

WIEDZA FIZYCZNA

*Zbiór dzieł z dziedziny fizyki, wydawany pod redakcją W. Biernackiego,  
M. Grołowskiego, St. Kalinowskiego, Z. Straszewicza i W. Wernera.*

---

H. POINCARÉ.

# TEORIA MAXWELLA I FALE HERTZA

Wydane z zapomogi Kasy Pomocy dla osób pracujących  
na polu naukowym im. D-ra med. J. Mianowskiego

WARSZAWA, 1917.

SKŁAD GŁÓWNY W KSIĘGARNI E. WENDE I S-KI.





TEORYA MAXWELLA I FALE HERTZA

M. Pucholick.





WIEDZA FIZYCZNA

Zbiór dzieł z dziedziny fizyki, wydawany pod redakcją W. Biernackiego,  
M. Grotowskiego, St. Kalinowskiego, Z. Straszewicza i W. Wernera.

---

H. POINCARÉ.

# TEORYA MAXWELLA I FALE HERTZA

TLUMĄCZYŁ

W. MALINOWSKI.

Wydane z zapomogi Kasy Pomocy dla osób pracujących  
na polu naukowym im. D-ra med. J. Mianowskiego

WARSZAWA, 1917.

SKŁAD GŁÓWNY W KSIĘGARNI E. WENDE I S-KI.

Cena Mk. 1'50.



141 033

Czcionkami Drukarni Naukowej, Rynek Starego Miasta 11.  
Geprüft und freigegeben Presserverwaltung Warschau den 23/7 1917.  
T. N. 6459 Dr. Nr. 215.

0266/174



## Od tłumacza.

Teorya wyjaśniająca wzajemne oddziaływanie na siebie ładunków elektrycznych poprzez ośrodki izolujące, rzucana przez Faraday'a w luźnych zaledwo pomysłach, w ósmym dziesiątku ubiegłego stulecia ujęta została przez J. C. Maxwell'a w konsekwentny system i wyłożona w ściślejszej formie matematycznej. Zamiast teoryi natychmiastowego działania ładunków na odległość stopniowo zaczęły się przyjmować nowe poglądy, według których działanie to rozchodzi się w ośrodku izolującym z szybkością bliską do szybkości światła, wywołując w nim krótkotrwały prąd polaryzacyjny (prąd Maxwell'a). Prądy otwarte, które istniały w teoryi działania na odległość przed Maxwell'em, ustąpiły miejsca prądom zamkniętym w dielektrykach. Teoryi tej brakło jednak faktów doświadczalnych, które zmusiłyby fizyków do ostatecznego jej przyjęcia. Eksperymentalnie zdołał ją stwierdzić dopiero Hertz. Teorya więc Maxwell'a, jakkolwiek piękna i pociągająca, powoli zyskiwała zwolenników. Propagatorami jej we Francyi byli Mascart i Poincaré.

Przeszło połowę, bo siedem lat, swej działalności profesorskiej\*) H. Poincaré poświęcił był teoryi fal; co

\*) H. Poincaré zajmował katedrę fizyki teoretycznej w Sorbonie od roku 1887 do 1900. Umarł w roku 1912.



rok zmieniając przedmiot wykładów, tematy do nich czerpał kolejno z optyki, elektryczności i elektromagnetycznej teorii światła. Wykłady jego były spisywane i redagowane przez jego uczniów, a wydawane przez związek uczniów i wychowawców „de la Faculté des sciences”. W ten sposób powstał cały kurs fizyki teoretycznej w kilku tomach. Jeden z nich traktuje o drganiach elektrycznych, które stanowiły treść prelekcji, wygłoszonych w Sorbonie w roku 1892—1893, a w rok później ukazały się w druku \*). W kilka lat później w wydawnictwie „Scientia” wyszedł skrót tego tomu pod tytułem „La théorie de Maxwell et les oscillations Hertiennes”, które właśnie ukazuje się w tłumaczeniu polskim.

Dziółko niniejsze jest wolne od działań i formuł matematycznych, które charakteryzują jego pierwowzór. Wylizanie pojemności, samoindukcyi, zależnego od nich okresu drgań wibratora w rozmaitych jego formach, rachunek zanikania i rezonansu fal są tutaj opuszczone. Matematyczna forma wykładu jest wprawdzie jedyną ściśle ujmującą zjawiska i wiążącą je ze sobą w szereg przyczynowy, jednak dla niewielu czytelników dostępna, nigdy nie może być dostatecznie popularną. Została więc tutaj całkowicie usunięta i zastąpiona szeregiem niezwykle obrazowych i głęboko sięgających porównań i analogii. Pod tym względem przewyższa nie jedno dzieło pełne rachunków, przy czytaniu którego nie każdy czytelnik potrafi matematyczną formę otrzymanywanych wzorów wypełniać treścią zjawisk fizycznych.

Nie jest jednakże zupełnie popularną niniejsza książ-

\*) Les oscillations électriques. Paris. Geogres Carré. 1894.



zeczka: porównania i analogie przeprowadzone naprzykład między wyładowaniami elektrycznymi a ruchem drgającym wahadła albo między interferencją z jednej strony fal elektrycznych w drutach a z drugiej — dźwiękowych w rurach, takie analogie potrafi należycie zrozumieć i ocenić tylko czytelnik dość gruntownie zaznajomiony ze zjawiskami fizycznymi w zakresie całkowitego kursu pełnej szkoły średniej.

Przejrzystość i jasność wykładu, świetność porównań i zwięzłość formy, które zawsze charakteryzowały wykłady autora, cechują w wysokim stopniu i niniejszą jego książkę.

Niech mi będzie wolno wyrazić serdeczne podziękowanie koledze memu doktorowi Wacławowi Wernerowi za cenne uwagi i poprawki w niniejszem tłumaczeniu.

---





# Spis rzeczy.

Od tłumacza . . . . .	str. 1
-----------------------	--------

## Rozdział I. Ogólne wiadomości o zjawiskach elektrycznych.

1. Próby mechanicznego tłumaczenia . . . . .	1
2. Zjawiska elektrostatyczne . . . . .	3
3. Opór przewodników . . . . .	6
4. Indukcja . . . . .	7
5. Przyciąganie elektrodynamiczne . . . . .	9

## Rozdział II. Teoria Maxwell'a.

1. Związek między zjawiskami elektrycznymi i świetlnymi .	13
2. Prądy dielektryczne . . . . .	14
3. Natura światła . . . . .	19

## Rozdział III. Fale elektryczne przed Hertzem.

1. Doświadczenia Feddersena . . . . .	22
2. Teoria lorda Kelwina . . . . .	24
3. Różne porównania . . . . .	27
4. Zanikanie . . . . .	27

## Rozdział IV. Wibrator Hertza.

1. Odkrycie Hertza . . . . .	30
2. Zasada wibratora . . . . .	31
3. Formy wibratorów . . . . .	32
4. Znaczenie iskry . . . . .	34
5. Wpływ światła . . . . .	35
6. Wpływ oliwy . . . . .	36
7. Długość fali . . . . .	36

## Rozdział V. Metody obserwacji.

1. Zasada obserwacji . . . . .	37
2. Działanie rezonatora . . . . .	38

## VIII

3. Rozmaite sposoby użycia iskry . . . . .	40
4. Zjawiska cieplne . . . . .	41
5. Zjawiska mechaniczne . . . . .	42
6. Porównanie metod . . . . .	43
7. Koherer . . . . .	43

### Rozdział VI. Rozchodzenie się fal wzdłuż drutu.

1. Wywoływanie zaburzeń w drucie . . . . .	46
2. Sposób rozchodzenia się . . . . .	48
3. Szybkość rozchodzenia się i przenikania . . . . .	49
4. Doświadczenia Fizeau i Gounelle'a . . . . .	51
5. Dyfuzya prądu. . . . .	53
6. Doświadczenia Blondlot'a . . . . .	54

### Rozdział VII. Pomiar długości fali i rezonans wielokrotny.

1. Fale stojące . . . . .	58
2. Rezonans wielokrotny . . . . .	60
3. Inne wyjaśnienie. . . . .	61
4. Doświadczenia Garbasso i Zehnder'a . . . . .	64
5. Pomiar zanikania . . . . .	65
6. Doświadczenia Strinberga . . . . .	65
7. Doświadczenia Pérota i Jones'a . . . . .	66
8. Doświadczenia Décombe'a . . . . .	67

### Rozdział VIII. Rozchodzenie się w powietrzu.

1. Experimentum crucis . . . . .	69
2. Doświadczenia Karlsruheńskie . . . . .	72
3. Doświadczenia Genewskie . . . . .	72
4. Używanie małego wibratora . . . . .	73
5. Natura promieniowania . . . . .	74

