

## MISCELLANEA.

### Jak Faraday odkrył wpływ dielektryku na przebieg indukcji.

Jesteśmy zwykle skłonni do mniemania, że myśl twórców nauki, odkrywców i wynalazców szła temi samemi torami, jakimi nas dziś prowadzą podręczniki, zapoznając z ich odkryciami. Pisma starych mistrzów zawierają pod tym względem niejedną dla nas niespodziankę. Tak np. na najczęściej stosowanym sposobie wyprowadzania pojęcia polaryzacji dielektrycznej ze stałej dielektrycznej opiera się ogólnie rozpowszechnione mniemanie, że Faraday wpierw, jakimś bliżej nieokreślonym sposobem, odkrył wpływ dielektryków na pojemność kondensatorów, a to odkrycie dopiero naprowadziło go na myśl teorii polaryzacji dielektrycznej i skłoniło do odrzucenia teorii działania na odległość. Tymczasem w rzeczywistości bieg rzeczy był zupełnie odwrotny. Na pomysł teorii polaryzacji naprowadziły Faraday'a fakty zgoła inne, o wiele mniej bezpośrednio związane z tą ideą, to też uzasadnienie teorii wymagało rozumowania o wiele subtelniejszego niż to, które znamy z podręczników. Istnienie stałej dielektrycznej było już konsekwencją powziętej koncepcji teoretycznej, a odkrycie jej—wynikiem świadomych i celowych poszukiwań.

Następujące ustępy, wyjęte z rozprawy Faraday'a o indukcji elektrostatycznej, \*) odtwarzają bieg jego myśli.

„1164. Skoro odkryłem fakt powszechny, że elektrolity, które dają się łatwo rozkładać w stanie ciekłym, w stanie stałym opierają się temu całkowicie — zdawało mi się, że znalazłem drogę, wiodącą do wejścia w naturę indukcji i do podporządkowania jednemu prawu wiele różnorodnych zjawisk. Przypuśćmy, że elektrolitem jest woda. Jeśli płytę lodową obłożyć po obu stronach blachą platynową i okładki te połączyć z nieustającym źródłem elektryczności lód zostanie nabyty na podobieństwo butelki lejdejskiej. Jest to zwykła indukcja, ale prąd żaden nie płynie. Gdy lód stopić, indukcja zmniejsza się do pewnego stopnia, gdyż prąd może już przechodzić, ale przepływanie jego zależy od szczególnego układu cząsteczek, który odpowiada przechodzeniu części składowych elektrolitu w dwóch kierunkach od-

\*) „Badań nad elektrycznością“ serja XI, tłumaczono z wyd. niemieckiego Ostwald's Klassiker № 126.



wrotnych, a stopień rozbrojenia jest ściśle proporcjonalny do ilości wydzielonych części składowych. W każdym razie występuje indukcja zwykła, gdy elektrolit jest stały, rozkład zaś chemiczny, gdy elektrolit jest ciekły—o ile jako przeskazy nie występują inne działania. Rzeczą bardzo ważną jest porównywanie ze sobą zjawisk w ich objawach krańcowych, to bowiem może nam ułatwić zrozumienie istoty działania wtedy, gdy jest ono słabe, gdyż ta istota jest dla nas, być może, dostatecznie jasną dopiero przy znacznym naładowaniu. Ponieważ zatem w elektrolicie indukcja zdaje się być pierwszą fazą—rozkład zaś drugą (przyczym mamy możność rozgraniczania tych faz, wytwa-  
rzając albo stan stały, albo ciekły); ponieważ indukcja ta jest tego samego rodzaju, co indukcja, wzbudzona zwykłymi środkami w powietrzu, szkłe, wosku, lub innych substancjach; ponieważ nadto cały przebieg w elektrolitach zdaje się polegać na działaniu cząsteczek, wprowadzonych w stan szczególny czyli spolaryzowany—przeto doszedłem do mniemania, że i sama indukcja zwykła jest w każdym razie działaniem cząsteczek przyległych i że działanie elektryczne na odległość (t. j. zwykle działanie indukcyjne) nie odbywa się nigdy inaczej, jak tylko przez wpływ pośredniczący substancji otaczającej.

