PROSTY SPOSÓB DEMONSTROWANIA DOŚWIADCZEŃ HERTZA ZE ZWIERCIADŁAMI.

PODAŁ

WIKTOR BIERNACKI.

Nie brak obecnie metod, przeznaczonych do demonstrowania własności promieni elektrycznych. Sposoby te jednak są albo mało demonstracyjnymi (np. sposób Hertza, Righi'ego), albo też wymagają takich środków pomocniczych, jakiemi nie każda pracownia fizyczna rozporządzać może (sposoby Zendera i Boltzmanna). Niech mi więc wolno będzie opisać opracowany przezemnie sposób, który pozwala demonstrować te doświadczenia nawet w obszernem audytoryum przy pomocy bardzo prostych środków.

Branly[1]) przed paru laty odkrył, że rurka napełniona opiłkami metalowemi, która w stanie normalnym posiada opór bardzo znaczny, zmniejsza go nadzwyczajnie pod wpływem wyładowania elektrycznego wahadłowego. Lodge[2]) zastosował taką rurkę (zwaną przez niego „coherer") do wykrywania wahań elektrycznych, a nawet do demonstrowania własności promieni elektrycznych. Sposób Lodge'a jest jednak dość niewygodny, gdyż wymaga złożonych przyrządów, wielkiej wprawy doświadczalnej, a pomimo to nie jest tak pouczający, jak doświadczenia w swej klasycznej postaci, nadanej im przez samego Hertza.

Podobną rurkę, wypełnioną opiłkami metalowemi, umieścić można wzdłuż linii ogniskowej „wtórnego" zwierciadła Hertza. Wówczas doświadczenia udają się doskonale ze zwierciadłami niewielkiemi, które łatwo przesuwać i ustawiać można, a nie wymagają złożonych przyrządów, lecz zaledwie środków najprostszych; jakie w najbiedniejszym nawet gabinecie

[1]) Branly, C. R. 111 p. 785, 1890.
[2]) Lodge, The work of Hertz.

fizycznym znaleść się dadzą. Doświadczenia te przeprowadzałem początkowo ze zwierciadłami parabolicznemi, walcowemi wklęsłemi o wysokości 90 cm., szerokości otworu 80 cm. i długości ogniskowej 12,5 cm. Na linii ogniskowej zwierciadła „pierwotnego" mieścił się „wibrator," urządzony dokładnie według wskazówek Hertza i wysyłający fale o długości mniej więcej 60 cm. Do wzbudzania wahań w wibratorze służyła cewka Rumkorffa, zasilana 2—3 ogniwami Bunsena lub akumulatorami. Na linii ogniskowej zwierciadła „wtórnego" mieściła się rurka szklana o długości 20 cm., średnicy wewnętrznej 0,5 do 0,75 cm., wypełniona niezbyt drobnemi opiłkami miedzianemi; końce jej za pomocą drutów izolowanych, przechodzących przez otwory w tylnej ścianie zwierciadła, były połączone w jeden obwód z 2 lub 3 ogniwami Bunsena (lub akumulatorami) i wielkim galwanometrem wykładowym lub nawet dzwonkiem elektrycznym. Przy zwyczajnym stanie rurki opór jej jest bardzo wielki, i strzałka galwanometru pozostaje niewychylona (dzwonek milczy). Lecz skoro na nią padną promienie elektryczne, opór jej zmniejsza się znacznie, i strzałka galwanometru odchyla się (dzwonek poczyna dźwięczyć). Lecz gdy tylko wstrząśniemy nawet dość słabo rurką, opór jej staje się znowu wielkim, i strzałka galwanometru powraca do położenia równowagi (dzwonek przestaje dźwięczyć). Dodać należy, że opiłki w rurce nie powinny być zbyt skupione, ponieważ w tym razie opór rurki jest wciąż nie dość wielki, strzałka galwanometru wciąż jest nieznacznie wychylona, i zmniejszenie oporu rurki pod wpływem wahań elektrycznych występuje nie dość wyraźnie. Prócz tego zwierciadło wtórne powinno być zawsze ustawiane tak, by jego linia ogniskowa, a więc i rurka z opiłkami pozostawała poziomą; w przeciwnym razie (przy pionowem ustawieniu rurki) opiłki wskutek wstrząsania skupiają się w jej dolnej części, i opisane działanie występuje w stopniu mniejszym. Wskutek tego, podczas przeprowadzania doświadczeń, położenie zwierciadła wtórnego pozostawało bez zmiany, a gdy należało zmienić względne położenie zwierciadeł, wówczas było odpowiednio przestawiane zwierciadło pierwotne, jak to widać z załączonych rysunków (Fig. 1—4), gdzie są przedstawione względne położenia zwierciadeł przy różnych doświadczeniach.

