąża nie panujący paradygmat, ale uczonego (tylko pozytywne wyniki nadają się do publikacji). Zostawmy więc, myślą uczeni, kłopotliwe problemy naszym następcom, może oni będą wiedzieli, jak się z nimi uporać. Jeśli z jakiegoś powodu nie da się anomalii zignorować lub odłożyć na później, to „normalni” naukowcy starają się wyeliminować zaistniałe sprzeczności między wynikami doświadczeń a teoretycznymi przewidywaniami, wprowadzając do teorii rozmaite modyfikacje *ad hoc*. Ta taktyka często – choć zwykle w sposób niespodziewany – okazuje się skuteczna: po dodaniu do teorii pewnych twierdzeń wynikające z niej przewidywania stają się zgodne z danymi uchodzącymi wcześniej za anomalne.

Niektóre anomalie jednak uporczywie wymykają się próbom ich wyjaśnienia za pomocą narzędzi dostarczanych przez panujący paradygmat. Jeśli są to niepowodzenia na dużą skalę, dotyczące zagadnień ważnych dla innych zastosowań paradygmatu lub na rozwiązanie których istnieje silne zapotrzebowanie społeczne, a nie są w stanie się z nimi uporać uczeni, którzy już zostali uznani za znakomitych, wtedy dyscyplina wchodzi w stadium *krzysiu*: „To, co uchodziło dotąd za niepowodzenie jednostki, może zostać potraktowane jako symptom niezgodności teorii z doświadczeniem”⁷. Paradygmat przestaje dostarczać reguł wyróżniających problemy, które są w jego ramach rozwiązywalne – w rezultacie jego zwolennicy tracą poczucie zawodowego bezpieczeństwa. Dotyka to zwłaszcza badaczy dopiero zaczynających pracę w danej dyscyplinie. Udręczeni wciąż rosnącymi wątpliwościami podejmują *badania nadzwyczajne*, mające na celu nie zmodyfikowanie paradygmatu dotychczas panującego w danej dziedzinie, ale stworzenie nowego poglądu na świat i na metody prowadzenia badań.

⁷ „Logika odkrycia naukowego czy psychologia badań?”, w: T.S. Kuhn, *Dwa bieguny*, wyd. cyt., s. 380.

Jak prowadzone są badania nadzwyczajne? Kuhn przyznaje, że niewiele z tego rozumie⁸, wyraża też podejrzenie, że ewentualnego wyjaśnienia mogliby dostarczyć raczej psycholodzy i socjolodzy niż on, historyk nauki. Skoro reguły prowadzenia badań eksperymentalnych i dociekań teoretycznych, dostarczane przez panujący dotąd paradygmat, zawiodły, to uczeni postępują w dużej mierze po omacku, szukając często inspiracji w dziełach filozofów raczej niż naukowców. Wreszcie któremuś z nich udaje się wymyślić nową teorię.

Jaką naturę ma to ostatnie stadium – w jaki sposób jednostka wymyśla (lub stwierdza, że wymyśliła) nowy sposób uporządkowania zebranych danych – to pytanie, które musimy tu pozostawić bez odpowiedzi, być może na zawsze. Zauważmy tu na ten temat tylko jedno. Prawie zawsze człowiek, który wymyśla od podstaw nowy paradygmat, jest bądź bardzo młody, bądź od niedawna pracuje w dziedzinie, której paradygmat zmienia. I chyba nie trzeba tego nawet objaśniać, gdyż oczywiście ludzie, którzy nie są zbyt przywiązani poprzez wcześniejszą praktykę do tradycyjnych reguł nauki normalnej, o wiele łatwiej dostrzegają, że jej reguły nie określają już rozgrywalnej gry, i obmyślają inny zbiór reguł, który ma zastąpić tamte⁹.

Kuhn nie wierzy, by teorie naukowe miały być w jakiś sposób indukcyjnie wywodzone ze zjawisk. Teorie to „twory wyobraźni, wymyślane w całości”¹⁰.

Natrafiamy tu więc na przekonanie, że człowiek jest w stanie *wymyślić coś z niczego*. Normalnie nasze myślenie przebiega zgodnie z założeniami leżącymi u podstaw wspólnotowo przyjętego paradygmatu, niemniej w sytuacjach nadzwyczajnych możemy porzucić wszelkie przeddoświadczalne założenia i myśleć niejako od podstaw, niczego z góry nie zakładając.

Zwykle nowy paradygmat jest *niewspółmierny* w stosunku do starego:

Kolejne paradygmaty mówią nam co innego o składnikach świata i ich zachowaniu. Różnią się więc w takich kwestiach, jak istnienie cząstek subatomowych, materialność światła, zachowanie ilości ciepła czy energii. [...] Paradygmaty różnią się jednak od siebie i pod innymi względami, gdyż odnoszą się nie tylko do przyrody, ale zwracają również do nauki, która je wytworzyła. Z nich wywodzą się metody, zakres problematyki i standardy rozwiązań, jakie w danym okresie akceptuje każda dojrzała wspólnota naukowa. [...] Niektóre stare problemy mogą zostać przesunięte do innej nauki bądź w ogóle uznane za „nienaukowe”. Inne, które poprzednio nie istniały lub uchodziły za trywialne, wraz z nowym paradygmatem stać się mogą wzorcem istotnych osiągnięć naukowych. A często wraz ze zmianami problematyki zmieniają się również standardy odróżniające rzeczywiste rozwiązania naukowe od zwykłych metafizycznych spekulacji, gier słownych czy wprawek matematycznych¹¹.

Są jeszcze inne aspekty niewspółmierności poza zmianą postulowanej ontologii, problematyki badawczej i standardów poprawności rozwiązań. Nowy paradygmat wprowadza nową terminologię, a choć pewnych słów używa się przed i po

⁸ Zob. uwagi rozproszone w rozdz. VIII *Struktury*.

⁹ Tamże.

¹⁰ „Logika...”, wyd. cyt., s. 388.

¹¹ *Struktura...*, rozdz. IX.

rewolucji, to zmieniają one swe znaczenia – tak że zdania zbudowane w języku starego i nowego paradygmatu wyrażają nie tyle różne sądy o tym samym, ile mówią coś innego o czymś innym. Nie da się więc tego, o czym mówią twierdzenia jednego paradygmatu, wyrazić w pełni w języku drugiego. A wreszcie:

W pewnym sensie, którego nie jestem w stanie bliżej wytłumaczyć, zwolennicy współzawodniczących paradygmatów uprawiają swój zawód w różnych światach. [...] Pracując w różnych światach obie grupy naukowców patrząc z tego samego miejsca w tym samym kierunku widzą różne rzeczy¹².

W rezultacie zwolennicy konkurencyjnych paradygmatów nie mogą się w pełni porozumieć. To, co dla jednych stanowi kluczowy problem, dla drugich może być pseudoproblemem; wyniki doświadczeń, które w oczach jednych odślaniają istotę rzeczy, z punktu widzenia drugich mogą być artefaktami itd. A przede wszystkim słysząc wzajemnie swoje wypowiedzi, będą mylnie je odczytywać w świetle własnych założeń teoretycznych. Jedni drugich nie mogą więc przekonać za pomocą dla obu stron zrozumiałych – i równie ważnych – argumentów.

Choć nikogo nie da się przekonać do przyjęcia paradygmatu, to jednostka może z ciekawości zacząć się go uczyć. A wtedy zdarza się, że nagle, nie zdając sobie z tego sprawy, zaczyna widzieć świat przez pryzmat nowego paradygmatu i myśleć o świecie w jego kategoriach. Proces ten określa Kuhn przejętym z religioznawstwa terminem „nawrócenie”.

Jeśli natomiast chodzi o wspólnotę naukową jako całość, to:

Jedynym historycznie procesem, który faktycznie prowadzi do odrzucenia poprzednio akceptowanej teorii i przyjęcia innej, jest współzawodnictwo między odłami wspólnoty naukowej¹³.

Chodzi o przejście kontroli nad systemami kształcenia przyszłych naukowców, przyznawania stopni naukowych, a wreszcie nadzoru nad specjalistycznymi czasopismami. Gdy grupa młodych buntowników zwycięży, powstają podręczniki, które nie tylko wprowadzają w podstawy nowego paradygmatu, ale w systematyczny – choć nieuświadamiany przez ich autorów – sposób fałszują historię dyscypliny. Skrywają straty, do jakich zwykle dochodzi przy zmianie panującego paradygmatu, a wyolbrzymiają jego osiągnięcia. Metody badań związane z nowym paradygmatem przedstawiają jako metody naukowe po prostu, obowiązujące zawsze i wszędzie. A wreszcie przedstawiają prace dawnych uczonych tak, jakby zmierzały one do rozwiązania tych problemów, które obecnie uchodzą za naukowe. Łącznie pozwala im to zadekretować, że w wyniku ostatniej rewolucji – której zająć się stają się dla samych uczonych niewidoczne – dokonał się *postęp* poznawczy (a nie po prostu *zmiana* poglądów, metod i standardów). Przyswa-

¹² Tamże, rozdz. XII.

¹³ Tamże, rozdz. I.

jając sobie podręcznik, adept nauki staje się „ofiara historii przerobionej przez tych, którzy są u władzy”¹⁴.

Ćwierć wieku później, próbując odpowiedzieć na pytanie, czym są rewolucje naukowe, Kuhn przyznawał, że wielu spraw z tym związanych nadal nie rozumie, niemniej ich trzy cechy wyróżnił jako podstawowe. Po pierwsze, „Zmiany rewolucyjne mają w jakiejś mierze charakter holistyczny. [...] Zmianie musi zarazem ulec całościowy obraz szeregu aspektów przyrody”. Po drugie, następuje zmiana znaczeń, która przeobraża „[...] nie tylko kryteria odniesienia terminów do przyrody, lecz również zbiór obiektów i sytuacji, do których się one odnoszą”. Po trzecie, zmieniają się modele, metafory czy analogie – „[...] to, co uprzednio wydawało się podobne, sta[je] się różne (i na odwrót)”¹⁵.

III. Fleck o zmianach stylów myślenia

Fleck nie używał terminu „rewolucja naukowa” ani żadnego jego synonimu, niemniej jego obraz historii nauki do złudzenia nieraz przypomina ten z kart książki Kuhna. Podkreślał, że wiedza naukowa podlega holistycznym zmianom:

[...] żadna nauka nie zawiera obiektywnego obrazu świata, w znaczeniu jedno-jednoznacznego semantycznego odwzorowania go. Nie zawiera nawet żadnej części takiego obrazu. Gdyby tak było, byłaby w nauce jakaś część stała, niezmienna, wiedza naukowa rosłaby przez prosty przyrost wiadomości, tymczasem doświadczenie uczy, że zmienia się ona ustawicznie jako całość. Najbardziej pewne, zasadnicze elementy zmieniają się. Każdy fachowiec odróżni stary podręcznik swojej nauki od nowego: jest w całości anachroniczny¹⁶.