1165. Mój szacunek dla Aepinusa, Cavendisha, Poissona i innych znakomitych mężów, których wszystkie teorje, o ile mi się zdaje, uważają indukcję za działanie na odległość wzdłuż linii prostych, długo powstrzymywał mnie od przyjęcia dopiero co wyłuszczonego zapatrywań; i choć długo szukałem sposobności dowiedzenia słuszności tych poglądów, choć od czasu do czasu wykonywałem doświadczenia, skierowane ku temu celowi, to jednak dopiero przed niedawnym czasem ogromna powszechność tego przedmiotu zmusiła mnie do rozszerzenia zakresu doświadczeń i do opublikowania swych poglądów. Mniemam obecnie, że indukcja, nie będąc działaniem cząstek lub mas na odległość, jest zawsze wynikiem działania cząstek przyległych i polega na pewnym rodzaju biegunowości. Jeśli ten pogląd jest słuszny, to stwierdzenie go musi wyrzucić wpływ olbrzymi na dalszy przebieg naszych badań nad istotą sił elektrycznych. Związek pomiędzy indukcją elektryczną a rozkładem chemicznym, a także pomiędzy wzbudzaniem prądów voltaicznych, a działaniem chemicznym; przenoszenie pierwiastków w elektrolitach, ostateczna przyczyna wszelkiego wzbudzania elektryczności; istota i pokrewieństwo przewodnictwa i izolacji, działań podłużnych i poprzecznych, wywieranych przez elektryczność i przez magnetyzm oraz wiele innych działań, dotychczas mniej lub więcej niezrozumiałych—wszystko to podległoby temu wpływowi i, być może, zostałoby całkowicie wytłumaczone przez podciągnięcie pod jedno prawo ogólne.

1166. Szukałem niedwuznacznego probierza trafności mego poglądu nie tylko w zgodności jego z faktami znanymi, ale i w tych konsekwencjach, które wypływają z niego, jeśli jest prawdziwy—w tych szczególnie, które nie są w zgodzie z teorją działania na odległość. Na taką konsekwencję zdawał się wskazywać kierunek indukcji. Jeśli ją można wywierać tylko w liniach prostych, przemawiałoby to, choć jeszcze nie decydująco, przeciw memu pogładowi; jeśliby jednak występowała wzdłuż linii krzywych to byłoby to naturalną konsekwencją działania cząsteczek przyległych, a nie dawałoby się zupełnie, o ile mi się zdaje, pogodzić z przyjmowanym przez obecne teorje, działaniem na odległość, które zgodnie ze wszystkimi znanymi nam faktami i analogjami, jest wywierane zawsze wzdłuż linii prostych.“



Zjawisko, w którym Faraday dopatrywał się potwierdzenia swego mniemania, polegało na wyginaniu się linii sił pola elektrycznego pod wpływem umieszczonego w nim przewodnika. Wnioskuje on o tym z tego np., że kulka wywiadowcza, umieszczona tuż poza krążkiem metalowym, zasłaniającym ją od naboju elektrycznego (naelektryzowana pałeczka szelaku), nie elektryzuje się wcale, a umieszczona o kilka cali dalej elektryzuje się widocznie; stąd wniosek że indukcja „zagina się na brzegach krążka“.\*) Linje sił pola, wywołanego przez nabój oddzielny, są proste; przez umieszczenie w polu przewodnika ulegają skrzywieniu, gdyż do sił, pochodzących od naboju pierwotnego dodają się siły od nabojów, wzbudzonych w przewodniku przez indukcję. To skrzywienie nie stoi więc w żadnej sprzeczności z prawem działania na odległość wzdłuż linii prostej, łączącej działające na siebie naboje. I Faraday nie byłby nigdy z tych doświadczeń wyciągnął argumentu na korzyść swojej teorii, gdyby ich odrazu nie interpretował w jej sensie; bo poszukując jakiegoś przestrzennego nieprzerwanego połączenia pomiędzy kulką wywiadowczą, a elektryzującą ją przez indukcję nabojem, tym samym zakładał już udział ośrodka w zjawisku indukcji. Sam sposób postawienia pytania, czy indukcja działa w liniach prostych, czy też wzdłuż krzywych, zawiera już w sobie przestawkę, która dopiero miała być dowiedziona.