### Rozdział IX. Rozchodzenie się fal w dielektrykach.

1. Zależność Maxwell'a . . . . .	77
2. Metody dynamiczne. . . . .	78
3. Metody statyczne . . . . .	79
4. Rezultaty . . . . .	80
5. Przewodniki . . . . .	81
6. Elektrolity . . . . .	82

### Rozdział X. Otrzymywanie fal bardzo krótkich.

1. Fale bardzo krótkie . . . . .	84
2. Ekscytator Righi'ego . . . . .	84



3. Rezonatory . . . . .	86
4. Wibrator Bose'go. . . . .	87
5. Odbieracz Bose'go . . . . .	89

### Rozdział XI. Imitacja zjawisk świetlnych.

1. Warunki imitacji . . . . .	91
2. Interferencja . . . . .	92
3. Cienkie warstwy . . . . .	93
4. Fale wtórne . . . . .	94
5. Uginanie . . . . .	95
6. Polaryzacja . . . . .	96
7. Polaryzacja za pomocą odbicia . . . . .	97
8. Załamanie . . . . .	98
9. Odbicie całkowite . . . . .	98
10. Podwójne załamanie . . . . .	99

### Rozdział XII. Synteza światła.

1. Synteza światła . . . . .	101
2. Inne różnice . . . . .	102
3. Wyjaśnienie fal wtórnych . . . . .	104
4. Różne uwagi . . . . .	107
Alfabetyczny spis rzeczy i nazwisk . . . . .	111





## ROZDZIAŁ I.

### OGÓLNE WIADOMOŚCI O ZJAWISKACH ELEKTRYCZNYCH.

**1. Próby mechanicznego tłumaczenia.** Nadać zjawiskom elektrycznym w całej rozciągłości tłumaczenie mechaniczne, sprowadzając prawa fizyki do podstawowych zasad dynamiki, jest to zadanie, o którego rozwiązanie kuśilo się wielu badaczy. Czy nie jest to jednak kwestya nieco jałowa, w której siły nasze napróżnoby się zużywały?

Gdybyż można było mieć przynajmniej nadzieję, że otrzymamy jedno tylko rozwiązanie! Taki wynik, jako wówczas jedynie prawdziwy, nigdy nie mógłby być kupiony za cenę zanadto wysoką. Tak jednak nie jest: niewątpliwie, możnaby wynaleźć jakiś mechanizm, który dałaby nam więcej lub mniej doskonały obraz zjawisk elektrostatycznych i elektrodynamicznych. Gdyby jednak można było wynaleźć jeden taki mechanizm, możnaby było wynaleźć nieskończoną ilość innych.

Nie wydaje się zresztą, żeby którykolwiek z nich prostotą swoją więcej, niż inne, narzucał się naszemu wyborowi. W dodatku nie mamy powodu mniemać, aby jeden

z nich pozwolił nam lepiej, niż inne, wykryć tajemnice przyrody. Z tego wynika, że wszystkie mechanizmy, jakie moglibyśmy sobie wyobrazić, będą miały pewien charakter odstręczającej sztuczności, której zresztą bliżej określić nie mogę.

Jeden z najlepiej wykonanych pomysłów zawdzięczamy Maxwellowi; pochodzi on z tego czasu, gdy poglądy Maxwella nie przybrały jeszcze ostatecznej postaci. Skomplikowana struktura, jaką przypisywał on eterowi, sprawiała, że teoria jego była dziwaczną i odpychającą; można było sądzić, że się czyta opis warsztatu z kołami zębatymi, i przekładniami, służącymi do przenoszenia ruchu, z regulatorami i pasami bez końca.

Anglicy wogóle lubią pomysły konkretne, nawet pozornie tylko konkretne, jak ten; Maxwell jednak pierwszy porzucił tę teorię zawiłą a śmieszna; niema jej nawet w ogólnym zbiorze jego dzieł. Niema co jednak żałować, że myśl jego kroczyła tą drogą okólną, w ten bowiem sposób doszedł on do największych odkryć.

Nie wydaje się rzeczą prawdopodobną, by drogą tą można było dojść do znacznie lepszych wyników. Jeżeli jednak próżną jest rzeczą dążyć do przedstawienia wszystkich szczegółów mechanizmu zjawisk elektrycznych, to przeciwnie, jest rzeczą pierwszorzędnej wagi wykazać, że zjawiska elektryczne podlegają ogólnym prawom mechaniki.

Istotnie, prawa te nie zależą od poszczególnego mechanizmu, do którego mają być zastosowane. Muszą one pozostać niezienne w całej pozornej różnorodności zjawisk. Gdyby zjawiska elektryczne wyłamywały się z pod



tych praw, należałoby się wyrzec wszelkiej nadziei mechanicznego ich objaśnienia. Jeżeli natomiast im podlegają, jest zupełna pewność co do możliwości takiego wytłumaczenia i trudność może polegać tylko na wyborze jednego rozwiązania z pomiędzy wszystkich, dla danego zagadnienia możliwych.

Jakżeż jednak, nie rozwijając całego aparatu analizy matematycznej, przekonamy się o harmonii między prawami elektrostatyki i elektrodynamiki z jednej strony a zasadami dynamiki z drugiej?

Za pomocą porównań: gdy będziemy chcieli zanalizować jakieś zjawisko elektryczne, zwrócimy się do jednego lub dwóch dobrze znanych zjawisk mechanicznych a postaramy się wykazać ściśle podobieństwo w ich przebiegu. Paralelizm ten będzie dostateczną gwarancją możliwości mechanistycznego tłumaczenia zjawisk elektrycznych.

Za pomocą analizy matematycznej możnaby dowieść, że porównania te nie są tylko przybliżone, że przeciwnie, możnaby je posunąć aż do najdrobniejszych szczegółów. Zakres pracy niniejszej nie pozwoli mi tak daleko się posunąć, i będę zmuszony ograniczyć się do porównań, że tak powiem, jakościowych.

**2. Zjawiska elektrostatyczne.** By naładować kondensator, zawsze trzeba użyć pewnej ilości pracy: pracy mechanicznej przy obracaniu maszyny statycznej lub przy posługiwaniu się dynamo; energii chemicznej przy ładowaniu za pomocą ogniwa.

Energia jednak w ten sposób zużyta, nie jest stracona; jest ona zawarta w kondensatorze i może być uwol-



niona przy wyładowaniu. Możemy ją otrzymać z powrotem pod postacią ciepła, jeżeli obie zbroje kondensatora połączymy poprostu drutem, który wtędy ogrzeje się przy przechodzeniu prądu wyładowania; można ją otrzymać w postaci pracy mechanicznej, jeżeli prąd wprawi w ruch mały motorek elektryczny.

Podobnież potrzeba zużyć pewną ilość pracy, by podnieść wodę do zbiornika; pracę tę otrzymamy z powrotem, gdy woda ze zbiornika obraca, naprzykład, koło motoru hydraulicznego.

Jeżeli dwa przewodniki są naładowane do tego samego potencyału, to po połączeniu ich drutem, równowaga nie będzie naruszona; jeżeli jednak potencyały ładunków początkowych są rozmaite, to przez drut dopóty przechodzić będzie prąd, dopóki różnica potencyału nie będzie wyrównaną.

Podobnież, jeżeli woda w dwóch zbiornikach znajduje się na rozmaitych poziomach, to w razie połączenia ich rurą, woda przepływa z jednego zbiornika do drugiego, dopóki poziom w obu nie będzie jednakowy.

Analogia zupełna: potencyał kondensatora odpowiada poziomowi wody, ładunek kondensatora—masie wody w zbiorniku.

Jeżeli przecięcie poziome zbiornika wynosi np. 100 metrów kwadratowych, trzeba będzie 1 metra sześciennego wody, aby poziom jej podnieść o jeden centymetr. Trzeba jej będzie dwa razy więcej, jeżeli przecięcie jest dwa razy większe. To przecięcie poziome odpowiada więc temu, co się nazywa pojemnością.



Jak na podstawie takich założeń wytłumaczyć przyciąganie i odpychanie ciał naelektryzowanych?

Tego rodzaju zjawiska mechaniczne zmniejszają różnice potencjałów.

Jeżeli będziemy przeciwdziałali tym siłom, na przykład oddalali dwa przyciągające się ciała, to wykonamy pewną pracę, zwiększymy ilość energii elektrycznej, różnica potencjału wzrośnie. Jeżeli, przeciwnie, przewodniki zbliżają się pod wpływem ich wzajemnego przyciągania, nagromadzona w nich energia elektryczna częściowo się uwalnia w postaci energii mechanicznej, i potencjały się wyrównują.