Zmieniają się znaczenia terminów, które przed i po zmianie panującej teorii odnoszą się do innego zbioru obiektów i sytuacji. Zacytował fragment książki Józefa Łöwa, *O moczu*, z 1815 r., gdzie wielokrotnie występuje słowo „fosfor”, Fleck konstatował:

Nie ma dzisiaj w nauce takiego słowa, które by oddało znaczenie tego *fosforu*. [...] Ma związek z elektrycznością meteoryczną, z produkcją specyficznych zapachów, z fosforescencją, z zapaleniem i gniciem. [...] Jest pewną zasadą, a mimo to [...] można go zważyć [...]. Nie ma więc także własności dzisiejszych zasad, bo zasady [...] nie dadzą się dzisiaj ważyć. A przecież ten twór ma wiele wspólnego z dzisiejszym fosforem [...]. Istnieje niewątpliwie coś pokrewnego między dzisiejszym naukowym pojęciem a tym, którego używa Löw. To „coś” jest trudne do nazwania [...]¹⁷.

¹⁴ Tamże, rozdz. XIII.

¹⁵ „Czym są rewolucje naukowe?”, w: *Droga...*, wyd. cyt., s. 30–32.

¹⁶ „Problemy naukoznawstwa”, *„Życie Nauki”* nr 5, 1946, 322–336.

¹⁷ *Powstanie...*, rozdz. IV, 5.

Mamy u Flecka uwagi o zmianach problemów i standardów rozwiązań, np. pisząc jeszcze w 1927 r. o dokonujących się właśnie narodzinach fizyki kwantowej, stwierdzał:

Mamy obecnie szczęście być świadkami spektaklu narodzin, stworzenia nowego stylu myślowego. [...] Wcześniej czy później wiele rzeczy się zmieni: prawo przyczynowości, pojęcie obiektywności i subiektywności. Inne będą oczekiwania wobec naukowych rozwiązań, ważność uzyskają inne problemy. Wiele rzeczy udowodnionych okaże się być nieudowodnionymi, wiele z nieudowodnionych okaże się być zbędnymi¹⁸.

Są wreszcie u Flecka uwagi harmonizujące z metaforą Kuhna, iż zwolennicy różnych paradygmatów pracują w różnych światach:

[...] zmiany w myśleniu przejawiają się w zmienionych faktach i na odwrót: zasadniczo nowe fakty można odkryć tylko dzięki zmienionemu myśleniu¹⁹.

Nie ma jednak u Flecka choćby zarysu procesu, w wyniku którego dochodzi do zastąpienia jednego stylu myślowego innym, ani na poziomie indywidualnych badaczy, ani całych kolektywów myślowych (czegoś w rodzaju Kuhnowskiej sekwencji paradygmat → badania normalne → ważne i uporczywe anomalie → kryzys → badania nadzwyczajne → nowy paradygmat → walka między wspólnotami naukowców). Mamy jedynie rozproszone uwagi, które postaram się teraz zebrać.

Przede wszystkim, Fleck przejmując od Durkheima, Levi-Bruhla, Jeruzalema i Gumplowicza pogląd, iż:

[...] to, co w człowieku myśli, to wcale nie jest on sam – ale jego społeczna wspólnota. Źródłem jego myślenia nie jest on sam, ale jego społeczne otoczenie, w którym żyje, społeczna atmosfera, w której oddycha, nie może myśleć inaczej, niż to wypływa nieodzownie z koncentrujących się w jego mózgu wpływów otaczającego go społecznego środowiska²⁰.

Kolektyw myślowy kształtuje sposób, w jaki jego członkowie postrzegają rzeczywistość i myślą o niej – nie mogą oni widzieć i myśleć inaczej niż w ten kolektywnie uwarunkowany sposób. Wypracowany przez kolektyw, a przekazany jednostce w procesie socjalizacji styl myślowy wywiera bezwzględny przymus na jej myślenie.

¹⁸ „Zur Krise der »Wirklichkeit«”, „Die Naturwissenschaften” 1929, 425–430; tłum. pol. W.A. Niemirowski, w: *Psychosocjologia...*, s. 184. Eva Hedfors, „Fleck in Context”, „Perspectives on Science” 15, 2007, 49–86 argumentuje, że właśnie debata na temat relatywistycznej i kwantowej rewolucji w fizyce, toczona na łamach „Die Naturwissenschaften”, wywarła decydujący wpływ na kształtowanie się teorii kolektywów myślowych i stylów myślowych Flecka.

¹⁹ *Powstanie...*, rozdz. II, 4.

²⁰ Gumplowicz, *Grundriss der Soziologie*, 1905; cyt. w: Fleck, *Powstanie i rozwój...*, § II. 4.

Podobnie jak Kuhn, Fleck podkreśla, że styl myślowy nie zostaje porzucony z tego powodu, że przeczą mu fakty²¹. Po pierwsze, sprzeciw wobec silnie utrwalonego w kolektywie myślowym poglądu jest nie do pomyślenia. Po drugie, uczeni nie są w stanie dostrzec „faktów” przeczących kierującemu ich spostrzeganiem stylowi myślowemu. Po trzecie, nawet jeśli na takie fakty natrafiają – bo przecież to nie oni decydują, jak już powiedziano powyżej, w którym miejscu zatrzyma się wskazówka amperomierza – to pomijają je milczeniem (tak jak zwolennicy mechaniki Newtona przez parę dziesięcioleci ignorowali anomalny ruch Merkurego). Po czwarte, gdy nie da się anomalnych zjawisk ignorować, uporczywie próbuje się je wyjaśnić zgodnie z elementami czynnymi swego stylu myślowego. A nawet, po piąte, w miejsce brakujących wyników doświadczeń wstawia się niekiedy twory fantazji, przygotowuje się fakty zgodnie z przyjętą teorią.

Odpowiedników Kuhnowskich (ważnych i uporczywych) anomalii i wywołanego przez nie kryzysu u Flecka brak. Są też w jego pismach uwagi, jakich brak u Kuhna. Po pierwsze, o wpływie środowiska zewnętrznego, a zwłaszcza zmian systemów społecznych, na rozwój nauki. I tak np. nadinterpretowując wyniki badań Tadeusza Bilikiewicza pisze:

Skoro na przejściu między barokiem a rokokiem zaczyna upadać polityczny absolutyzm, wraz z popędem do indywidualnej wolności w życiu zjawia się w embriologii odkrycie plemników pojmowanych jako samodzielna *vita propria* [...]. Ze wzrostem znaczenia kobiet [...] powstają owuliści [...], a „Buffon idzie w przyznawaniu równouprawnienia płci tak daleko, że odkrywa rzekomo żeńskie plemniki”. Walka preformizmu z epigenetyzmem, witalizmu z mechanizmem znajduje swoje polityczne, artystyczne i filozoficzne tło kulturalne. Każdy etap nauki staje się [wytworem] całokształtu sił i przejawów epoki²².

Treść nauk zależy, zdaniem Flecka, od warunków społeczno-politycznych – choć nie formułuje on żadnych ogólnych zasad, które określałyby zależność między sytuacją społeczną a rodzajami odkryć eksperymentalnych czy idei, jakie się wtedy pojawiają²³.

Poczynił też Fleck ciekawe uwagi o twórczej roli nieporozumień. Każdy człowiek we współczesnym świecie uczestniczy w wielu kolektywach myślowych – choć jest członkiem co najwyżej jednego kręgu ezoterycznego. Ponieważ poddani jesteśmy różnym wpływom, to mówiąc do siebie, nie w pełni się rozumiemy. Gdy uczeni pracują nad stworzeniem nowego stylu myślowego, to w trakcie niezliczonych dyskusji, w mowie i w piśmie, wciąż pojawiają się nieporozumienia, z których uczestnicy debat nie zdają sobie sprawy. Wreszcie powstaje nowy styl, którego nikt z osobna nie wymyślił, nie przeczuwał i nie zaplanował.

²¹ Zob. uwagi w *Powstanie i rozwój...*, § II. 3.

²² „Nauka a środowisko”.

²³ Chodzi o takie zasady, jakie znaleźć można np. w: David Bloor, *Wittgenstein and the Social Theory of Knowledge*, Columbia UP 1983, rozdz. 7, choć i te są bardzo zdawkowe.

A zatem jednostka nie jest w stanie, pracując samodzielnie, wymyślić niczego zasadniczo nowego. Kolektyw myślowy najpierw musi jej przekazać wypracowany przez siebie styl myślowy, który później „wywiera bezwzględny przymus na jej myślenie i wbrew któremu niczego właściwie nie można pomyśleć”²⁴ (z czego jednostka z reguły nie zdaje sobie sprawy, zasady przyswojonego stylu traktując jako odzwierciedlenie samej rzeczywistości). By powstało coś nowego, potrzebna jest intelektualna współpraca między uczonymi.

I tu mamy zasadniczą różnicę między poglądami Kuhna i Flecka, wręcz przeciwną do cytowanych uwag tego pierwszego o „indywidualistycznym” charakterze Fleckowskiego kolektywu. Choć Kuhn podkreślał, że badania normalne mają charakter wspólnotowy, to czynił to mniej zdecydowanie niż Fleck, który z naciskiem twierdził, że w jednostce myśli nie tyle ona sama, co kolektyw, do którego należy, że myślenie jest czynnością zbiorową, niemożliwy jest więc izolowany badacz, a jednostka nie może wyzwolić się od swych kolektywnych uwarunkowań. Choć naukowiec z kart *Struktury rewolucji naukowych* podporządkowuje się przyswojonemu paradygmatowi, to gdy zostanie uderzony narastającym kryzysem – a w dodatku jest młody lub od niedawna pracuje w danej dyscyplinie – może uwolnić się od nabytego systemu pojęciowego i budować nowy system od podstaw. Tym bardziej że jako młodzieniec lub nowicjusz nie został jeszcze w pełni wprowadzony w paradygmatyczne reguły postępowania badawczego.

Powstaje jeszcze pytanie, jaką rolę w narodzinach nowego stylu myślowego odgrywają wcześniejsze odkrycia doświadczalne. Kuhn twierdził, że nagromadzenie ważnych odkryć anomalnych doprowadza do kryzysu, ale pozytywnej roli nigdzie im nie przypisał. U Flecka znajdujemy natomiast uwagę, na której podstawie taką pozytywną rolę można doświadczalnym odkryciom przypisać: „[...] to, co należało dawniej do elementów biernych jakiejś nauki, może przejść do czynnych”²⁵.