Ten argument Faraday'a i związane z nim doświadczenia nie są więc przekonujące, historycznie są one ciekawe i bardzo ważne z tego względu, że tu po raz pierwszy spotykamy się z przeniesieniem pojęcia linii sił z dziedziny magnetyzmu do dziedziny elektryczności („linje indukcji“) oraz z traktowaniem tych linii jako istności fizycznych, obdarzonych pewnymi właściwościami fizycznymi (tendencja do kurczenia się w kierunku podłużnym a rozciągania w kierunkach poprzecznych); na tych wywodach Maxwell oparł następnie swoją teorię napięć w dielektryku.

Donioślejszy i płodniejszy w bezpośrednie następstwa był drugi argument Faraday'a:

„1167. Jeśli indukcja a również i pierwsza faza przy elektrolizie polega na działaniu cząsteczek przyległych, to usprawiedliwionym będzie przypuszczenie, że pomiędzy nią, a rozmaitemi substancjami, w których zachodzi, istnieje jakiś związek szczególnie i coś w rodzaju indukcji właściwej, różnej dla różnych ciał; gdyby tak było, to zależność indukcji od cząsteczek ciała byłaby stwierdzona niewątpliwie. Wprawdzie tego się nie przypuszcza nigdy w teoriach Poissona i innych, ale miałem powody do wątplenia o słuszności przyjętych poglądów i dlatego zużyłem wiele pracy, aby poddać ten przedmiot gruntownemu zbadaniu doświadczalnemu“...

„1252... Pytanie można postawić tak: przypuśćmy, że  $A$  jest płytą naelektryzowaną, zawieszoną w powietrzu,  $B$  i  $C$  są to dwie płyty zupełnie podobne, nieizolowane, umieszczone po obu stronach  $A$ , w odległościach jednakowych, równoległe do niej. Jeśli teraz, przy takim położeniu płyt, pomiędzy  $A$  i  $C$  umieścić inny ośrodek dielektryczny, niż powietrze, np. szelak,

\*) Obszerniejsze wyjątki z tej rozprawy Faraday'a, obejmujące także szczególnie doświadczenia, znajdzie czytelnik w zbiorze przekładów z dzieł znakomitych fizyków: „Z dziejów rozwoju fizyki“, których tom pierwszy ma wyjść z druku jeszcze w ciągu roku bieżącego.



czy indukcja pomiędzy niemi pozostanie nadal bez zmiany? Czy stosunek  $C$  i  $B$  do  $A$ , pomimo różności włączonych pomiędzy nie materji dielektrycznych będzie taki sam?"

Dla rozstrzygnięcia tego pytania Faraday zbudował dwa zupełnie podobne „przyrządy indukcyjne“, t. j. kondensatory, których okładka zewnętrzna składała się z dwóch półkul metalowych, a wewnętrzna z kuli metalowej, umieszczonej współśrodkowo z kulą zewnętrzną; dolna połowa przestrzeni pomiędzy kulami w jednym z przyrządów była wypełniona badaną materją dielektryczną; drugi przyrząd zawierał tylko powietrze. Nawiwszy jeden z kondensatorów do pewnego potencjału, mierzonego za pomocą wagi Coulomb'a, łączył okładki obu przyrządów i ponownie mierzył ich potencjał, ta ostatnia wielkość różniła się znacznie od połowy potencjału pierwotnego, a musiałaby przejąć tę wartość, gdyby, mówiąc językiem fizyki społecznej, pojemności obu kondensatorów były jednakowe. Stąd wniosek oczywisty, że rodzaj dielektryku wpływa widocznie na przebieg indukcji.