To działanie mechaniczne odpowiadałoby więc ciśnieniu, jakie woda zawarta w zbiorniku wywiera na jego ściany. Przypuśćmy na przykład, że nasze dwa zbiorniki są połączone cylindryczną rurką poziomą o szerokim przekroju i że w tej rurce może poruszać się tłok. Jeżeli tłok popchniemy w stronę zbiornika, w którym poziom wody jest wyższy, wykonamy pewną pracę; jeżeli przeciwnie, puścimy tłok swobodnie tak, aby poruszał się sam pod wpływem ciśnień, wywieranych na obie jego powierzchnie, to przesunie się on tak, że zmniejszy się różnica między obu poziomami, i energia nagromadzona w zbiornikach częściowo będzie uwolniona.

To porównanie ze zjawiskami hydraulicznymi jest najdogodniejsze i najbardziej bliskie rzeczywistości, chociaż nie jest jedynym możliwym; moglibyśmy, na przykład pracę zużytą na ładowanie kondensatorów porównać z pracą wydatkowaną na podniesienie ciężaru lub zgięcie sprężyny. Energia tu i tam zużyta może być napowrót otrzy-



mana przy opuszczaniu podniesionego ciężaru lub rozkręcaniu się sprężyny; podobnie otrzymujemy ją z powrotem, gdy wyładujemy obie zbroje kondensatora.

W przyszłości będziemy się posługiwali temi trzema porównaniami.

**3. Opór przewodników.** Połączmy nasze dwa zbiorniki rurką poziomą długą, o przecięciu wązkim. Woda powoli płynąć będzie przez tę rurkę; ilość wody, która przepłynie, będzie tem większa, im różnica poziomów będzie większa, im rurka będzie krótsza, a jej przecięcie — większe. Innemi słowy, opór rurki, którego przyczyną są tarcia, wewnątrz niej zachodzące, wzrasta z przedłużeniem rurki i zmniejsza się, gdy jej przecięcie się zwiększa.

Rzecz się ma podobnie, jeżeli dwa przewodniki połączymy długim i cienkim drutem metalowym. Natężenie prądu, t. j. ilość elektryczności, przez dane przecięcie przepływającej, będzie wzrastała wraz ze zwiększeniem się różnicy obu potencjałów, z powierzchnią przecięcia drutu, i naodwrot, będzie w stosunku odwrotnym do jego długości.

Opór więc elektryczny drutu można porównać z oporem naszej rurki stawianym przepływowi wody; jest to prawdziwe tarcie. Podobieństwo jest tem pełniejsze, że ten opór ogrzewa drut i wytwarza ciepło zupełnie jak tarcie.

To podobieństwo jest szczególnie uderzającym w dobrze znanem doświadczeniu Foucault'a: przy obracaniu krążka miedzianego w polu magnetycznem pokonywamy bardzo duży opór i krążek ogrzewa się; zjawisko zachodzi tak, jak gdyby krążek się ocierał o jakiś niewidzialny hamulec.



**4. Indukcja.** Jeżeli mamy dwa przewodniki w pewnej odległości jeden od drugiego i jeżeli przez pierwszy z nich przechodzi prąd o natężeniu zmiennem, to w drugim powstają prądy znane pod nazwą indukcyjnych. Jeżeli w pierwszym przewodniku natężenie prądu wzrasta, to kierunek prądu wtórnego jest odwrotny do kierunku prądu pierwotnego; i odwrotnie: posiada on ten sam kierunek, jeżeli pierwotny prąd słabnie. Na tem polega zjawisko, zwane indukcją wzajemną.

Ale to jeszcze nie wszystko: prąd zmienny wskutek indukcji wytwarza siły elektrobodźcze w tym samym drucie, przez który przepływa. Siła ta przeciwstawia się prądowi pierwotnemu, jeżeli ten się wzmacnia i naodwrot, zwiększa jego natężenie, jeżeli ten słabnie; jest to zjawisko zwane samoindukcją.

Używając poprzednich porównań łatwo objaśnić samoindukcję. Wydaje się, że trzeba przewyciężyć opór (elektryczny) przeciw-elektrobodźczy, aby wprawić w ruch elektryczność; ale skoro ruch się rozpoczął, sam przez się dąży do utrzymania się. Samoindukcja jest więc pewnego rodzaju bezwładnością.

Tak samo trzeba pokonać pewien opór, aby poruszyć wóz; wóz jednak raz pchnięty trwa sam przez się w swym ruchu.

Ostatecznie więc prąd ma do pokonania następujące przeszkody:

1. Opór elektryczny drutu (którego nie można uniknąć i który zawsze przeciwstawia się prądowi).
2. Samoindukcję, jeżeli prąd jest zmienny.
3. Siły przeciwlektrobodźcze, pochodzenia elektro-



statycznego, jeżeli w pobliżu drutu lub na nim samym znajdują się ładunki elektryczne.

Te dwa ostatnie opory mogą zresztą stać się ujemnymi i zwiększać natężenie prądu.

Porównajmy je z oporami, jakie ma do pokonania wóz toczący się po szosie:

1. Opór elektryczny, jakieśmy widzieli, podobny jest do tarcia.

2. Samoindukcja odpowiada bezwładności wozu.

3. W końcu siły pochodzenia elektrostatycznego odpowiadałyby sile ciężenia, którą należałoby pokonywać przy wznoszeniu się, a która staje się pomocną przy spadkach.

Przy indukcji wzajemnej zjawiska nieco się komplikują. Wyobraźmy sobie kulę  $S$  o bardzo dużej masie; na dwóch przeciwległych końcach dowolnie wziętej średnicy tej kuli znajdują się dwa ramiona zakończone dwiema małymi kulami  $s_1$  i  $s_2$ .

Kula  $S$  przedstawiać nam będzie eter,  $s_1$ —prąd pierwotny,  $s_2$ —prąd wtórny. Przy wprowadzeniu w ruch kuli  $s_1$  nie napotkamy większych trudności. Ale kula  $S$  nie może być poruszona tak łatwo: w pierwszej chwili pozostanie nieruchomą. Cały układ obróci się naokoło  $S$ , a kierunek ruchu kuli  $s_2$  będzie przeciwny kierunkowi ruchu kuli  $s_1$ .

Jest to obraz indukcji wzajemnej. Kule  $s_1$  i  $s_2$  odpowiadają dwóm przewodnikom. Należy przyjąć, że kula  $S$  jest niewidzialną; ona wyobraża nam eter, otaczający tamte dwie małe kulki. Gdy szybkość ruchu kuli  $s_1$  się zwiększa, kula  $s_2$  porusza się w kierunku odwrotnym; tak



samo, gdy zwiększa się natężenie prądu pierwotnego, powstaje prąd wtórny o kierunku odwrotnym.

Idźmy dalej w naszym porównaniu. Przypuszczam, że  $s_1$  i  $s_2$  mają w swym ruchu do pokonania pewno tarcie (jest to opór elektryczny przewodników),  $S$ , przeciwnie ma do pokonania tylko swą własną bezwładność. Przypuśćmy, że jakabądź siła poruszająca działa na  $s_1$ ; ruch układu w końcu się ustali: kula  $s_1$  poruszać się będzie ruchem jednostajnym, pociągając za sobą  $S$ , która raz wprawiona w ruch, więcej już oporu nie stawia,  $s_2$  przeciwnie, będzie wstrzymana wskutek oporu, tak że cały układ obróci się naokoło  $s_2$ . Prąd pierwotny ustalił się, wtórny zaś zniknął zupełnie.

W końcu siła przestaje działać na  $s_1$ ; wskutek tarcia ruch jej staje się opóźniony. Kula  $S$  wskutek swej dużej bezwładności porusza się w dalszym ciągu pociągając za sobą  $s_2$ , które nabiera szybkości zgodnej co do kierunku z poprzednią prędkością  $s_1$ . Gdy pierwotny prąd słabnie prąd wtórny (indukcyjny) posiada ten sam kierunek co i pierwotny.

W tym obrazie  $S$  wyobraża eter, który otacza oba przewodniki; zjawiska indukcji wzajemnej powstają wskutek bezwładności tego eteru. Rzecz się ma podobnie w przypadku samoinducji. Opór bezwładności, który trzeba pokonać przy wzbudzaniu prądu w przewodniku, stawia nie ten eter, którym wypełniony jest drut, lecz ten, który go otacza.

**5. Przyciąganie elektrodynamiczne.** Starłem się wyżej za pomocą pewnego porównania wytłumaczyć przy-



ciąganie wzajemne elektrostatyczne i zjawiska indukcji; zobaczymy teraz w jaki sposób przyciągają się prądy.