Elementy czynne to te składniki naszych poglądów, które zostały społecznie wytworzone i wynegocjowane i które stanowią przeddoświadczalną podstawę dalszych badań. Gdy ukonstytuowany przez nie system pojęciowy „przykładamy” do rzeczywistości, opisując to, czego przez okulary systemu doświadczamy, zgodnie z jego zasadami wyciągając z tych opisów wnioski, to otrzymujemy *elementy bierne*. Powstawania elementów biernych, podkreśla Fleck, „nie da się wytłumaczyć ani psychologicznie [...], ani historycznie”.

Poznać znaczy więc przede wszystkim – według danych założeń ustalić narzucające się siłą rzeczy rezultaty. Założenia odpowiadają czynnym powiązaniom i stanowią kolektywną część poznania. Wymuszone rezultaty odpowiadają powiązaniom biernym i tworzą to, co odczuwane jest jako obiektywna rzeczywistość. Udziałem jednostki jest akt stwierdzenia²⁶. [Fleck 1935a, § II. 4]

²⁴ Fleck, *Powstanie i rozwój...*, § II. 4.

²⁵ Tamże, § IV. 2.

²⁶ Tamże, § II. 4.

Skoro tak, to zależności stwierdzone przez jednostkę w trakcie badań doświadczalnych, a następnie podczas teoretycznej analizy uzyskanych wyników, mogą stać się aprioryczną podstawą kolejnych prac badawczych.

Więcej z tekstów Flecka chyba wydobyć się nie da. Można natomiast przyrzec się jednej z wielkich rewolucji w fizyce i próbować, wykorzystując idee Kuhna i Flecka jako punkt wyjścia rozważań, nauczyć się czegoś więcej.

IV. Maxwellowska rewolucja w teorii elektryczności i magnetyzmu

W latach 1855–1862 Maxwell sformułował równania elektrodynamiki²⁷. Dało to początek wielkiej rewolucji naukowej, która – by przypomnieć zasadnicze cechy rewolucji według Kuhna – zmieniła całościowy obraz pewnych aspektów przyrody, zbiory obiektów i sytuacji, do których odnoszą się podstawowe terminy, a wreszcie zmieniła modele, metafory czy analogie, sprawiając, że to, co wcześniej było różne, zaczęło być tym samym i na odwrót. Gdy teoria Maxwella zastąpiła panującą wcześniej w elektrodynamice teorię Webera, miejsce sił działających na odległość zastąpiły rozciągnięte w przestrzeni pola, w których oddziaływania rozchodzą się z miejsca do miejsca bezpośrednio doń przylegającego²⁸. Światło, wbrew wcześniejszym wyobrażeniom na jego temat, okazało się falą elektromagnetyczną – co prowadziło do podjęcia badań eksperymentalnych, które wcześniej byłyby nie do pomyślenia (najsłynniejsze z nich to seria eksperymentów, w wyniku których Hertz wytworzył i odebrał fale radiowe). Zaczęto mówić m.in. o strumieniach pól – na co uprzednio nie było miejsca. A wreszcie dokończono dzieła, wyprowadzając z równań Maxwella transformacje Lorentza i formułując podstawy szczególnej teorii względności.

a) Historyczne tło dociekań Maxwella

Jeśli Fleck ma rację, to nie ma spostrzegania i myślenia pozakolektywnego i bezstylowego. Gdy więc chcemy zrozumieć przebieg badań eksperymentalnych i dociekań teoretycznych prowadzonych przez dowolnego badacza, musimy usta-

²⁷ Wykorzystuję tu materiały z mojej książki *Racjonalna rekonstrukcja odkryć naukowych*, Wydawnictwo UMCS 1990, §§ 5.5 i 5.6, znacznie je przeinterpretowując. Korzystałem też z Thomas K. Simpson, *Maxwell on the Electromagnetic Field. A Guided Study*, Rutgers University Press 1997, a przede wszystkim z artykułów Maxwella zebranych w *Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Cambridge University Press 1890.

²⁸ Na ten właśnie epizod powołał się Kuhn, by uzasadnić swoje twierdzenie, że nauka w swym historycznym rozwoju nie zbliża się do prawdy: „Tak np. powiedzenie o teorii pola, że »zbliża się bardziej do prawdy« niż starsza koncepcja materii i sił, powinno znaczyć, jeśli słowa nie są używane w sposób dziwny, że ostateczne składniki przyrody są bardziej podobne do pól niż do materii i sił. Jednakże w tym ujęciu ontologicznym nie jest jasne, co znaczy »bardziej podobne«”. „Odpowiedź moim krytykom”, w: T.S. Kuhn, *Droga po Strukturze*, Sic! 2003, s. 150.

lić, z kim utrzymywał on kontakty intelektualne i jakie style myślowe sobie przyswoił.

James Clerk Maxwell przyswoił sobie, rzecz jasna, panujący wtedy niepodzielnie w fizyce styl myślowy mechaniki klasycznej. Jego najważniejsze prace zmierzały do włączenia w zakres mechaniki zjawisk cieplnych, a także elektrycznych i magnetycznych. W obu dziedzinach uzyskane przezeń wyniki miały charakter rewolucyjny w rozumieniu Kuhna.

Jeśli o termodynamikę chodzi, to pod koniec XVIII w. Benjamin Thomson (Rumford) i Humphry Davy przeprowadzili serię eksperymentów, których rezultaty ożywiły – zrazu w oczach nielicznych fizyków i chemików – dawną ideę, że *ciepło jest ruchem*. Parę lat później John Dalton w celu wyjaśnienia stałości stosunków wagowych pierwiastków wchodzących w pewne reakcje chemiczne wprowadził do chemii demokrytyjskie *koncepty atomistyczne*. Narzucającą się w tej sytuacji myśl, że *ciepło jest ruchem atomów*, rozwijali, zrazu dyletancko i bez uznania ze strony kolektywu myślowego fizyków i chemików, John Herapath i John Waterson, a później, w bardziej już kolektywnie akceptowalnej formie, James Prescott Joule, August Karl Krönig, Rudolf Clausius i inni. Maxwell udoskonalił ich rozważania dzięki zastosowaniu *technik statystycznych*, jakie wcześniej w badaniach społecznych rozwinął Adolphe Quetelet – czego wynikiem był epokowy artykuł „Illustrations of the Dynamical Theory of Gases” (1960). Już w tym zarysie widać, jak twórczą rolę odgrywa międzykolektywna wymiana myśli, o jakiej pisał Fleck. Nie sposób zaś dopatrzeć się w tej historii gromadzenia się anomalii i wybuchu wywołanego tym kryzysu, czego należałoby oczekiwać z perspektywy rozważań Kuhna. Ale przejdźmy do zasadniczego tematu naszych rozważań.

Zasady mechaniki klasycznej zostały w ciągu XVII w. sformułowane w wielkiej mierze w wyniku badań nad ruchami ciał niebieskich, które z uwagi na ich niewielkie rozmiary w porównaniu z dzielącymi je odległościami traktować można w dobrym przybliżeniu jako punkty materialne. Ciała te przyciągają się siłami grawitacji, które Newton potraktował jako działające na odległość. To ujęcie natrafiło na ostre krytyki o charakterze filozoficznym, ale naukowo okazało się niesłychanie płodne. W II połowie XVIII w. w analogiczny sposób ujęto zjawiska elektryczne i magnetyczne – i sformułowano prawa określające wartości sił działających na odległość między ciałami naelektryzowanymi oraz między biegunami magnesów.

Siły między ciałami naelektryzowanymi a magnesami nie działają – a przynajmniej nie działały w trakcie eksperymentów, jakie przeprowadzano w ciągu XVIII w. W połowie tego stulecia Benjamin Franklin wykazał, że pioruny są wyładowaniami elektrycznymi. Od dawna wiadano, że gdy uderza piorun, znajdujące się nieopodal igły kompasów wpadają w drgania, a przedmioty z żelaza ulegają namagnesowaniu. To od razu sugerowało, że prąd elektryczny wywiera

efekty magnetyczne – i taki był motyw poszukiwań podjętych przez Hansa Christiana Ørsteda. Według jego własnych wspomnień, spisanych w rok po odkryciu, zwrócił uwagę na wspomniane „wahania igły magnetycznej podczas burzy”, w związku z czym wysunął „przypuszczenie, że wyładowanie elektryczne mogłoby oddziaływać na igłę magnetyczną umieszczoną w sąsiedztwie obwodu galwanicznego”²⁹. W 1820 r. stwierdził, że owa igła ustawia się niemal prostopadle do kierunku przepływu prądu.

Z zasad mechaniki klasycznej i wyników eksperymentów Ørsteda i własnych w październiku 1820 r. Jean-Baptiste Biot i Felix Savart wyprowadzili wniosek, że długi przewodnik z prądem działa na biegun magnesu siłą malejącą proporcjonalnie do odległości, skierowaną prostopadle do kierunku prądu i do prostopadłej łączącej biegun z przewodnikiem. To nie był wynik gry wyobraźni, lecz Fleckowski bierny rezultat, uogólniony indukcyjnie.

Pobudzony tymi odkryciami André-Marie Ampère przeprowadził w 1820 r. serię eksperymentów i stwierdził, że równoległe przewody przyciągają się, gdy prądy płyną w nich w tych samych kierunkach, a odpychają, gdy prądy płyną w kierunkach przeciwnych, zaś przewody prostopadle siłami na siebie nie działają. Wykazał też, że cewka z prądem działa na magnes tak, jakby sama była magnesem. W ten sposób okazało się, że magnetyzm jest rezultatem ruchów elektryczności – i z *fizycznego obrazu świata znikły ładunki* (płyną) *magnetyczne*. Z wyników eksperymentów, w koniunkcji z prawami mechaniki, Ampère wyprowadził prawo określające siłę działającą między elementami przewodników z prądem.

Sformułowania praw Biota-Savarta i Ampère’a nie da się, by przypomnieć tezę Flecka, wyjaśnić „psychologicznie czy historycznie”: o tym, że zyskały one taką, a nie inną postać, przesądzały – w ramach stylu myślowego, rządzącego spostrzeganiem i myśleniem naukowców tego czasu – doświadczenie i logika.

W latach 1829 i 1830 Włoch, Francesco Zantedeschi, opublikował wyniki badań, w trakcie których wytworzył prądy elektryczne przez zbliżanie i oddalanie magnesu; prace te przeszły niezauważone. Sensację natomiast wywołało wytworzenie prądów indukcyjnych przez Anglika, Michaela Faradaya, w 1831 r. W tym samym czasie zjawisko to, a także zjawisko samoindukcji, niezależnie odkrył Amerykanin, Joseph Henry, który jednak ogłosił swe wyniki kilka miesięcy później.