Przy niewielkiej odległości pomiędzy zwierciadłami wystrzegać się należy bezpośredniego działania promieni rozproszonych na druty łączące rurkę z ogniwami i z galwanometrem; należy je chronić, umieszczając za zwierciadłem, lub też zakrywając przegrodą z blachy metalowej. Przy dość znacznej odległości pomiędzy zwierciadłami (10 m. i więcej) działania takiego można się nie obawiać. Przy użyciu opisanych dość wielkich zwierciadeł rurka oddziaływa na wahania nawet mocno hamowane, jakie daje iskra pomiędzy zniszczonemi już kulkami wibratora, dzięki czemu unika się częstego a uciążliwego czyszczenia kulek. Nawet powiedzieć można, że doświadczenia wypadają wyraźniej, gdy kulki są niezbyt dobrze oczyszczone, gdyż wów-

czas w mniejszym stopniu występują owe niepożądane działania na druty, znajdujące się nazewnątrz zwierciadła.

Opisane większe zwierciadła (a takie polecić mogę prelegentom, nie zbyt wprawnym w przeprowadzaniu doświadczeń wykładowych) zastąpiłem następnie zwierciadłami o wymiarach znacznie mniejszych, mianowicie o wysokości 45 cm., szerokości otworu 30 cm. i długości ogniskowej 4 cm. Wibrator umieszczony w zwierciadle pierwotnem, został odpowiednio zmniejszony; na linii ogniskowej zwierciadła wtórnego osadziłem tę samą rurkę z opiłkami, która mi posłużyła do doświadczeń ze zwierciadłami większemi. Przy odległości pomiędzy zwierciadłami równej 4—5 m. doświadczenia udają się tak samo łatwo i wyraźnie. jak i ze zwierciadłami większemi, przy tych samych środkach pomocniczych. Należy jedynie dobrać odpowiednią iskrę w wibratorze pierwotnym i kulki jego czyścić starannie; można zresztą i tu uniknąć częstego czyszczenia kulek, jeżeli części kulek, wystawione na działanie iskry, pokryć platyną. Przy podanej niewielkiej odległości pomiędzy zwierciadłami należy już zwracać nieco baczniejszą uwagę na działania bezpośrednie promieni rozproszonych na druty, znajdujące się nazewnątrz zwierciadła wtórnego; dla uniknięcia tego niepożądanego działania dość pokryć te druty arkuszem blachy, jeżeli nie są one dostatecznie zakryte zbyt małem zwierciadłem.

Niewielkie te zwierciadła mogą być ustawione na jednym stole wraz z przyrządami do wykazania własności promieni cieplikowych i świetlnych: wówczas analogia pomiędzy wszystkiemi temi promieniami rzuca się w oczy najwyraźniej[1]).

Na załączonych rysunkach przedstawione są względne położenia zwierciadeł przy różnych doświadczeniach; a więc Fig. 1 przy demonstrowaniu

Fig. 1.

prostoliniowego rozchodzenia się promieni elektrycznych, przezroczystości nieprzewodników i nieprzezroczystości przewodników, przezroczystości lub nieprzezroczystości siatki drucianej, składającej się z szeregu równoległych drutów. Fig. 2 przedstawia położenie względne zwierciadeł przy demonstrowaniu odbicia promieni elektrycznych od przewodnika lub siatki; blachę

[1]) Opisane zwierciadła podjęła się wyrabiać firma spadkobierców Leybold t'a w Kolonii.

lub siatkę trzyma się nad zwierciadłem pierwotnem, zwróconem otworem ku górze i nachyla tak, by promienie odbite trafiły na zwierciadło wtórne

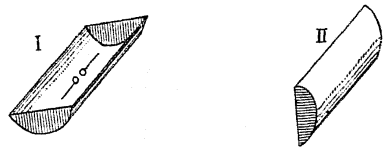

Fig. 2.

Fig. 3 przedstawia zwierciadła skrzyżowane. Na Fig. 4 zwierciadła są skrzyżowane, lecz promienie, wychodzące ze zwierciadła pierwotnego, pa-

Fig. 3.

dają na zwierciadło wtórne dopiero po odbiciu od siatki, ustawionej w taki sposób, by kierunek jej drutów zawierał kąt= 45° z liniami ogniskowemi obu zwierciadeł.

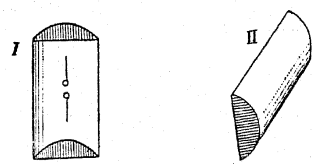

Fig. 4.

Aby wykazać kąt polaryzacyi dla promieni elektrycznych, jako przezroczystą powierzchnię odbijającą wziąłem powierzchnię pieca kaflowego. Zwierciadła (z poziomemi liniami ogniskowemi) były ustawione, jak jest widoczne z rysunku (Fig. 5), gdzie *v* oznacza wibrator w zwierciadle pierwotnem, a *r* rurkę z opiłkami w zwierciadle wtórnem. Zasłona *e* z blachy cynkowej zapobiegała bezpośredniemu działaniu promieni na *r*. Odległości *ab* i *cb* obu zwierciadeł od pieca wynosiły około 2 m. Jeżeli w *b* umieścimy blachę cynkową, a zwierciadło wtórne jest ustawione należycie, strzałka

galwanometru po puszczeniu cewki w ruch odchyla się mocno; to właśnie pozwala zawsze ustawić zwierciadło wtórne w położeniu należytem tak, by

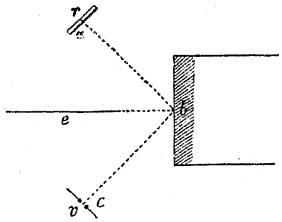

Fig. 5.