Podczas gdy przyciągania elektrostatyczne powstają jak gdyby na skutek działania mnóstwa małych sprężynek napiętych, lub inaczej powiedziawszy, wskutek sprężystości eteru, zjawiska indukcji i przyciągania elektrodynamicznego są skutkiem siły żywej i bezwładności tego płynu.

Rachunek całkowity zanadto byłby długi, by można było go tu podać; poprzestanę więc i tym razem na porównaniu. Użyję w tym celu dobrze znanego przyrządu jakim jest regulator siły odśrodkowej.

Siła żywa tego przyrządu jest proporcjonalna do kwadratu jego szybkości kątowej i do kwadratu oddalenia się kulek od osi.

Według hipotezy Maxwell'a, eter wprawiany jest w ruch z chwilą powstawania prądów Volty, a jego siła żywa jest proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu, które w naszym porównaniu odpowiada szybkości kątowej obrotu regulatora.

Jeżeli mamy dwa prądy o jednakowym kierunku, to siła żywa, przy stałym natężeniu obu prądów, będzie tym większa, im przewodniki będą bardziej do siebie zbliżone; jeżeli kierunek prądów jest rozbieżny, siła żywa będzie tym większa, im prądy będą bardziej od siebie oddalone.

Idźmy dalej w naszym porównaniu.

Dla zwiększenia szybkości kątowej regulatora a więc i jego siły żywej, trzeba zużyć pewną pracę, a więc i pokonać pewien opór, który nazywamy *bezwładnością*.

Tak samo, aby zwiększyć natężenie prądu — to zna-



czy zwiększyć siłę żywą eteru, należałoby wykonać odpowiednią pracę i pokonać pewien opór, który jest właśnie niczem innym, jak bezwładnością eteru, zwaną indukcyą.

Siła żywa będzie większa, jeżeli prądy mają wspólny kierunek i bliżej siebie są położone; praca zużywana i siła przeciwelektrodynamiczna prądu indukcyjnego będą więc większe. W języku zwykłym wyraża się to w ten sposób, że indukcyja wzajemna dwóch prądów zwiększa ich samoindukcyę. Rzecz się ma odwrotnie, jeżeli dwa prądy mają kierunki sobie przeciwne.

Chcąc rozchylić kulki regulatora, ciągle zachowując tę samą szybkość kątową, trzeba wykonać pewną pracę, gdyż przy stałej szybkości kątowej siła żywa jest tem większa, im kulki są bardziej rozchylone.

Podobnie, jeżeli zbliżać będziemy dwa prądy o wspólnym kierunku, musimy wykonać pewną pracę w celu utrzymania ich poprzedniego natężenia, gdyż siła żywa wtenczas się zwiększa. Trzeba tu pokonać siłę elektrodynamiczną indukcyi, wpływającą na zmniejszenie natężenia prądów. Przeciwnie, natężenie ich będzie się zmniejszało, jeżeli oddalimy prądy jednokierunkowe lub zbliżymy różnokierunkowe.

Mechaniczne działanie prądu na prąd można w ten sam sposób wyjaśnić.

Siła odśrodkowa rozchyła kulki regulatora i gdybyśmy utrzymali jego poprzednią szybkość kątową, to wzrosłaby jego siła żywa.

Tak samo prądy jednokierunkowe *przyciągają się*, to jest dążą do zbliżenia się; gdyby natężenie ich pozostało bez zmiany, siła żywa zwiększyłaby się. Prądy różnokie-

runkowe odpychają i oddalają się, co przy stałym ich na-  
tężeniu zwiększa siłę żywą.

Tak więc sprężystość eteru jest źródłem zjawisk elek-  
trostatycznych, a jego siła żywa — zjawisk elektrodyna-  
micznych. Czy jednak sprężystość eteru ma być uwarun-  
kowana, jak tego chce lord Kelvin, ruchem maleńkich  
cząsteczek tego płynu? Dla różnych powodów hipoteza  
taka mogłaby być pociągająca, żadnej jednak poważniej-  
szej roli nie gra ona w teorii Maxwell'a, która jest od  
niej niezależna.

Powyżej robiłem porównanie z rozmaitymi mechani-  
zmami. Należy pamiętać, że są to jednak tylko porówna-  
nia, i to niezbyt ściśle. I rzeczywiście, w książce Ma-  
xwell'a należy szukać nie zupełnego wyjaśnienia zjawisk  
elektrycznych z mechanistycznego punktu widzenia, lecz  
tylko ujęcie w jedną całość tych wszystkich warunków,  
którym musi uczynić zadość wszelkie wyjaśnienie. I jeżeli  
dzieło Maxwell'a rzeczywiście będzie trwałem, to właśnie  
dlatego, że jest wolne od wszelkich bardziej szczegółowych  
wyjaśnień.



## ROZDZIAŁ II.

### TEORYA MAXWELL'A.

**1. Związek między zjawiskami świetlnymi i elektrycznymi.** W chwili, gdy doświadczenia Fresnel'a nasuwały uczonym myśl, że światło jest wynikiem drgań pewnego płynu bardzo subtelnego, wypełniającego przestrzenie międzyplanetarne, w tym samym czasie prace Ampère'a wykryły prawa wzajemnego działania prądów na prądy i założyły w ten sposób fundamenty elektrodynamiki.

Jeden już tylko krok oddziela od założenia, że eter, który jest przyczyną zjawisk świetlnych, jest również podłożem zjawisk elektrycznych. Poglądy Ampère'a tego kroku dokonały; znakomity fizyk, wygłaszając tę hipotezę tak ponętą, z pewnością nie przypuszczał, że ma ona przyoblec się wkrótce w formę bardziej skończoną, a nowo odkryte fakty mają ją potwierdzić.

Stosunek pomiędzy jednostką absolutną elektrostatyczną i jednostką absolutną elektrodynamiczną ma wymiar pewnej szybkości. Maxwell podał wiele metod otrzymania liczebnej wartości tej szybkości. Rezultaty



przez niego otrzymane, wahają się około 300000 klm. na sekundę, są więc bliskie szybkości światła.

Pomiary stały się wkrótce tak ścisłe, że nie można było przypuszczać, aby zgodność ta była dziełem przypadku. Nie było więc wątpliwości, że jest jakiś ścisły związek między zjawiskami optycznymi i elektrycznymi. Jednak głębsze znaczenie tego związku dotychczas prawdopodobnie uchodziłoby naszej uwagi, gdyby go nie odśłonił geniusz Maxwella.

Tę nieoczekiwaną zgodność rachunków można sobie przedstawić w ten sposób, że wzdłuż doskonałego przewodnika w kształcie drutu rozchodzi się zaburzenie elektryczne z szybkością światła.

Do takiego rezultatu doprowadziły rachunki Kirchhoffa, oparte na starej elektrodynamice.

Światło jednak rozchodzi się nie wzdłuż drutu metalowego, lecz w środowiskach przezroczystych: przez powietrze, przez próżnię. Stara elektrodynamika nie przewidywała podobnego rodzaju rozchodzenia się energii.

Aby mózdz optykę wyprowadzić dedukcyjnie z teorii elektrodynamicznych, należało je przedtem głęboko zmienić, tak jednak, by one nie przestały tłumaczyć wszystkich znanych faktów. Tej właśnie zmiany dokonał Maxwell.

**2. Prądy dielektryczne.** Powszechnie wiadomo, że pod względem przewodnictwa elektrycznego wszystkie ciała można podzielić na dwie kategorie: na przewodniki, w których mogą się przesuwac ładunki elektryczne, gdzie, inaczej powiedziawszy, mogą zachodzić prądy Volty, i na izolatory czyli dielektryki. Według dawnych badaczy zjawisk elektrycznych, ciała dielektryczne były ciałami bier-



nemi; ich rola polegała jedynie na przeciwstawianiu się prądowi, mającemu przez nie przechodzić. Gdyby tak było rzeczywiście, można byłoby zastąpić każdy izolator dowolnym innym izolatorem, nic przytem nie zmieniając w przebiegu zjawiska. Doświadczenia Faraday'a jednak dowiodły, że tak nie jest: dwa kondensatory tych samych kształtów i nawet takich samych wymiarów, połączone z temi samemi źródłami elektryczności, otrzymują ładunki różne, nawet wtenczas, gdy grubość warstwy izolatora jest ta sama, jeżeli tylko zmienimy rodzaj materiału izolującego. Maxwell zanadto dobrze poznał prace Faraday'a, aby zbagatelizować doniosłość wpływu dielektryków i konieczność przypisania im roli czynnej.

Zresztą jeżeli światło rzeczywiście ma być niczem innym, jak tylko zjawiskiem elektrycznym, to jest rzeczą konieczną, aby nawet izolatory, w chwili, gdy światło przez nie przechodzi, były siedliskiem tego zjawiska elektrycznego: tak więc zjawiska elektryczne muszą również zachodzić w dielektrykach. Na czemże jednak one polegają? Maxwell odpowiada śmiało: są to prądy.