Samo to zestawienie nazwisk i dat pokazuje, że nie tyle geniusz Faradaya, co sytuacja, w jakiej znalazła się fizyka, prowadziły do tego przełomowego odkrycia. Jednak historyczna rola Faradaya zasługuje na komentarz. Syn ubogiego kowala, nie ukończył nawet szkoły elementarnej, a gdy miał trzynaście lat, tra-

²⁹ Cyt. za Per F. Dahl, *Flash of the Cathode Rays. A History of J.J. Thomson's Electron*, Institute of Physics Publishing 1997, § 2.2.

fił do terminu w warsztacie introligatorskim. Przynależność do kościoła sandemanianów, którzy głosili, że obserwacja przyrody jako dzieła Boga wiedzie do poznania prawdy, skłoniła go do samokształcenia. Miał już 24 lata, gdy Humphry Davy zatrudnił go w 1813 r. jako laboranta w swej pracowni w Royal Institution. Zyskawszy dostęp do przyrządów naukowych, w ciągu dziesięciu lat Faraday powtórzył wszystkie ważne eksperymenty w dziedzinie elektryczności i magnetyzmu, a także chemii – ale nie opanował matematyki wyższej i słabo przyswoił sobie panujące teorie. Od 1821 r. zaczął dokonywać epokowych odkryć, których wystarczyłoby na kilka Nagród Nobla (gdyby je wtedy przyznawano). Jednak gdy opisywał wyniki swych eksperymentów, używał języka częściowo różniącego się od języka, jakim posługiwali się członkowie ezoterycznych kręgów kolektywu myślowego fizyków i chemików tej epoki. W szczególności zjawiska elektryczne i magnetyczne przedstawiał, używając pojęcia „linii sił”, biegnących w przestrzeni otaczającej ciała naelektryzowane i magnesy. Z perspektywy teorii Flecka należałoby sądzić, że źródłem tego pojęcia były jakieś związki międzykolektywne, ale jakie (o ile Fleck ma rację), nie sposób chyba dziś dociec.

Trzeba było wprowadzić zjawiska odkryte przez Ørsteda, Ampère’a, Faradaya i innych do zakresu zastosowań mechaniki. Z punktu widzenia mechanicznego obrazu świata prądy elektryczne mogły być albo ruchem jakiejś substancji ciągłej, albo ruchem naelektryzowanych korpuskuł. Nie było wówczas sposobu, by którąś z tych możliwości wyróżnić – w takiej sytuacji można przyjąć jedną bądź drugą na próbę, by stwierdzić, co z tego wyjdzie.

Gustav T. Fechner, a następnie Wilhelm E. Weber przyjęli, że prąd elektryczny jest ruchem ładunków, które działają na siebie siłami na odległość – tak jak według Newtona działa siła grawitacji, a według Coulomba siły elektryczne i magnetyczne. Wyniki eksperymentów wymuszały jednak znaczną modyfikację w stosunku do tradycji. Wartość dotąd znanych sił zależała jedynie od pewnych cech ciał (ich masy, ładunku elektrycznego i ładunku magnetycznego) i od odległości między nimi. Odkrycia Ampère’a, w koniunkcji z prawami mechaniki i założeniem o korpuskularnej naturze ładunków, prowadziły do wniosku, że siły między ładunkami zależą też od ich względnej prędkości. Zaś z ustalonych przez Faradaya własności indukcji elektromagnetycznej wynikało, że siły te zależą od przyspieszeń, jakich jedne ładunki doznają względem drugich. Ponieważ prąd elektryczny nie działa na znajdujący się w pobliżu nieruchomy ładunek, prowadziło to do wniosku, że prąd jest jednoczesnym ruchem ładunków dodatnich i ujemnych w przeciwne strony. I oto cała, pominąwszy wzór matematyczny, teoria Webera. Znowu czynną rolę odegrały zasady mechaniki Newtona, a reszta – po przyjęciu założenia o korpuskularnej naturze prądów – była biernym rezultatem.

Na tym być może budowa elektrodynamiki by się skończyła – gdyby nie przemiany w pozostałych częściach fizyki. Jeszcze w 1788 r. Joseph Louis de

Lagrange, zapisawszy swe słynne równania ruchu, zauważył, że dla dowolnego izolowanego układu ciał działających na siebie siłami centralnymi zależnymi od odległości funkcja będąca – w dzisiejszej terminologii – sumą energii kinetycznych tych ciał i energii potencjalnych oddziaływań między nimi jest stała w czasie. Potraktował to jako matematyczną ciekawostkę, bez większego znaczenia. Gdy w latach 40. XIX w. Julius R. Mayer, James P. Joule, Hermann Helmholtz i inni sformułowali – w wyniku badań eksperymentalnych nad przekształcaniem pracy w ciepło i na odwrót – zasadę zachowania energii, niegdysiejsza ciekawostka urosła do rangi jednego z najważniejszych twierdzeń fizyki. Taką w każdym razie była dla Maxwella, pracującego przecież nad stworzeniem mechanicznej teorii ciepła.

Wyrażenie na energię potencjalną, występujące w równaniach Lagrange’a czy Hamiltona, było dotąd w prosty sposób związane z siłą: wzór na siłę otrzymywało się, obliczając pochodną, ze znakiem minus, po współrzędnych przestrzennych ze wzoru na energię potencjalną. Procedura ta traciła sens, jeśli siła zależała od wzajemnych prędkości i przyspieszeń oddziałujących ciał. Komentując teorię Webera w swym pierwszym artykule z zakresu elektrodynamiki, „On Faraday’s Lines of Force” (1855–56), Maxwell pisał, że wprawdzie można z niej wydedukować prawa Ampère’a dla sił między przewodnikami z prądem i prawa indukcowania prądów, to:

Sprzeciw budzi pogląd, by jakieś podstawowe siły w przyrodzie zależały od prędkości ciał, między którymi działają. Jeśli siły w przyrodzie mają zostać zredukowane do sił działających między cząsteczkami, to zasada Zachowania [Energii] wymaga, aby te siły działały wzdłuż linii łączących cząsteczki i były funkcjami jedynie odległości³⁰.

Natomiast w zakończeniu Części II artykułu drugiego, „On Physical Lines of Force” (1861–62), poczynił uwagę:

Ci, którzy w innym kierunku poszukują wyjaśnienia tych faktów, mogą porównać [przedstawioną wyżej] teorię z tą o istnieniu prądów płynących swobodnie przez ciała, i z tą, która zakłada, że elektryczność działa na odległość siłą zależną od jej prędkości, a zatem nie podlega prawu zachowania energii³¹.

Na rynku idei funkcjonowała wtedy konkurencyjna koncepcja, rozwijana m.in. dla zjawisk magnetycznych przez Leonharda Eulera: zjawiska te są przejawem mechanicznych procesów odbywających się w wypełniającym przestrzeń (niewidzialnym) eterze. Maxwell uważnie studiował też prace Faradaya, w których

³⁰ James C. Maxwell, „On Faraday’s Lines of Force”, 1855–56; w: *Scientific Papers...*, t. 1, s. 208. (W oryginale mamy przyjęte wtedy wyrażenie „the principle of the Conservation of Force”).

³¹ James C. Maxwell, „On Physical Lines of Force”, 1861–62; w: *Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Cambridge University Press 1890, t. 1, s. 488. (Tu już mamy „the law of conservation of energy”).

mowa była o „liniach sił” jako czymś wypełniającym przestrzeń wokół ciał naelektryzowanych i magnesów. Jak wyznawał, nieco już retrospektywnie, w 1864 r.:

- (2) Trudności mechaniczne jednak, jakie pociąga za sobą koncepcja cząstek działających na odległość siłami zależnymi od ich prędkości, są takie, że powstrzymuje mnie to przed uznaniem tej teorii za ostateczną [...]. Wołałem zatem szukać wyjaśnienia zjawisk w innym kierunku, zakładając, że są one wytwarzane przez działania zachodzące zarówno w otaczającym ośrodku, jak i we wzbudzonych ciałach, oraz usiłując wyjaśnić działania między odległymi ciałami bez przyjmowania istnienia sił zdolnych do bezpośrednich działań na dostrzegalne odległości.
- (3) Teoria, którą proponuję [...], zakłada, że w [otaczającej] przestrzeni znajduje się materia w ruchu, która wytwarza obserwowane zjawiska elektromagnetyczne³².

A kilka stron dalej:

- (16) Tak więc zostaliśmy doprowadzeni do wyobrażenia o złożonym mechanizmie, który poruszać się może na wiele sposobów, a jednocześnie tak posprzęganym, że ruch jednej części zależy, wedle określonych związków, od ruchów części innych; ruchy te przekazywane są przez siły powstające wskutek względnych przemieszczeń posprzęganych części, zgodnie z ich sprężystością. Taki mechanizm musi podlegać ogólnym prawom Dynamiki i powinniśmy móc wyprowadzić wszystkie konsekwencje jego ruchu, o ile znamy formę relacji wiążących ruchy jego części³³.

Przytoczone fragmenty oddają samą istotę programu badawczego Maxwella. Nie tylko nie wątpił on w zasadność mechaniki klasycznej, ale próbował znaleźć alternatywny sposób stosowania jej do zjawisk elektromagnetycznych – w sytuacji, gdy ujęcia wcześniejsze nie dawały się pogodzić z mechaniczną zasadą zachowania energii.

Jeszcze jedno zarówno inspirowało Maxwella, jak i wpłynęło na przebieg jego dociekań przez dostarczenie mu narzędzi matematycznych. Zaczęto mianowicie w XIX w. rozwijać teorie sprężystości i hydrodynamikę. Mechanika klasyczna została pierwotnie sformułowana jako teoria punktów materialnych, a co najwyżej brył sztywnych o ostro obrysowanych granicach, oddzielonych pustą przestrzenią. Punktom materialnym przypisywano masę, a ciałom sztywnym gęstość masy, którą całkowano po objętości i znów otrzymywano masę (i ewentualnie moment bezwładności), wstawianą później do równań ruchu. Takie obdarzone masą ciała poruszały się pod wpływem sił działających na nie jako na całości, i działających m.in. na odległość. Natomiast teoretyczny opis ruchów cieczy czy drgań ciała sztywnego wymagał pozostania na poziomie funkcji rozkładu masy oraz traktowania sił jako przekazywanych od punktu do punktu, a w dodatku lokalnie.

Podobne teorie William Thomson – z którym Maxwell pozostawał w stałych kontaktach – rozwijał, jeśli chodzi o rozchodzenie się ciepła. Te były, co istotne, niezależne od mechaniki, jednak wiele wzorów okazywało się mieć formę analogiczną do równań hydrodynamiki czy teorii sprężystości.

³² James C. Maxwell, „A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field”, 1864; w: *Scientific Papers...*, t. 1, s. 527.