$< cbe = < eba$. Jeżeli kąt podania wynosi np. 40°, galwanometr odchyli się i po usunięciu blachy z b, jednak słabiej, aniżeli przy odbiciu promieni od powierzchni metalowej. Lecz skoro kąt padania (= kątowi odbicia) jest równy kątowi polaryzacyi, promienie nie odbiją się od powierzchni pieca, i strzałka galwanometru pozostaje nieruchomą. Zachodzi to przy kącie podania około 60°. Wynika stąd, iż kąt równy około 60° jest kątem polaryzacyi powierzchni kaflowej dla promieni elektrycznych. Następujące doświadczenie usuwa wszelką pod tym względem wątpliwość. Skoro ustawimy (przy kącie podania = 60°) zwierciadło pierwotne pionowo, promienie odbijają się od pieca, i jeżeli pomiędzy piecem i zwierciadłem wtórnem (ułożonem, jak zwykle, poziomo) na drodze promieni odbitych ustawimy siatkę drucianą, nachyloną ku poziomowi pod kątem 45°, wówczas promienie odbite, po przejściu przez siatkę, jak w doświadczeniu ze zwierciadłami skrzyżowanemi, działają na naszą rurkę z opiłkami, i strzałka galwanometru wychyla się.

Jeżeli pomiędzy dwa nikole wstawimy kryształ podwójnie załamujący tak, by oś jego optyczna zawierała kąt = 45° z przecięciami głównemi obu nikoli, wówczas promienie świetlne przechodzą przez cały ten układ. Podobnie działają cieniutkie przezroczyste dla światła płytki drewniane; kierunek włókien odpowiada osi optycznej w kryształach. W podobny sposób działają dość grube deski drewniane na promienie elektryczne. Skoro pomiędzy zwierciadła skrzyżowane (Fig. 3) ustawimy deskę drewnianą tak, by kierunek włókien zawierał kąt = 45° z liniami ogniskowemi obu zwierciadeł, wówczas deska ta działa jak kryształ pomiędzy skrzyżowanemi nikolami, i strzałka galwanometru odchyla się, jakkolwiek mniej mocno, aniżeli przy odpowiedniem użyciu siatki [1]). Doświadczenie to stanowi dowód po-

[1]) K. Mack, Wied. Ann. 54, p. 342, 1895; również Righi, Mem. R. Acc. delle Scienze, Bologna 4 p. 487.

dwójnego załamania promieni elektrycznych w drzewie. Należało oczekiwać, wychodząc z zasad teoryi elektromagnetycznej, że każdy kryształ, podwójnie załamujący promienie świetlne, będzie również podwójnie załamywał promienie elektryczne. Przeprowadziłem podobne doświadczenia z lodem. W bryle przezroczystego czystego lodu osie izotropii składających go kryształów wszystkie są ułożone jednakowo, mianowicie prostopadle do powierzchni zamarzania. Skoro więc przepuścimy promienie elektryczne przez kawałek lodu w kierunku równoległym do powierzchni zamarzania, powinniśmy otrzymać zjawiska podobne do tych, jakie daje deska drewniana lub siatka druciana. Doświadczenie wykazało to. Aby uniknąć konieczności używania brył lodu zbyt wielkich, zakryłem otwór zwierciadła pierwotnego arkuszem cynkowym z otworem około 200 cm². Przy zwierciadłach skrzyżowanych strzałka galwanometru pozostaje nieodchyloną; lecz skoro umieścimy pomiędzy zwierciadłami kawałek lodu w taki sposób, by oś jego izotropii zawierała kąt = 45° z liniami ogniskowemi obu zwierciadeł, strzałka galwanometru odchyla się mocniej nawet, aniżeli przy użyciu deski drewnianej takiej samej grubości. Dodam, że w doświadczeniach mych promienie elektryczne przechodziły przez warstwę lodu o grubości 40 centymetrów.

Opisane doświadczenie z lodem było przeprowadzone w marcu r. 1895. Wówczas było to pierwsze doświadczenie, wykazujące podwójne załamanie promieni elektrycznych w kryształach. Od tego czasu literatura przedmiotu wzrosła znacznie [1]). Były już przeprowadzone doświadczenia, wykazujące bezpośrednio różną długość fal elektrycznych przy przejściu promieni przez drzewo i przez kryształy (siarkę, gips, feldspat, mikę i t. d.) w różnych kierunkach; a p. Lebedew zdołał nawet z siarki i ebonitu urządzić pryzmaty Nikola dla promieni elektrycznych.

Pracownia Fizyczna
Uniwersytetu Warszawskiego.

---

[1]) Righi l. c., Mack, Wied. Ann. 56 p. 717, 1895, Lebedew, Wied. Ann. 56, p. 1, 1895. Garbasso, Naturw. Rund. Nr. 42, 1895.