Wszystkie doświadczenia jego czasu zdawały się temu przeczyć; prąd mógł płynąć tylko przez przewodnik. Jakże Maxwell mógł pogodzić swoje śmiałe przypuszczenie z tak dobrze znanym faktem? Dlaczego w pewnych określonych warunkach prądy te wywołują dające się zauważyć objawy, a w przypadkach zwykłych nie mogą być obserwowane.

Przyczyną jest ta okoliczność, że dielektryki sprzeciwiają się przechodzeniu prądu elektrycznego nie dlatego, żeby dielektryki stawiały większy opór, niż prze-



wodniki, lecz dlatego, że opór dielektryków jest zupełnie innego rodzaju. Myśl Maxwella zilustruje nam następujące porównanie.

Przy naciąganiu sprężyny napotykamy opór wzrastający w miarę jej naciągania. Gdy siła odkształcająca jest ograniczona, nadchodzi taki stan, że opór stawiany przez sprężynę nie może już być dalej pokonywany, ruch ustaje i następuje stan równowagi. A gdy siła działać przestanie, to podczas kurczenia się sprężyny otrzymamy tę samą ilość pracy, jaką wykonaliśmy przy rozciągnięciu.

Przypuśćmy teraz, że mamy zamiar wprowadzić w ruch jakieś ciało zanurzone w wodzie: tutaj też mamy do czynienia z oporem zależnym od szybkości, z jaką ciało się porusza; przy stałej jednak szybkości nie będzie się on zwiększał w miarę zwiększania się drogi, przebywanej przez poruszające się ciało. Ruch trwać będzie dopóty, dopóki działa siła; równowaga nie nastąpi nigdy; a gdy w końcu siła działać przestanie, ciało nie będzie się poruszało wstecz i praca wykonana podczas poruszania go naprzód, z powrotem otrzymana być nie może; na skutek tarcia wewnętrznego cała praca została zamieniona na ciepło.

Różnica jest jasna: należy odróżniać opór sprężysty od oporu lepkiego. Z tego więc wynikałoby, że dielektryki zachowują się względem ruchu ładunków elektrycznych jak ciała sprężyste wobec ruchów mechanicznych; przewodniki natomiast zachowywały się, jak ciecze lepkie. Stąd dwa rodzaje prądów: prądy dielektryczne, czyli prądy Maxwell'a, które zachodzą w dielektrykach, i zwykłe prądy przewodzone, które płyną w przewodnikach.



Ponieważ pierwsze mają do przewyciężenia pewnego rodzaju opór sprężysty, przeto mogą być tylko krótkotrwałe: z powodu ciągłego wzrastania oporu, równowaga bardzo szybko się ustala.

Prądy przewodzone, naodwrot, mają do pokonania pewnego rodzaju opór lepki i wobec tego mogą trwać tak długo, jak długo trwa siła elektrobodźcza, w której biorą początek.

Powróćmy do naszego porównania zapożyczonego z hydrauliki. Przypuśćmy, że mamy zbiornik z wodą pod ciśnieniem; połączmy go z rurą pionową. Woda zacznie się do niej przelewać, ruch jej jednak ustanie natychmiast po osiągnięciu równowagi hydrostatycznej. Jeżeli rura jest dość szeroka, nie będzie znacznego tarcia ani straty energii, i woda, w ten sposób podniesiona, będzie mogła wykonać pewną pracę. Mamy tu obraz prądu dielektrycznego.

Jeżeli natomiast woda ze zbiornika wypływa przez rurę poziomą, ruch będzie trwał dopóty, dopóki zbiornik się nie opróżni; jeżeli rura jest wązka, strata pracy i wytwarzanie się ciepła wskutek tarcia będą znaczne. Jest to obraz prądu przewodzonego.

Chociaż byłoby rzeczą niemożliwą, a poniekąd i zbytęzną chcieć wyobrazić sobie wszystkie szczegóły takiego mechanizmu, to można jednak powiedzieć, że całe zjawisko tak się odbywa, jak gdyby wynikiem prądów przemieszczenia było napięcie wielkiej liczby małych sprężynek. Gdy prąd ustaje, wytwarza się równowaga elektrostatyczna, a sprężynki tem mocniej są napięte, im silniejsze jest pole elektryczne. Praca nagromadzona



w sprężynkach, czyli energia elektryczna, może być całkowicie otrzymana z powrotem, gdy tylko sprężynki będą mogły się rozprężyć. W ten sposób otrzymujemy pracę mechaniczną, pozwalając przewodnikom zbliżać się do siebie pod wpływem przyciągania elektrostatycznego. Przyciągania te są w naszym porównaniu wynikiem sił, jakie na przewodniki wywierają napięte sprężynki. Wreszcie, chcąc porównanie nasze doprowadzić do końca, należałoby przeprowadzić analogię pomiędzy wyładowaniem przez iskrę, a pęknięciem pewnej liczby zbyt mocno naciągniętych sprężynek.

Przeciwnie, praca, wydatkowana na wzniecenie prądów przewodzonych, jest stracona i cała zamienia się na ciepło, podobnie jak praca zużyta na pokonanie tarcia, czy lepkości cieczy. To właśnie jest przyczyną rozgrzewania się przewodników, po których przepływa prąd.

Według poglądów Maxwell'a, mogą istnieć tylko prądy zamknięte. Dawniejsi badacze zjawisk elektrycznych sądzili inaczej. Uważali oni za zamknięty tylko taki prąd, który płynie w przewodniku, łączącym oba bieguny ogniwa. Jeżeli jednak oba bieguny, zamiast bezpośrednio ze sobą, są połączone odpowiednio ze zbrojami kondensatora, to prąd chwilowy, twójący tylko do momentu naładowania kondensatora, uważany był za otwarty; prąd taki, jak sądzono, płynie od jednej okładki do drugiej przez drut i ogniwo i zatrzymuje się na powierzchni okładki. Przeciwnie, Maxwell przypuszcza, że prąd, pod postacią prądu przemieszczenia, przenika przez warstwę izo-



latora, rozdzielającą obie zbroje, i że w ten sposób prąd jest całkowicie zamknięty. Opór sprężysty, jaki napotyka w swym biegu, tłumaczy jego krótkotrwałość.

Prądy elektryczne mogą się ujawniać w trzech kategoriach zjawisk: w działaniu cieplnym, w działaniu na magnesy i prądy, oraz w prądach indukcyjnych, które wzbudzają. Wyżej widzieliśmy, dlaczego prądy przewodzone wywiązują ciepło i dlaczego nie widzimy tego wcale przy prądach przemieszczenia. Natomiast, według hipotezy Maxwell'a, prądy, których istnienie przypuszcza, powinny, podobnie do prądów zwykłych, wywoływać zjawiska elektromagnetyczne, elektrodynamiczne i indukcyjne. Dlaczegoż jednak nie można się było przekonać o istnieniu tych zjawisk? Oto dlatego, że prąd dielektryczny o jakim takim natężeniu nie może trwać długo w tym samym kierunku: wciąż wzrastające napięcie sprężynek wkrótce go zatrzyma. Tak więc w dielektrykach nie można otrzymać ani dłużej trwającego prądu stałego, ani dostrzegalnego prądu przemiennego o dużym okresie zmienności. Przeciwnie, zaczynamy dostrzegać pewne zjawiska tego rodzaju dopiero wtenczas, gdy zmiana prądu odbywa się bardzo szybko.

**3. Natura światła.** Te to zjawiska, według Maxwell'a, stanowią istotę światła; fala świetlna jest szeregiem prądów przemiennych, zachodzących w dielektrykach, a nawet w powietrzu i w próżni międzynaplaneitarnej; ich kierunek zmienia się około kwadryliona razy na sekundę. Potężne działanie indukcyjne, wywołane przez tak częstą zmienność kierunku prądu, wytwarza w sąsiednich czę-



ściach dielektryku nowe prądy, i w ten sposób fale świetlne przenoszą się dalej i dalej. Rachunek dowodzi, że szybkość ich rozchodzenia się jest równa stosunkowi jednostek elektrycznych, t. j. równa się szybkości światła.