³³ Tamże, s. 533.

b) Maxwell o Faradayowskich liniach sił

W artykule „On Faraday's of Force” (1855–56) Maxwell zaczyna od wykorzystania analogii między równaniami teorii elektryczności i magnetyzmu a tymi uzyskanymi w hydrodynamice. Całą przestrzeń wypełnia nieściśliwa ciecz poruszająca się w ośrodku stawiającym jej opór proporcjonalny do prędkości ruchu. Jeśli potraktujemy ładunki dodatnie jako miejsca, z których ciecz wypływa, a ujemne jako miejsca, gdzie jest pochłaniana, to linie ruchu cieczy dla danego układu nieruchomych ładunków pokrywałyby się z kierunkiem, w jakim na umieszczony w danym punkcie niewielki ładunek dodatni działałyby siła elektryczna, zaś prędkość ruchu cieczy byłaby proporcjonalna do wartości owej siły.

Wygłąda to na razie na niewinną zabawę w analogie matematyczne. A jednak był to pierwszy – czego na tym etapie nie sposób było przewidzieć – krok w stronę rewolucji naukowej. Przestrzeń otaczająca naelektryzowane ciała, w dotychczasowych ujęciach pusta, pozbawiona więc własności fizycznych, takie własności zyskała. Niemal niepostrzeżenie Maxwell wprowadza funkcję *kierunku i natężenia* siły, jaka działałaby na niewielkie naelektryzowane ciało umieszczone w danym punkcie. W sumie jest to równoważne używanej dziś funkcji indukcji elektrycznej, określonej jako $F_{el} = eD$. (Maxwell nie stosuje notacji wektorowej i zawsze wypisuje po kolei trzy składowe przestrzenne odpowiednich funkcji. Ja tłustym drukiem, dodając tu i ówdzie indeksy, zapisuję stosowane dziś powszechnie, a odpowiadające ściśle jego zapisowi, funkcje wektorowe. Używam zwykle współczesnej terminologii, choć czasem tłumaczę dosłownie wyrażenia stosowane przez Maxwella).

Dalej pojawiają się podobne, tym razem bardzo lakoniczne, rozważania na temat zjawisk magnetostatycznych. Znowu przestrzeń zostaje wypełniona nieściśliwą cieczą, tyle że ponieważ bieguny magnetyczne zawsze występują parami, to Maxwell przedstawia magnes jako rurkę, przez którą ciecz jest przepompowywana i w rezultacie nieustannie wypływa jednym końcem, a wpływa drugim. Jeśli w strumieniu takiej cieczy, jak czytamy w dalszych partiach tekstu, znajdzie się południowy biegun magnesu o „masie magnetycznej” m , to działać będzie na niego siła $F_{mgt} = mB^{34}$.

Po raz trzeci przestrzeń zostaje wypełniona cieczą, gdy mowa o zamkniętych prądach elektrycznych. Tym razem siły powodujące jej nieustanny ruch wytwarzane są przez chemiczne procesy zachodzące w ogniwach.

Wreszcie Maxwell przechodzi do rozważań nad siłami, jakimi działają na siebie przewodniki z prądem. Wizjonersko zauważa, że dotychczasowe prace

³⁴ James C. Maxwell, „On Faraday's Lines of Force”, 1855–56; w: *Scientific Papers...*, t. 1, s. 202. W tym miejscu tekstu zamiast indukcji magnetycznej, jak w moim zapisie, występuje gradient „potencjału” lub „napięcia magnetycznego”, którego brak we współczesnych wykładach elektrodynamiki. We współczesnych wykładach nie ma też mowy o „masie magnetycznej”.

dotyczyły tylko prądów zamkniętych. Eksperymentalne odkrycia Ørsted'a i Ampère'a opisane zostają teraz tak, że linie sił magnetycznych wytworzonych przez prąd tworzą wokół niego linie zamknięte. Ale nie towarzyszą już temu rozważania na temat strumieni nieściśliwej cieczy płynącej wokół prądów.

Takie hydrodynamiczne rozważania tym bardziej nikną, gdy Maxwell przechodzi do omawiania odkryć Faradaya dotyczących prądów indukcyjnych. Jak przyznaje:

Idea stanu elektrotonicznego nie pojawiła się w moim umyśle w takiej formie, bym jej naturę i własności mógł jasno wyjaśnić bez odwołania się do zwykłych symboli, i dlatego proponuję, by w poniższych dociekaniach używać symboli swobodnie i przyjąć za oczywiste zwykle matematyczne operacje³⁵.

Omówione dotąd rozważania z Części I artykułu miały charakter jakościowy. W Części II Maxwell, zgodnie z cytowaną przed chwilą uwagą, ujmuje ich rezultaty w formę matematyczną. W gąszczu wzorów, jakie się pojawiają, oko dzisiejszego fizyka wyłowi najpierw formułę zapisywaną obecnie w postaci $\mathbf{j} = \text{rot } \mathbf{H}$ (mówiąc jakościowo: prąd elektryczny otoczony jest przez zamknięte linie sił magnetycznych), czemu towarzyszy uwaga, że formuła ta obowiązuje tylko dla prądów zamkniętych, gdy $\text{div } \mathbf{j} = 0$ ³⁶. Jak już powiedziano, Maxwell wyprowadza te formuły, uogólniając wyniki eksperymentów opisanych w kategoriach linii sił. (Funkcję natężenia pola magnetycznego $\mathbf{H}$ wiąże ze zdefiniowaną wyżej funkcją indukcji magnetycznej $\mathbf{B}$ równanie $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$, gdzie μ – współczynnik przenikalności magnetycznej danej substancji).

Dalej mamy kilka stron rozważań czysto matematycznych, dotyczących równań z – rozpiszowanymi na poszczególne składowe – operatorami noszącymi dziś nazwy „gradient”, „dywergencja” i „rotacja”. Po czym występujące w nich zmienne zostają zinterpretowane jako „ilość magnetyczna”, „natężenie magnetyczne”, „potencjał magnetyczny”, „ilość prądów elektrycznych”, „siły elektromotoryczne”, „funkcja elektrotoniczna” i inne. Choć takich terminów dziś się w elektrodynamice nie używa, to wkrótce pojawia się równanie $4\pi \mathbf{E} = \partial \mathbf{A} / \partial t$, co w koniunkcji z zapisanym wcześniej równaniem $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$ prowadzi natychmiast do bardziej dziś znanego $4\pi \text{rot } \mathbf{E} = \partial \mathbf{B} / \partial t$ (jakościowo: zmienne pole magnetyczne wytwarza wirowe pole elektryczne). Znow przy wyprowadzaniu tych równań nie ma ani słowa o mechanicznych modelach ruchów nieściśliwej cieczy, zostają natomiast wykorzystane wyniki eksperymentalnych badań Faradaya. (Funkcję natężenia pola elektrycznego $\mathbf{E}$ wiąże ze zdefiniowaną wyżej funkcją indukcji elektrycznej $\mathbf{D}$ równanie $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$, gdzie ϵ – współczynnik przenikalności elektrycznej danej substancji). Maxwell komentuje to w charakterystyczny sposób: „Ta repre-

³⁵ Tamże, s. 187–188.

³⁶ Tamże, s. 194–195.

zentacja nie wiąże się z żadną teorią fizyczną, jest to jedynie pewnego rodzaju sztuczny zapis”³⁷.

Zaraz dalej formułuje I Prawo, które w koniunkcji z przytoczonym na tę okazję twierdzeniem o charakterze analitycznym prowadzi do wniosku: „przez każde dwie powierzchnie ograniczone tą samą krzywą zamkniętą przenika ta sama ilość indukcji magnetycznej”³⁸ – co w przedstawionym aparacie matematycznym wyraża się w postaci równania $\text{div } \mathbf{B} = 0$. Wyrażnie Maxwell takowego nie zapisał (choć pojawiło się ono we wspomnianej części matematycznej jako formuła niezinterpretowana), ale wynika ono natychmiast z przytoczonego już $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$.

Mamy więc w „On Faraday’s Lines of Force”, z dokładnością do stałych zależnych od wyboru układu jednostek, szereg z równań wymienianych dziś wśród równań Maxwella. Są jednak rozproszone w tekście i ukryte wśród innych formuł. Czy uzyskane wyniki na tym etapie miały charakter rewolucyjny? Maxwell ani przez chwilę tak nie sądził, jednak z perspektywy późniejszego rozwoju wydarzeń ciśnie się na usta odpowiedź: i tak, i nie. Wiąże się to z pytaniem, czy formuły $\mathbf{F}_{el} = e\mathbf{E}$ i $\mathbf{F}_{mgt} = m\mathbf{B}$ należy traktować jako definicje? Jeśli tak, to od przytoczonych równań można natychmiast wrócić do ustalonych wcześniej eksperymentalnie praw oddziaływań między magnesami i prądami, a także indukowania prądów, wyrażonych w terminach sił działających na odległość. Wtedy równania, jakie można znaleźć w tekście, mają charakter Fleckowskich biernych rezultatów.

Problem w tym, że dla Maxwella nie były to czyste definicje, ale funkcje związane jakoś ze stanem niewidzialnego ośrodka przenoszącego oddziaływanie od punktu do punktu. Jego dociekania nabrały – gdy patrzymy na uzyskane przezeń wyniki z dzisiejszego punktu widzenia – charakteru rewolucyjnego w wyniku porażki, jaką poniósł: nie udało mu się zbudować choćby *quasi*-mechanicznego modelu ośrodka przenoszącego siły między prądami elektrycznymi a magnesami, między jednym prądem a drugim, a wreszcie jakoś tłumaczącego powstawanie prądów indukcyjnych. Ale nim ten temat rozwinę, przyjrzyjmy się jego późniejszym dociekanom.

c) Maxwell o fizycznych liniach sił

Części I i II „On Physical Lines of Force” ukazały się w 1861 r. Rozważania w nich zawarte wydają się oparte na *hipotezie* – Maxwell sam używa takiego określenia – wirów molekularnych, która ma pozwolić na

[...] rozpatrzenie zjawisk magnetycznych z mechanicznego punktu widzenia i ustalenie, jakie napięcia w pewnym ośrodku i przebiegające w nim ruchy zdolne są do wytworzenia obserwowanych zjawisk mechanicznych. Jeśli, za pomocą tej samej hipotezy, zdołamy połączyć zjawi-

³⁷ Tamże, s. 205.

³⁸ Tamże, s. 206.

ska przyciągania magnetycznego ze zjawiskami elektromagnetycznymi i związanymi z prądami indukcyjnymi, to znajdziemy teorię, która, nawet jeśli nie jest prawdziwa, to można jej błędności dowieść jedynie na podstawie eksperymentów, które ogromnie powiększą naszą wiedzę o tej części fizyki³⁹.