Terminologja, używana przez Faraday'a, jest jeszcze mętna i nieustalona; wskutek braku wyrobienia matematycznego, posługuje się on wyłącznie metodą rozumowania. To też wywody jego, dążące do ilościowego obliczenia stosunku „zdolności indukcyjnych“ wydają się na pierwszy rzut oka sztucznymi i niejasnymi; ale — rzecz to charakterystyczna dla wszystkich wnioskowań Faraday'a — wnioski jego są najzupełniej zgodne z wynikami analizy matematycznej; on myślał matematycznie, choć nie posiłkował się utartymi metodami i symbolami. Wartości liczbowe, jakie znalazł, różnią się coprawda dość znacznie od wartości, jakie nam dają społeczne, ulepszone metody.

Trzecim argumentem Faraday'a, o którym nawet mówi, że był pierwszym, który go skłonił „do uważania indukcji za działanie cząsteczek ciała, z których każda zawiera obie siły (elektryczności) w ilościach ściśle jednakowych“, — było „zupełne niepowodzenie wszystkich moich starań, aby przez nabicie niezależne substancji siłą dodatnią lub ujemną wykazać istnienie elektryczności, oddzielonej od materji“. Wynikałoby z tego, że Faraday uważał „elektryczność“ tylko za stan cząstek materji; ponieważ wszystkie cząstki zawierają obie „siły“ o jednakowej ilości, przeto działania tych sił mogą być dostrzegane tylko na powierzchni ciała, t. j. tam, gdzie styka się ono z inną materją o innych własnościach elektrycznych.

Najwybitniejszym z tych eksperymentów Faraday'owskich było słynne doświadczenie z klatką, wyklejoną z zewnątrz cynfolją i elektryzowaną; badacz, siedząc w tej klatce z czułymi przyrządami elektroskopowymi, nie mógł zauważyć najbliższego wpływu na te przyrządy, pomimo że klatka była elektryzowana tak silnie, że strzelały z niej snopy iskier. Doświadczenie to dowodzi właściwie tylko tego, że nabój elektryczny może pozostawać tylko na powierzchni przewodnika, lub, co wychodzi na to samo, że wewnątrz przewodnika potencjał jest stały (w stanie równowagi); jest to zresztą bezpośrednio konsekwencją prawa Coulomb'a, jest nawet uważane za najściślejszy jego dowód — ale Faraday wysnuwał stąd wnioski na korzyść swojej teorii, co dowodzi, jak dalece był nią przejęty, jak głęboko tkwiła w jego umyśle, jeśli wszystkie zjawiska wydawały mu się żywym jej świadectwem. Nurtowała go ona bardzo długo, zanim opanowała go zupełnie i stała się nicią przewodnią późniejszych jego badań.

Wielkość i zasługa Faraday'a polega nietylę na ścisłym dowodzie swych

poglądów — z trzech jego argumentów jeden tylko był bezpośrednio przekonujący — ile na śmiałym zwrocie przeciw teorjom panującym i pokazaniu zjawisk elektrycznych z nowej zupełnie strony, z jakiej przedstawiły się jego przenikliwemu duchowi. Odkrycie „indukcji właściwej“ przyczyniło się tylko do utrwalenia w nim przekonania o trafności dawno powziętych i długo hodowanych pomysłów. Dla innych nie przedstawiało dowodu przekonującego, czego dowodem powolność, z jaką teorje Faraday'a zdobywały sobie zwolenników — pomimo autorytetu, jaki mu przyznawano powszechnie w sprawach elektryczności. Experimentum crucis stanowiło dopiero odkrycie przez Hertza fal elektrycznych, których istnienie związane jest z rozchodzeniem się pól elektrycznych i magnetycznych z szybkością skończoną. Maxwell wykazał, że takie rozchodzenie się jest w sprzeczności z teorją bezpośredniego działania na odległość.