Te prądy przemienne stanowią rodzaj drgań elektrycznych. Zachodzi pytanie, czy są one podłużne, jak drgania dźwiękowe, czy może poprzeczne, jak drgania w eterze Fresnel'a. W przypadku dźwięku powietrze kolejno podlega zgęszczeniom i rozrzedzeniom. Przeciwnie, eter Fresnel'a zachowuje się podczas drgań tak, jak gdyby się składał z warstw nieściśliwych, mogących się jedynie ślizgać jedna po drugiej. Gdyby istniały prądy otwarte, elektryczność, przenosząc się z jednego końca swej drogi na drugi, gromadziłaby się na nim; podlegałaby zgęszczeniom lub rozrzedzeniom, jak powietrze, jej drgania byłyby podłużne. Maxwell jednak przypuszcza istnienie tylko prądów zamkniętych: takie nagromadzenie się ładunków elektrycznych jest niemożliwe, i elektryczność zachowuje się, jak nieściśliwy eter Fresnel'a, jej drgania mają charakter poprzeczny.

Tak więc odnajdujemy tutaj wszystkie cechy charakterystyczne teorii falowej. Nie wystarczało to jednak by skłonić fizyków do przyjęcia teorii Maxwell'a, która wprawiła ich raczej w zachwyt, aniżeli przekonała. Wszystko, co można było powiedzieć na jej korzyść, to chyba tylko to, że nie była ona w sprzeczności z żadnym z zaobserwowanych faktów; i wielką byłoby szkoda, gdyby się okazała błędna. Brakło jej jednak potwierdzenia eksperymentalnego: musiano na nie czekać dwadzieścia pięć lat.



Trzeba było szukać rozbieżności pomiędzy teorią starą a Maxwellowską, rozbieżności, któraby nie była zbyt subtelną dla naszych grubych środków spostrzegawczych. Znalaziono jedną tylko, a ta dała pole do wykonania *experimentum crucis*.

Było to dziełem Hertza, o którym teraz pomówimy.

### ROZDZIAŁ III.

#### FALE ELEKTRYCZNE PRZED HERTZEM.

**1. Doświadczenia Feddersena.** Prądy przemienne otrzymywano już bardzo wczesnie zapomocą środków mechanicznych, używając naprzykład komutatorów obrotowych, przerywaczy młoteczkowych i t. p. Pod pewnym względem były to już drgania elektryczne, których okres był jednak bardzo duży.

Rozbrojenie kondensatora pozwalało otrzymywać oscylacje znacznie szybsze. Feddersen pierwszy okazał doświadczalnie, że wyładowanie butelki lejdejskiej w pewnych warunkach może być oscylujące. Iskrę, otrzymywaną przy rozbrajaniu butelki lejdejskiej, obserwował on zapomocą lusterka wklęsłego, obracającego się naokoło osi; za pomocą tego lustra rzucał obraz iskry na płytkę fotograficzną i w ten sposób otrzymywał obrazy rozmaitych postaci iskry.

Zmieniał opór obwodu: przy oporze słabym otrzymywał wyładowywania oscylujące, a przyjęta metoda badania pozwalała mu obserwować, w jaki sposób zmienia się okres oscylacji w zależności od zmiany pojemności kondensatora lub samoindukcyi obwodu.



Dla zmiany pojemności, wystarczyło zmienić liczbę butelek lejdejskich. Feddersen sprawdził z pewnem przybliżeniem proporcjonalność okresu do pierwiastku kwadratowego z pojemności.

Aby zmienić samoindukcję, Feddersen zmieniał długość drutu przewodzącego. Okazało się, że okres jest mniej więcej proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego z samoindukcyi, ale tylko mniej więcej, gdyż długość drutu w doświadczeniach Feddersena dochodziła nieraz do wielu set metrów, drut zawieszony był na murze i stanowił razem z nim prawdziwy kondensator, którego pojemności nie można było zaniedbać wobec pojemności kondensatora głównego.

Spółczynnika liczbowego Feddersen nie mógł obliczyć, gdyż nie znał dokładnie pojemności użytych kondensatorów; mógł sprawdzić jedynie prawo proporcjonalności.

Feddersen otrzymał wielkość okresów porządku  $10^{-4}$  sekundy.

Zwiększając stopniowo opór przez włączanie w obwód małych rurek z kwasem siarkowym, Feddersen otrzymał wyładowania ciągłe, następnie, przy bardzo dużym oporze, jaki dają, na przykład, zwilżone nitki, wyładowania stawały się przerywane.

Rzecz jasna, że wyładowanie ciągłe powinno dać w wirującym lusterku ciągłą smugę światła; wyładowanie przemienne lub przerywane powinno dać szereg plam świetlnych, oddzielonych jedna od drugiej.

Fotografie wyładowań oscylujących, otrzymane przez Feddersena, mają wygląd szczególny. Widać na nich sze-



reg punktów świetlnych i ciemnych, odpowiadających dwóm końcom iskry; punkty świetlne jednak, należące do jednego z końców iskry, odpowiadają punktom ciemnym drugiego końca i odwrotnie.

Fakt ten łatwo wytłómaczyć: gdy iskra przebija powietrze, świecą cząsteczki, oderwane z elektrody dodatniej; na elektrodzie ujemnej natomiast podobne zjawisko nie zachodzi; koniec dodatni jest więc jaśniejszy od końca ujemnego.

Zdjęcia Feddersena dowodzą więc, że każdy z końców iskry kolejno staje się to dodatnim, to ujemnym. Wyładowanie nie odbywa się więc wciąż w jednym kierunku: nie jest ono przerywanem; mamy tu do czynienia z wyładowaniem wahadłowym.

**2. Teorya lorda Kelvina.** Doświadczenia Feddersena mogą być wytłómaczone w sposób bardzo prosty. Wyobraźmy sobie dwa przewodniki (w doświadczeniu Feddersena będą niemi zbroje kondensatora), połączone drutem: jeżeli tylko ich potencjały są różne, to równowaga elektryczna jest w nich naruszona; podobnież naruszona jest równowaga mechanicznego wahadła, odchylnego od pionu. W obu tych przypadkach widzimy dążność do przywrócenia równowagi.

Prąd płynie po drucie i dąży do wyrównania potencjału obu przewodników; tak samo wahadło powraca do położenia pionowego. Wahadło jednak nie zatrzyma się w swem położeniu równowagi; nabywszy pewną szybkość, mija je wskutek swej bezwładności. Podobnież, gdy po wyładowaniu naszych przewodników równowaga na chwilę powróci, natychmiast będzie zakłócona; działać



tu będzie pewna przyczyna, analogiczna do bezwładności: jest nią *s a m o i n d u k c y a*. Wiadomo, że gdy prąd ustaje, w drutach sąsiednich powstaje prąd o tym samym kierunku. To samo zjawisko zachodzi w tym samym drucie, po którym przechodzi prąd wzbudzający; ostatni w ten sposób jest podtrzymywany przez prąd wzbudzony.

Innemi słowy prąd trwa jeszcze, gdy przestała działać przyczyna, która go wywołała; tak samo jak bryła nie zatrzymuje się w swym ruchu natychmiast po ustaniu działania siły, która ją w ruch wprowadziła.

Gdy oba potencjały już się wyrównały, prąd trwa wciąż jeszcze w tym samym kierunku, a wskutek tego oba przewodniki otrzymają ładunki odwrotne względem posiadanych poprzednio.

Jak w przypadku wahadła tak i tu położenie równowagi jest przekroczone: aby je przywrócić, zjawisko musi się odbyć w kierunku odwrotnym.

W chwili powtórnie zachodzącej równowagi, ta sama przyczyna znowu ją narusza; wahania odbywają się więc nieprzerwanie.

Rachunek wskazuje, że okres wahanja zależy od pojemności przewodników; odpowiednie więc zmniejszenie tej pojemności, co zresztą nie jest rzeczą trudną, wystarcza do otrzymania wahadła elektrycznego, dającego prądy o bardzo małym okresie przemienności.

**3. Różne porównania.** W celu wytłumaczenia teorii lorda Kelvina używałem porównania z wahadłem; można byłoby zresztą użyć wiele innych.

Zamiast wahadła użyjemy kamertonu; wyprowadzony z położenia równowagi, będzie dążył wskutek swej spręż-



żyłości do powrócenia do niego, porwany jednak przez bezwładność, minie je, a siły sprężyste znowu go cofną z powrotem—i tak dalej; w ten sposób kamerton wykona szereg drgań.

Tak więc sprężystość kamertonu odgrywa taką samą rolę, jak siła ciężenia w teorii wahadła, lub jak siła elektryczna w wyładowaniach oscylujących butelki lej-dejskiej; bezwładność sprężyny występuje na miejsce bezwładności wahadła albo samoindukcji.

Lepiej jednak może powrócić do porównania z hydrauliki. Wyobraźmy sobie dwa naczynia połączone poziomą rurką; aby woda była w nich w położeniu równowagi, jej poziom musi być wspólny w obu naczyniach.