Następnie Maxwell przechodzi do jakościowej charakterystyki modelu, w którym przekazujący oddziaływania elektromagnetyczne ośrodek przedstawiony jest jako ciało stałe. Pisze o nim: „Substancja wytwarzająca te efekty może stanowić pewną część materii zwykłej albo może być powiązanym z materią eterem”⁴⁰. Załączony w tekście rysunek przedstawia mechaniczną budowę eteru (dla prostoty ograniczę się do tego określenia) jedynie w dwuwymiarowym przekroju i do tego przekroju odnoszą się zawarte w tekście opisy słowne. Brak natomiast objaśnień, jak to wszystko miałoby wyglądać w trzech wymiarach.

Eter podzielony jest na sześciokąty – „wiry” – ułożone podobnie jak komórki w plastrze miodu, oddzielone pojedynczymi warstwami kulek. Mechanicznie takie sześciokąty wirować by nie mogły, ponieważ jednak z wyglądu przypominają kółka, Maxwell im na to pozwala. Gdy dany sześciokąt wiruje, przylegające do niego kulki albo też wirują (jeśli dany obszar znajduje się w obrębie dielektryka), albo przemieszczają się (jeśli w tym miejscu jest ciało doświadczane przez nas jako przewodnik), w obu przypadkach dzieje się to bez poślizgu. Ruch wirowy kulek przekazuje obrót danego wiru kolejnym wirom, które zaczynają się obracać w tym samym co ów wir kierunku; ruch posuwisty kulek wprawia sąsiadujące z nimi po obu stronach wiry w obroty o przeciwnych kierunkach (które kolejne warstwy kulek przekazują dalej). Gęstość materii wirów wiąże Maxwell z przenikalnością magnetyczną danej substancji, prędkości ich obrotów na obwodzie z „natężeniem sił magnetycznych”, zaś osie obrotu mają się pokrywać z kierunkami działania tych sił. Wirom przypisuje dodatni, a oddzielającym je kulkom ujemny ładunek elektryczny.

W Części I, zatytułowanej „Teoria wirów molekularnych zastosowana do zjawisk magnetycznych”, Maxwell nie wspomina o warstwach kulek przekazujących ruch obrotowy między wirami. Natomiast z ogólnych rozważań na temat nacisków i naprężeń powstających w wirach wyprowadza znane mu już równania, które w przyjętej dziś notacji zapiszemy jako $\text{div } \mathbf{B} = 4\pi\rho_m$, gdzie ρ_m to gęstość „wymagowanej materii magnetycznej”⁴¹. Dziwny to zapis, bo przecież Maxwell wiedział już, że materia magnetyczna nie istnieje, wszystkie linie sił magnetycznych są zamknięte, czyli że $\text{div } \mathbf{B} = 0$. Niemniej powyższy wzór nadawał się do matematycznego opisu lokalnych oddziaływań między biegunami magnesów, w szczególności wynikało z niego prawo ustalone eksperymentalnie przez

³⁹ *Scientific Papers...*, s. 452.

⁴⁰ Tamże, s. 485.

⁴¹ Tamże, s. 459, wzór (6).

Coulomba, iż bieguny magnesów przyciągają się bądź odpychają siłą odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między nimi⁴².

Dalej znajdujemy wyprowadzone kilka lat wcześniej równanie $\text{rot } \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{j}$ ⁴³. (Różnica stałych bierze się z przyjęcia innego układu jednostek).

W Części II, „Teoria wirów molekularnych zastosowana do prądów elektrycznych”, do modelu wirów Maxwell dodał warstwy kulek między nimi. Powtarza tam, jako równanie (33), $\text{rot } \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{j}$ ⁴⁴, a także ogłoszone już w 1856 r. równania $\text{rot } \mathbf{E} = \partial\mathbf{B}/\partial t$ i $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$ ⁴⁵, dodając do nich $\text{div } \mathbf{B} = 4\pi\rho_m = 0$ ⁴⁶.

Powstaje tu kluczowe pytanie: jaką rolę w dociekaniach Maxwella odegrał model wirów molekularnych? Pewne wyprowadzenia wzorów dokonywane są z – nie do końca jasnymi – odwołaniami do modelu i przy wykorzystaniu zasady zachowania energii. Szczegółowa analiza tego wszystkiego byłaby wielce skomplikowana. Jedno jest jasne: w Części I i II artykułu Maxwell nie uzyskał równań elektrodynamiki innych niż te, jakie znaleźć można w „On Faraday’s Lines of Force”. Wszystko wskazuje więc na to, że twórczej roli model wirów nie odegrał: Maxwell usiłował skonstruować go tak, aby – mieszając rozważania jakościowe z matematycznymi – uzyskać równania znane mu wcześniej.

Nowość o rewolucyjnym znaczeniu pojawia się w Części III „On Physical Lines of Force”, „Teoria wirów molekularnych zastosowana do elektryczności statycznej”, ogłoszonej w kolejnym, 1862 roku. Zaczyna się wszystko od tego, że Maxwell czyni materię wirów elastyczną. Zgodnie z jego deklaracjami, zawartymi w tytule, chodziło o włączenie do zakresu rozważań zjawisk elektrostatycznych. Obraz jest taki, że tam, gdzie obserwujemy ciała naelektryzowane, kulek rozdzielających wiry jest mniej lub więcej niż w obszarach nienaelektryzowanych, a że kulki nie ślizgają się po powierzchniach wirów, to towarzyszy temu sprężysta deformacja ośrodka. Taka deformacja jest trwała w obszarze dielektryka, gdy natomiast w danym miejscu znajdzie się przewodnik i kulki mogą się poruszać, sprężyste napięcia powodują przepływ prądu.

Matematycznie Maxwell najpierw zapisuje wzór wiążący przesunięcie kulek h z położenia równowagi z „siłą elektromotoryczną” E (dziś powiemy: z natężeniem pola elektrycznego) i „współczynnikiem zależnym od natury dielektryka” (dziś powiemy: ze współczynnikiem przenikalności elektrycznej) ϵ : $E = -4\pi\epsilon^2 h$. Gdy następuje przemieszczenie, płynie lokalny prąd elektryczny o natężeniu $\partial h/\partial t$ ⁴⁷. Później następują matematyczne analizy reakcji sprężystych sfer wystawionych

⁴² Maxwell przytacza te wzory na s. 465.

⁴³ Tamże, s. 462, wzór (9).

⁴⁴ Tamże, s. 471, wzory (33) i (34).

⁴⁵ Tamże, s. 475–476, wzory (54), (55) i (56).

⁴⁶ Ten wzór na s. 482 opatruje uwagę „przy braku swobodnego magnetyzmu”, co zdaje się świadczyć o tym, że wciąż dopuszczał istnienie monopoli magnetycznych.

⁴⁷ Tamże, s. 491. Oczywiście $\partial h/\partial t = 4\pi\epsilon \partial E/\partial t$. Tu i zaraz dalej zmieniam symbole na te używane obecnie.

na działanie sił prostopadłych i stycznych do ich powierzchni, w zależności od współczynników ich ściśliwości i sztywności. Uzyskane równania nie zostaną jednak dalej wykorzystane; pod koniec autor powtarza jedynie wzory przytoczone przed chwilą. Po czym, bez żadnych wstępów i bez fanfar – których można by oczekiwać z uwagi na dalszy rozwój wydarzeń – w Tw. XIV Maxwell formułuje polecenie: „Poprawić równanie (9)⁴⁸ dla prądów elektrycznych o efekt wywołany elastycznością ośrodka”. I zapisuje, jako równanie (112), $4\pi\mathbf{j} = \text{rot } \mathbf{H} - (1/\epsilon^2) \partial \mathbf{E}/\partial t$.

Bezpośrednio dalej oblicza dywergencję obu stron tego równania i zapisuje równanie ciągłości – czyli prawo zachowania ładunku – (113): $\text{div } \mathbf{j} + \partial \rho/\partial t = 0$ (ρ to „ilość wolnej elektryczności w jednostce objętości”, czyli dzisiejsza gęstość ładunku). Po czym różniczkuje (112) po x , y i z , wynik podstawia do (113), całkuje po czasie i uzyskuje (115): $4\pi\epsilon^2\rho = \text{div } \mathbf{E}$. Stąd po prostych przekształceniach, przeplatanych rozważaniami na temat elastyczności ośrodka, wyprowadza prawo Coulomba dla sił między ładunkami $F = -\epsilon^2 q_1 q_2 / r^2$.

W ten sposób jako (112) i (115) pojawiły się oba równania, jakich w stosunku do artykułu z lat 1855–56 brakowało do kompletu równań elektrodynamiki⁴⁹. Jak przebiegały dociekania Maxwella – jakie myśli kolejno powstawały w jego mózgu – nigdy się nie dowiemy (nawet on sam zapewne tego nie pamiętał). Ale jedno jest oczywiste. Maxwell znał prawo zachowania ładunku (113), potwierdzone eksperymentalnie przez Faradaya i innych. Znał też, rzecz jasna, prawo Coulomba, matematycznie równoważne, przy przyjętej jeszcze w 1855 r. definicji $\mathbf{E}$ (i prostej empirycznej konstatacji, że przy braku swobodnych ładunków siły elektryczne nie działają) równaniu (115). Wiedział też od 1855 r., że dla prądów zamkniętych $4\pi\mathbf{j} = \text{rot } \mathbf{H}$. Stąd, w koniunkcji z (113) i (115), dla zjawisk z udziałem prądów otwartych wynika (112)⁵⁰.

Później Maxwell wraca do rozważań mechanicznych. W ośrodku sprężystym mogą powstawać fale, zarówno poprzeczne, jak i podłużne. Prędkość rozchodzenia się tych pierwszych określona jest wzorem $v = \sqrt{k/\rho}$, gdzie k – współczynnik sprężystości na odkształcenia, ρ – gęstość masy. Gęstość masy odpowiada przenikalności magnetycznej substancji, a współczynnik sprężystości to w doświadczeniu współczynnik przenikalności elektrycznej. Podstawiając dane z pomiarów elektrostatycznych i magnetostatycznych, Maxwell mógł obliczyć, że $v = 310\,740$ km/s.

Prędkość poprzecznych falowań w naszym hipotetycznym ośrodku, obliczona na podstawie elektromagnetycznych eksperymentów panów Kohlrauscha i Webera, tak dokładnie zgadza się z prędkością światła obliczoną na podstawie optycznych eksperymentów p. Fizeau, że trudno

⁴⁸ Chodzi o równanie $4\pi\mathbf{j} = \text{rot } \mathbf{H}$.

⁴⁹ Ten komplet to – dla próżni i z dokładnością do stałych zależnych od wyboru jednostek – $\text{div } \mathbf{E} = 4\pi\rho$, $\text{div } \mathbf{H} = 0$, $\text{c rot } \mathbf{E} = -\partial \mathbf{H}/\partial t$, $\text{c rot } \mathbf{H} = \partial \mathbf{E}/\partial t + 4\pi\mathbf{j}$.