Jeżeli skutek jakiejś przyczyny równość jej poziomów zostanie zakłócona, ujawni się ruch w kierunku przywrócenia równowagi; obniży się poziom w naczyniu *A*, gdzie był poprzednio wyższy, i podniesie się w naczyniu *B*, gdzie był niższy; woda w rurce poruszy się w kierunku od naczynia *A* do naczynia *B*. Wskutek bezwładności wody, zawartej w rurce, jej ruch nie ustanie w chwili przywrócenia równości poziomów. Poziom podniesie się wyżej w naczyniu *B* niż w *A*. Wtedy to samo zjawisko powtórzy się w kierunku odwrotnym — i tak dalej.

Będziemy więc mieli szereg oscylacji: jakież jednak będzie ich okres? Będzie on tem większy, im większy jest przekrój naczyni, co do których zakładamy, że mają kształt walców. I rzeczywiście, jeżeli litr wody przepływa z jednego naczynia do drugiego, wywołana przez to różnica poziomów będzie tem mniejsza, im większy będzie



przekrój naczyń. Siła poruszająca będzie wtenczas mniejsza i oscylacye powolniejsze.

Z drugiej strony okres będzie tem dłuższy, im rurka będzie dłuższa: wszystką wodę, zawartą w rurce, trzeba poruszyć, aby litr wody z jednego naczynia przelać do drugiego. Bezwładność, którą trzeba tu pokonać, jest tem większa i oscylacye tem powolniejsze, im dłuższa jest rurka.

W pierwszym rozdziale widzieliśmy, że przekrój naczynia odpowiada pojemności, długość rurki—samoindukcyi. Okres oscylacji elektrycznych będzie więc tem dłuższy, im większe będą pojemność i samoindukcyja.

**4. Zanikanie.** Wiadomo, że oscylacye wahadła nie trwają nieskończenie długo; każde wahnięcie posiada amplitudę mniejszą od poprzedniego i po pewnej ilości coraz to malejących wahnięć w jednym i drugim kierunku wahadło zatrzymuje się w końcu.

Jest to wynikiem tarcia. Widzieliśmy zresztą, że w zjawiskach elektrodynamicznych jest pewna przyczyna, działająca podobnie jak tarcie; jest to opór omowy. Oscylacye elektryczne muszą więc zwalniać biegu tak, jak ruchy wahadła; zanikają, zmniejszają swoją amplitudę i w końcu zatrzymują się zupełnie.

Tarcie wpływa na okres wahadła w sposób bardzo nieznaczny. Podobnież opór omowy najczęściej nie będzie w sposób znaczny wpływał na okres oscylacji elektrycznych; będą się one stawały coraz to drobniejsze, tempo ich jednak nie stanie się wyraźnie powolniejszym.

W niektórych doświadczeniach jednak Feddersen używał bardzo dużych oporów; okres, jak to zresztą można



przewidzieć, staje się wtedy znacznie większym. W przypadku skrajnym wyładowanie przestaje być oscylującym.

Wyobraźmy sobie, że wahadło porusza się w środowisku bardzo lepkiem i stawiającem duży opór: będzie się ono opuszczało nie ruchem przyśpieszonym, lecz powoli, dojdzie do położenia równowagi z szybkością równą zeru, i już go nie minie. Oscylacyi nie będzie.

W ten to sposób skonstruowano galwanometry, zwane aperyodycznymi: igła, umieszczona w pobliżu krążka miedzianego, w którym powstają prądy Foucault'a, musi przy poruszaniu się pokonać bardzo duży opór; opór ten działa, jak rzeczywiste tarcie. Tak więc igła, zamiast wahać się w jedną i w drugą stronę od położenia równowagi, co byłoby niedogodnem dla obserwatora, powoli osiąga położenie stałe i w niem się zatrzymuje.

Przykłady te z dziedziny mechaniki wystarczą, by wytłómaczyć, jak odbywa się wyładowanie butelki lejdejskiej, gdy opór omowy jest bardzo duży.

Butelka osiąga równowagę elektryczną powoli i nie przekracza jej wcale. Wyładowanie przestaje być oscylującym, staje się ciągiem. Tego właśnie dowiodły doświadczenia Feddersena i w ten sposób całkowicie potwierdziły teorię lorda Kelvina.

Tarcie i inne opory podobne nie są jedyną przyczyną zanikania drgań, nie cała energia ciał oscylujących zamienia się na ciepło.

Rozważmy na przykład widełki strojowe, których amplituda drgań stopniowo się zmniejsza. Niewątpliwie zachodzą tu tarcia, które kamerton lekko nagrzewają; jednocześnie jednak słyszymy dźwięk: jest tu więc poruszane



powietrze, które energii swego ruchu zapożycza od kamertonu. Część energii kamertonu rozprasza się drogą swego rodzaju promieniowania nazewnątr.

Podobnie energia oscylacji elektrycznych rozprasza się pod dwiema postaciami: opór omowy przekształca jej część na ciepło; wkrótce jednak zobaczymy, że druga jej część promieniuje nazewnątr, zachowując swą naturę elektryczną: jest to fakt, który teoria Maxwell'a pozwałała przewidzieć, a który pozostaje w sprzeczności ze starą elektrodynamiką.

Oscylacje elektryczne podlegają więc podwójnemu hamowaniu; wskutek oporu omowego (analogicznego do tarcia) i wskutek promieniowania.

## ROZDZIAŁ IV.

### WIBRATOR HERTZA.

**1. Odkrycie Hertza.** Prądy dielektryczne, przewidziane przez teorię Maxwell'a, nie mogły być zauważone w normalnych warunkach. Powiedzieliśmy, że muszą one przewyciężyć opór sprężysty, który wciąż się zwiększa w miarę ich trwania; muszą więc być one albo bardzo słabe, albo bardzo krótkotrwałe, jeżeli tylko stale zachodzą w tym samym kierunku. Aby można było zauważyć ich skutki, muszą one często zmieniać kierunek, ich przemienność musi być bardzo gwałtowna. Prądy przemienne techniczne, nawet oscylacje Feddersena dla tego celu są niedostateczne.

Z tej to przyczyny myśli Maxwell'a dwadzieścia lat oczekiwały potwierdzenia eksperymentalnego. Hertzowi przypadło w udziale dać to potwierdzenie. Uczony ten, którego życie było tak krótkie, a tak pracowite, początkowo miał się poświęcić zawodowi budowniczego. Powołanie nieprzeparte pchało go w kierunku nauki czystej. Wyróżniony i zachęcony przez Helmholtz'a, mianowany był profesorem nadzwyczajnym politechniki w Karlsruhe:



tam wykonał on prace, które unieśmiertelniły jego imię, i z ukrycia odrazu przeniosły go w krainę sławy.

Niedługo jednak cieszył się rozgłosem: zaledwo zdołał założyć sobie nowe laboratorium w Bonn; gdy choroba pozbawiła go możności korzystania z niego, a śmierć go wkrótce zabrała. Pozostawił nam jednak — poza swem genialnem odkryciem — olbrzymiej wagi doświadczenia nad promieniami katodowemi i bardzo oryginalną i głęboko pomyślaną książkę o filozofii mechaniki.

**2. Zasada wibratora.** Chodziło o to, by, jak to powiedziałem, otrzymać wibracje nadzwyczaj szybkie. Według tego, cośmy powiedzieli w rozdziale III, zdawałoby się, że wystarczyłoby powtórzyć doświadczenia Feddersena, zmniejszając pojemność i samoindukcję. W podobny sposób otrzymuje się szybkie oscylacje wahadła, zmniejszając jego długość.

Nie wystarczy jednak skonstruować wahadła; trzeba jeszcze wprowadzić je w ruch. Jest więc rzeczą konieczną, by jakabądź przyczyna wychyliła je z położenia równowagi i żeby następnie przestała działać nagle, to jest w przeciągu czasu bardzo małego w porównaniu z okresem jednego wahaniciu; bez tego nie będzie się ono wahało.

Jeżeli naprzykład ręką odchylić wahadło od położenia pionowego, a następnie zamiast puścić je raptem, pozwoli wyciągać rękę, nie rozwierając palców, ciągle podtrzymywane wahadło z szybkością równą zeru przybędzie do położenia równowagi i nie przekroczy go wcale.

Jednem słowem czas wyzwalaenia wahadła powinien być bardzo mały w porównaniu z okresem oscylacji; tak więc przy okresach, wynoszących jedną stamilionową se-



kundy, nie mógłby być użyty w tym celu żaden układ mechaniczny, jakkolwiek krótkim on by się nam wydawał w porównaniu z naszymi zwykłymi jednostkami czasu.

Hertz rozwiązał kwestyę w sposób następujący: Weźmy nasze wahadło elektryczne (patrz str. 23) i w drucie, który łączy oba przewodniki, zróbmy przerwę, wynoszącą kilka milimetrów. Połączmy obie symetryczne części naszego aparatu w ten sposób otrzymane, z dwoma biegunami cewki Ruhmkorff'a. Prąd indukcyjny wkrótce naładuje oba konduktory, a różnica ich potencjałów będzie wzrastała stosunkowo powoli.