⁵⁰ Wyprowadzenie jest proste. Jeśli z obu stron równania z przyp. 48 obliczymy dywergencję, to czysto analitycznie otrzymujemy $\text{div } \mathbf{j} = 0$. Brakuje więc w tym równaniu członu X takiego, że $\text{div } X = \partial \rho/\partial t$. Na mocy (115) $X = \partial \mathbf{E}/\partial t$.

nam uniknąć wniosku, że światło polega na poprzecznych drganiach tego samego ośrodka, który jest przyczyną zjawisk elektrycznych i magnetycznych⁵¹.

I oto mamy kolejne odkrycie, które w rewolucyjny sposób zmieniło fizyczny obraz świata (Maxwell pomija jednak milczeniem ważny wówczas problem: dlaczego w eterze światłonośnym nie powstają, obok fal poprzecznych, fale podłużne?).

Część IV „On Physical Lines of Force”, „Teoria wirów molekularnych zastosowana do działania magnetyzmu na światło spolaryzowane”, nie zawiera wyników ważnych dla obecnych rozważań.

d) Maxwell o dynamicznej teorii pola elektromagnetycznego

W artykułach z lat 1855–56 i 1861–62 można znaleźć komplet równań Maxwella; są one jednak rozproszone w tekście, a zapisane przy użyciu niekonsekwentnie stosowanych zmiennych. W trzecim artykule „A Dynamical Theory of Electromagnetic Field” (1864) podjęta zostaje pierwsza próba uporządkowania uzyskanych wyników. Znowu Maxwell rozpoczyna rozważania od deklaracji, że – wbrew teoriom W. Webera i C. Neumanna – będzie traktował zjawiska elektromagnetyczne jako powodowane przez podległe prawom mechaniki procesy zachodzące w niewidzialnym ośrodku. Ponieważ, jak stwierdza, światło i promienie podczerwone przechodzą przez rurki próżniowe równie dobrze jak przez powietrze – a już wie, że światło jest falą elektromagnetyczną – to konsekwentnie ośrodek ów określa mianem „substancji eterycznej”.

Eter wypełnia całą przestrzeń, przenika też „materię ważką”, ma gęstość masy małą, ale niezerową. W tym artykule Maxwell nie proponuje jednak żadnego konkretnego modelu eteru, niczego na podobieństwo nieściśliwych cieczy z „On Faraday’s Lines of Force” czy wirów molekularnych z „On Physical Lines of Force”. Zamiast tego dokonuje podsumowania uzyskanych tam wyników matematycznych i formułuje Ogólne Równania Pola Elektromagnetycznego. „Wszystkich tych równań jest dwadzieścia, zawierających dwadzieścia zmiennych”⁵². Wyprowadza z nich wyrażenia na energię pola, zależną od jego polaryzacji magnetycznej i elektrycznej w poszczególnych punktach, a także wzory na siły działające na poruszający się w polu przewodnik z prądem elektrycznym, na bieguny magnesów i na ciała naelektryzowane. A wreszcie wykazuje, że zaburzenie magnetyczne rozchodzące się w ośrodku nieprzewodzącym może być jedynie poprzeczne do kierunku jego rozchodzenia się.

Kolejną próbą syntezy był monumentalny, podzielony na 866 numerowanych kolejno paragrafów, *A Treatise on Electricity and Magnetism* (1873). Maxwell znowu stwierdza, że wyjaśniał w nim zjawiska elektromagnetyczne „przez mecha-

⁵¹ Tamże, s. 500.

⁵² „A Dynamical Theory...”, Część I, § 18, w: *Scientific Papers...*, s. 534.

niczne działanie przekazywane od ciała do ciała za pośrednictwem ośrodka wypełniającego przestrzeń między nimi”⁵³. Stosuje też, gdzie tylko może, do opisu zjawisk elektromagnetycznych równania Lagrange’a. Cały czas traktuje więc mechanikę klasyczną jako teorię podstawową. Do końca życia (zmarł na raka w 1879 r.) nie zdawał sobie sprawy z tego, że zapoczątkował w fizyce wielką rewolucję, a stworzona przez niego elektrodynamika jest teorią podstawową, nieredukowalną do mechaniki.

e) Przystwojenie elektrodynamiki Maxwella przez kolektyw myślowy fizyków

Niezależnie od tego, jak status teorii oceniał jej twórca, samo sformułowanie równań czy towarzyszących im poglądowych wyobrażeń nie wystarczy. Nauka to z istoty działalność wspólnotowa, trzeba więc, by dane osiągnięcie zostało przyswojone przez grupę zasadniczą ezoterycznego kręgu odpowiedniego kolektywu myślowego – a tym samym trafiło do podręczników⁵⁴. Na to zaś teoria Maxwella musiała poczekać trzy dziesięciolecia. Jeszcze w przeglądowej książce Hoppego z 1884 r. nie została nawet wspomniana⁵⁵! Jej przyswojeniu stanęła zapewne na przeszkodzie niesłychana zawilgość matematyczna prac Maxwella, a początkowo też brak sukcesów empirycznych, które by wykazały jej wyższość nad dość licznymi w tym czasie teoriami konkurencyjnymi. (Wielkość c , równa w granicach błędów doświadczalnych prędkości światła, pojawiła się wcześniej w teorii Webera – tyle że ta zbieżność została przez Webera i jego zwolenników zignorowana).

Jeszcze w latach 70. XIX w. prace Maxwella uważnie studiował Hermann Helmholtz, który skrytykował teorię Webera, a następnie sformułował teorię łączącą idee sił działających na odległość z wyobrażeniem eteru, który siły te modyfikuje. W tym samym czasie koncepcje Maxwella poparł Ludwig Boltzmann, który zmierzył eksperymentalnie współczynniki przenikalności elektrycznej i współczynniki załamania szeregu substancji i wykazał, że uzyskane wyniki potwierdzają Maxwellowską elektrodynamikę.

W 1884 r. Heinrich Hertz, jeszcze wówczas nie przekonany o słuszności teorii Maxwella, zapisuje jego równania dla próżni, tzn. gdy $\text{div } \mathbf{E} = 0$ i $\text{div } \mathbf{H} = 0$, w postaci, która w dzisiejszym zapisie wektorowym ma postać: $\partial \mathbf{H} / \partial t = -c \text{rot } \mathbf{E}$ oraz $\partial \mathbf{E} / \partial t = c \text{rot } \mathbf{H}$. W tym samym roku John Poynting rozwija matematyczne ujęcie strumienia energii pola elektromagnetycznego. Rok później Oliver Heaviside wprowadza notację wektorową i zapisuje równania Maxwella w posta-

⁵³ James Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press 1973, § 781.

⁵⁴ Ludwik Fleck, *Powstanie i rozwój...*, rozdz. IV. 4.

⁵⁵ Edmund Hoppe, *Geschichte der Elektrizität*, J.A. Barth 1884; informacja z: Andrzej Kajetan Wróblewski, *Historia fizyki*, WN PWN 2007, rozdz. 13. 3.

ci takiej, jaką używamy po dziś dzień (choć brak u niego $\text{div } D = 4\pi\rho$). Te prace nadały Maxwellskiej elektrodynamice postać przejrzystą i dostarczyły wzorcowych przykładów jej zastosowań.

Jeśli chodzi o prace eksperymentalne, to przełomową rolę odegrało wytworzenie i odebranie przez Herta w 1886 r. fal radiowych. Od tej pory nastąpiły masowe w gronie fizyków „nawrócenia” na teorię Maxwella, a w rezultacie mnożyły się prace, w których znajdowała ona kolejne udane zastosowania eksperymentalne, zaś rozwój matematycznych technik rozwiązywania równań wytyczał drogi do kolejnych badań.

Po odkryciu fal radiowych Hertz nie tylko przyjął teorię Maxwella, ale za udowodnione uznał też istnienie eteru:

Czym jest światło? Od czasów Younga i Fresnela wiemy, że jest ruchem falowym. Znamy prędkość fal, znamy ich długość, wiemy, że są poprzeczne [...]. W tych rzeczach wątpliwości już nie są możliwe, obalenie tych poglądów jest nie do pomyślenia dla fizyka. Teoria falowa światła ze stanowiska ludzkiego jest pewnikiem; to, co z niej jako wniosek konieczny wypływa, jest również pewnikiem. Zatem jest też pewnym, że cała nam znana przestrzeń nie jest pusta, lecz napełniona substancją, w której mogą biec fale – eterem⁵⁶.

Hendrik A. Lorentz w swym doktoracie z 1875 r. wykazał, że jeśli eter pojmujemy jako ciało stałe podległe prawom mechaniki, to trzeba uznać, że oprócz fal poprzecznych powstają w nim fale podłużne – a takich w eksperymentach nie spotykamy. Już wtedy posługiwał się teorią Maxwella. W latach 90. XIX w. rozwinął jej „elektronową” wersję. Nadal trwał przy wyobrażeniu o eterze, który pośredniczy w oddziaływaniach elektromagnetycznych. W 1902 r. zapisał:

Elektron w otaczającym go eterze wytwarza pewne zmiany stanu [...]. W tych zmianach stanu eteru tkwi istota oddziaływań elektronu na sąsiednie cząstki. Zmiany te są wyrazem tego, co dzieje się w eterze dokoła ciał naelektryzowanych i magnesów⁵⁷.

Na czym „pewne zmiany” w eterze polegają, Lorentz nie wyjaśnia. Faktycznie w jego teorii eter funkcjonuje po prostu jako przestrzeń obdarzona własnościami fizycznymi.

Zapoczątkowaną przez Maxwella rewolucję w fizyce zakończył Albert Einstein, gdy w 1905 r. stwierdził:

Wprowadzenie „eteru świetlnego” okazuje się zbyteczne, gdyż przedstawiony tu pogląd nie wymaga ani istnienia „przestrzeni w absolutnym spoczynku”, obdarzonej szczególnymi właściwościami, ani przypisania wektora prędkości punktowi w pustej przestrzeni, gdzie zachodzą procesy elektromagnetyczne⁵⁸.

⁵⁶ Odczyt 20 września 1889 r., za *Dzieje rozwoju fizyki w zarysach*, M. Grotowski i in. (red.), Mathesis Polska 1931, t. 2, s. 320.

⁵⁷ Hendrik Antoon Lorentz, *Poglądy i teorie fizyki współczesnej (ruchy widoczne i niewidoczne)*, tłum. S. Tołłoczko, Warszawa 1905.

⁵⁸ Albert Einstein, „O elektrodynamice ciał w ruchu”, tłum. P. Amsterdamski, w: tenże, *5 prac, które zmieniły oblicze fizyki*, Wydawnictwo UW 2008, s. 122.

W ten sposób z teorii Maxwella znikł eter, a zostały same równania matematyczne, traktowane odtąd jako podstawowe.

W pierwszych latach XX w. Joseph Larmor, Lorentz, Henri Poincaré, a wreszcie Einstein wyprowadzili z równań Maxwella transformacje czasu i przestrzeni, zachowujące ich niezmienniczość w różnych układach inercjalnych. To jest jednak temat na inny artykuł. -

5. Wnioski

Opowiedziana tu historia do Kuhnowskiego schematu rewolucji naukowych nie pasuje zupełnie. Eksperymentalnych odkryć Ørsteda, Ampère'a czy Faradaya, które w narodzinach elektrodynamiki odegrały kluczową rolę, nie sposób uznać za *anomalie*: nie gwałciły one żadnych wcześniejszych oczekiwań, bo takowych nie było. Nie ma też w tekstach Maxwella żadnych uwag świadczących o tym, by go te odkrycia jakoś niepokoiły. Brak w tej historii oznak *kryzysu*: ani Maxwell, ani inni członkowie jego wspólnoty naukowej nie wydają się udręczeni upartymi niepowodzeniami w stosowaniu mechaniki klasycznej do zjawisk elektromagnetycznych. Wreszcie dociekań Maxwella nie sposób uznać za *nadzwyczajne*: nie tylko nie szukał on *nowego* paradygmatu, ale z uporem starał się wtłoczyć zjawiska elektromagnetyczne w ramy *starego*, mechanicystycznego obrazu świata. Umierając, nie sądził, że zapoczątkował globalną rewolucję w fizyce, która parę dziesięcioleci później miała dogłębnie przeobrazić fizyczny obraz świata.

Cytowanej w § 2 opinii Kuhna, że rewolucyjne teorie są „wymyślane w całości”, historia odkrycia równań Maxwella też nie potwierdza. Wręcz przeciwnie, wyprowadzał on swoje równania jedno po drugim, w ciągu co najmniej 7 lat, a do śmierci nie nadał uzyskanym rezultatom całościowej postaci. Żaden pojedynczy badacz nie nadał jej postaci takiej, jaką znajdujemy we współczesnych podręcznikach. Proces akceptacji elektrodynamiki Maxwella – choć przedstawiony tu został nader skrótowo – też nie wygląda na Kuhnowską walkę między wspólnotami naukowymi. Raczej było tak, że nieliczni zrazu fizycy krok po kroku doskonalili matematyczną formę teorii, a także znajdowali jej nowe udane zastosowania. Po odkryciu fal radiowych liczba zwolenników teorii zaczęła gwałtownie rosnąć, by pod koniec XIX w. objąć już niemal całą wspólnotę fizyków.

A jak konfrontację z historią powstania elektrodynamiki Maxwella wytrzymuje teoria kolektywów myślowych i stylów myślowych Flecka? Na to pytanie trudniej odpowiedzieć, z uwagi na fragmentaryczność uwag autora *Powstania i rozwoju faktu naukowego* na temat tych zmian, którym Kuhn nadał miano rewolucji naukowych. Trochę jednak stwierdzić się da.

Po pierwsze, mamy tu przykład twórczej roli międzykolektywnej wymiany idei, o jakiej pisał Fleck. Maxwella inspirowały, zgodnie z jego deklaracjami,

prace Faradaya i W. Thomsona. Ten pierwszy jako samouk pozostawał w stosunku do kręgów ezoterycznych kolektywu myślowego fizyków I połowy XIX w. częściowym outsiderem: opanował wiedzę eksperymentalną, ale słabo znał panujące teorie. A Maxwell w analizowanych tu pracach korzystał z jego dorobku jako teoretyk. Thomson rozwinął teorię rozchodzenia się ciepła bez związku z mechaniką klasyczną. A Maxwell usiłował przenieść uzyskane przez niego wyniki na teren mechaniki ośrodków ciągłych. Oba wymienione wpływy były źródłem zasadniczej idei czynnej: przypisania poszczególnym punktom przestrzeni otaczającej ciała naelektryzowane, prądy elektryczne i magnesy pewnych własności fizycznych.

Po drugie, gdy już jednostka przyswoi sobie wypracowane kolektywnie elementy czynne, jej udziałem staje się, jak pisał Fleck, „akt stwierdzania”. Jednostka stwierdza więc, że wynik eksperymentu – oglądany z perspektywy danego stylu myślowego – jest taki a taki. Stwierdza też, że z założeń czynnych i wyników eksperymentów wynika to a to. W obu przypadkach mamy do czynienia z czymś niezależnym od woli jednostki: presja kolektywu z jednej, a „przyrody” z drugiej strony jest nie do odparcia. Gdy już Maxwell użył funkcji, zwanych dziś funkcjami natężeń pól elektrycznego i magnetycznego, definiowanych początkowo za pomocą sił, jakie działałyby na umieszczony w danym punkcie niewielki ładunek lub biegun niewielkiego magnesu, podzielonych przez wielkość ładunku lub masy magnetycznej, później krok po kroku wyciągał wnioski z tych definicji i wyników eksperymentów. Towarzyszyły temu wyobrażenia o eterze, które jednak twórczej roli przy wyprowadzaniu równań nie odegrały: nie były przesłankami, z których wyprowadzano równania, ale czymś dopasowywanym do równań znanych wcześniej.

Możemy więc, choć na podstawie tylko tego jednego przykładu z historii fizyki, stwierdzić, że *Kuhnowski obraz badań nadzwyczajnych, w trakcie których jednostki – psychicznie udręczone trwającym kryzysem – wykraczają poza swe społeczne uwarunkowania, jest iluzoryczny*. Maxwell nie wykraczał poza nabyty, mechanicystyczny styl myślowy, a w każdym razie nie zamierzał poza niego wykroczyć. Można by rzec, że nie tyle *wykroczył*, co *niechcący wykroczyło mu się*.

Nigdy nie zdał sobie z tego sprawy. Nie miał też szans na czysto analityczne odkrycie, że jego równania – już te z 1862 r. – nie są niezmiennicze względem transformacji Galileusza, zaś identyczną formę matematyczną w różnych inercjalnych układach odniesienia nadają im przekształcenia, zwane dziś transformacjami Lorentza, a stanowiące podstawę szczególnej teorii względności.

Nie zdawali sobie też z tego sprawy jego bezpośredni następcy. Jeśli mowa o elektrodynamicznej, a później relatywistycznej rewolucji w fizyce, to w duchu Flecka trzeba powiedzieć, że była ona wynikiem ciągu twórczych nieporozumień między fizykami. Dopiero kolektyw był w stanie wypracować, przyjmując wyniki Maxwella za punkt wyjścia rozważań, nowy styl myślenia. Choć do pierwszych

lat XX wieku żaden znaczący fizyk – do wyjątków należał Ernst Mach, który czynił to jednak z powodów filozoficznych, a nie naukowych – nie wątpił w istnienie eteru, to w latach 1862–1905 równania Maxwella znajdowały stopniowo nowe, udane zastosowania, a towarzyszące im słowa o eterze pozostawały puste. Wreszcie Einstein w 1905 r. stwierdził, iż eter jest w fizyce zbędny – co znaczyło m.in., że w równaniach Maxwella znajdują wyraz prawa przyrody podstawowe, nieredukowalne do mechaniki.

Nie tylko Maxwell nie rozumiał (i zrozumieć nie mógł), czego dokonał w fizyce, ale – zgodnie z uwagami zarówno Kuhna, jak i Flecka na ten temat – jego prace nie są rozumiane przez fizyków dzisiejszych. Typowy dziś podręcznik czy książka popularnonaukowa fałszują tę historię, przedstawiając dociekania Maxwella tak, jak gdyby wiedział on, co z uzyskanych przezeń rezultatów powstanie. Na zilustrowanie tej tezy nie ma tu już miejsca, zasługuje ona na oddzielny artykuł.

Wygląda więc na to, że przedstawiona powyżej historia powstania elektrodynamiki Maxwella i wyparcia przez nią mechaniki klasycznej nie zgadza się z uwagami Kuhna na temat mechanizmu rewolucji naukowych, wiele ma natomiast cech zgodnych z twierdzeniami Flecka. Trudno jednak rzetelnie odpowiedzieć na pytanie, na ile jest to zgodność życzeniowa, związana z lakonicznością uwag mikrobiologa ze Lwowa na temat zmian wiedzy naukowej jako całości. Sądzę, że nie znajdziemy ciekawej odpowiedzi na rodzące się tu wątpliwości, analizując z jednej strony to, „co Fleck chciał powiedzieć”, a z drugiej mnożąc przykłady historyczne. O wiele ciekawsze będą próby rozwinięcia idei Flecka – raczej niż idei Kuhna – w ciągłej konfrontacji z badaniami nad historią nauk.

Kuhn vs. Fleck and the Maxwellian Revolution in Electrodynamics

Key words: Fleck, Kuhn, J.C. Maxwell, scientific revolutions, thought collective, thought style, scientific community, paradigm, classical mechanics, electrodynamics, ether

Between the views of Fleck and Kuhn on the *nature* of scientific revolutions there are interesting similarities. According to both of them scientific knowledge is not the sum of individual achievements but the product of collective/communal efforts. Both stress that the styles of thinking/paradigms play an active role in cognition, shaping the way we perceive and think about phenomena – so theories do not fall as a result of a simple confrontation with the results of experiments. Both stress that the competitive styles of thinking/paradigms are incommensurate, so after the revolution you can not make a clear balance of gains and losses. But there are important differences between Fleck's and Kuhn's views on the *mechanism* of scientific revolutions. According to Kuhn, while after the period of success of the old paradigm important anomalies begin to accumulate, some of the young scientists get into a crisis and begin to conduct extraordinary research, and this sometimes leads to the formulation of a new paradigm. Fleck can see the source of theoretical innovations in the mixing of different styles of thinking in an individual mind, as well as in the conversion of the passive elements into active ones. In this paper an analysis of Maxwellian revolution in the theory of electricity and magnetism (as well as in optics) is offered. This revolution was not preceded by the emergence of important anomalies and crisis. Maxwell tried to think in accordance with the principles of classical mechanics, but supplemented them by the principle of conservation of energy and by the results of experiments of Ørsted, Ampère and Faraday. The role of the ladder, which was finally thrown away after it was climbed up it, played the quasi-mechanical models of the ether. Although Maxwell intended to develop a mechanical theory of electricity and magnetism, the equations he arrived at started to function as autonomous laws (passive results turned into active presuppositions). To sum up, the case studied falsify Kuhn's model of scientific revolutions while it seems to support at least some of Fleck's remarks.