Przerwa początkowo nie pozwoli wyładować się przewodnikom; powietrze w tej przerwie zachowuje się jak izolator i utrzymuje nasze wychylone wahadło w położeniu równowagi.

Gdy jednak różnica potencjału stanie się dostatecznie wielką, w cewce błysnie iskra i utworzy drogę elektryczności, zebranej na konduktorach. Przerwa w przewodnikach przestanie je w tej chwili izolować, i nastąpi jakgdyby wyzwolenie nagromadzonej elektryczności, zniknie więc przyczyna, która nie pozwalała wahadłu powrócić do położenia równowagi. Jeżeli pewne dość zawile warunki, starannie zbadane przez Hertza, będą spełnione, wyładowanie będzie dostatecznie krótkotrwałe, aby wywołać oscylacje.

**3. Formy wibratorów.** Tak więc zasadnicze części oscylatora stanowią:

1) Dwa skrajne przewodniki o dużej względnie pojemności, którym cewka dostarcza początkowo ładunków



różnoimiennych; przewodniki te wymieniają ładunki po każdej pół-oscylacji.

2) Przewodnik pośredni w kształcie drutu, przez który elektryczność przechodzi z jednego ze skrajnych przewodników do drugiego.

3) Iskiernik z mikrometrem, umieszczony w środku przewodnika pośredniego. Jest to miejsce oporu, który pozwala wychylić wahadło elektryczne z położenia równowagi: opór ten znika momentalnie w chwili przebiegania iskry, co wyzwala wahadło i puszcza je w ruch.

4) Cewka indukcyjna, której bieguny połączone są z obiema połówkami wibratora, a które nadaje im pierwsze ładunki. Jest to, że tak powiem, ręka, wychylająca wahadło z położenia równowagi.

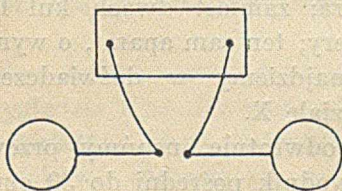


Fig. 1.

W pierwszym wibratorze Hertza przewodnikami skrajnymi były dwie kule o promieniu 15 cm., a przewodnikiem pośrednim—drut długości 150 cm.

Hertz zastępował też kule przez płytki prostokątne.

Zegnijmy przewodnik pośredni w kształcie prostokąta i zbliźmy obie blaszki tak, by utworzyć z nich zbroję kondensatora płaskiego, a otrzymamy ekscytator Blondlot'a

(fig. 2), którym badacz ten najczęściej się posługiwał, jako rezonatorem.

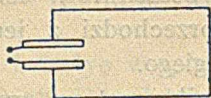


Fig 2.

Należałoby tylko kondensator płaski zastąpić butelką lejdejską, a drut pośredni przedłużyć, aby znów otrzymać aparat Feddersena, którego wibracje są o tyle powolne, że wyzwolenie drgań może zachodzić na drodze mechanicznej.

Usuńmy przewodnik pośredni, a otrzymamy wibrator Lodge'a, ograniczony do dwóch kul, między którymi przeskakuje iskra; zamiast dwóch kul Lodge umieszcza ich trzy lub cztery; ten sam aparat, o wymiarach znacznie mniejszych, odnajdziemy w doświadczeniach Righi'ego i Bose'a w rozdziale X.

Albo też, odwrotnie, usuńmy przewodniki skrajne i skróćmy przewodnik pośredni do 30 cm., a otrzymamy mały wibrator Hertza. Ładunki elektryczne nie będą się koncentrowały na końcach: będą rozmieszczone na całej długości drutu.

**4. Znaczenie iskry.** Łatwo zrozumieć, jak ważną jest rzeczą, by iskra była dobra, to jest, by przeskakiwała szybko, w przeciągu czasu bardzo małego w porównaniu z okresem oscylacji. Tysiące okoliczności wpływa na gatunek iskry. Przedewszystkiem iskra powinna przeskakiwać pomiędzy dwiema kulkami; byłaby niedobłą, gdyby



przeskakiwała między dwoma ostrzami albo między kulką i ostrzem.

Następnie, powierzchnie obu kulek powinny być bardzo gładkie. W powietrzu szybko się one utleniają, i często należy je czyścić.

W końcu powinna być zachowana odpowiednia odległość między kulkami. Ona to właśnie ogranicza amplitudę oscylacji. W celu otrzymania oscylacji obszernych należałoby mocno odchylić wahadło od położenia równowagi, a więc obu połówkom oscylatora należałoby udzielić bardzo wysokich ładunków zanim iskra przeskoczy; iskra przeskoczy w chwili, gdy różnica potencjału dochodzi do pewnej określonej wartości, i to tem większej, im odległość w chwili wyładowania będzie większa. Zachodzi więc konieczność zwiększania tej odległości; nie można jednak tego robić bez granic, gdyż iskra przestaje być wówczas dobrą.

Można bardzo szybko nauczyć się odróżniać dobre i złe iskry po wyglądzie i po dźwięku, jaki wydają.

**5 Wpływ światła.** Hertz zauważył jeszcze jedno zjawisko bardzo ciekawe: zdawało się, że iskry pierwotne i wtórne wywierają na siebie pewien wpływ niewytłumaczony. Po wstawieniu ekranu pomiędzy nie, iskry wtórne bić przestawały. Hertz z początku myślał, że zachodzi tu jakiś wpływ elektryczny; wkrótce jednak spostrzegł, że zjawisko to jest wynikiem światła iskry.

A jednak szyba szklana, przepuszczająca światło, paraliżowała wpływ jednych iskier na drugie: pochodzi to skąd, że promienie nadfioletowe, które są czynne w tym wypadku, są pochłaniane przez szkło. Szyba z fluorytu,



przepuszczająca promienie nadfioletowe, nie hamuje wpływu isker pierwotnych.

**6. Wpływ oliwy.** Sarasin i de la Rive zrobili wielki krok naprzód, wywołując bicie isker w oliwie. Ponieważ kulki iskiernika nie utleniają się w tych warunkach, odpada konieczność ciągłego ich czyszczenia, same zaś iskry są o wiele regularniejsze. W końcu, ponieważ potencjał wyładowania jest tu większy, niż w powietrzu, można mocniej wychylić wahadło elektryczne, zanim nastąpi rozbrojenie przez iskrę. Zwiększamy w ten sposób amplitudę oscylacji.

**7. Długość fali.** Rozmaite rozważania teoretyczne każą przypuszczać, że duży wibrator Hertza, powyżej przez nas opisany, wywołuje drgania o częstości 50.000.000 na sekundę.

Wiadomo, że długością fali nazywamy drogę, przebieganą podczas trwania jednej oscylacji; jeżeli szybkość rozchodzenia się jest ta sama, co i światła, to jest 300.000 kilometrów na sekundę, to długością fali będzie jedna pięćdziesięciomilionowa 300.000, kilometrów to jest 6 metrów.

Też same rozważania każą przewidywać, że mały wibrator Hertza da nam oscylacje 10 razy szybsze, a więc o długości fali 10 razy mniejszej.

Dalej zobaczymy, że te przewidywania teoretyczne zostały sprawdzone przez bezpośrednie pomiary długości fali.



## ROZDZIAŁ V.

### METODY OBSERWACYI.

**1. Zasada obserwacyi.** Wibrator wywołuje w otaczającej go przestrzeni prądy przesunięcia i zjawiska indukcji; albo też jeszcze wskutek indukcji wywołuje zaburzenie w jednym punkcie drutu, które następnie rozchodzi się wzdłuż tego drutu. Pozostaje nam jeszcze zobaczyć, w jaki sposób możnaby te zjawiska uwidocznic.

W tym celu korzystamy zwykle z rezonatora. Gdy drgają widełki stroikowe, ich drgania udzielają się otaczającemu powietrzu; jeżeli w sąsiedztwie znajdują się widełki nastrojone na jeden ton z pierwszymi, to z kolei zaczynają drgać i one. Podobnie i oscylator elektryczny wywołuje zaburzenia w otaczającym go polu i zmusza do drgania inny oscylator, w tem samem polu umieszczony, jeżeli okresy ich drgań są jednakowe. Wibrator w ten sposób staje się rezonatorem.

Jednakże między rezonansem akustycznym i rezonansem elektrycznym jest duża różnica. Rezonator akustyczny bardzo wyraźnie odpowiada na odbierane pobudzenia, doskonale z nim uzgodnione. Jego rezonans natomiast praktycznie jest równy zeru przy najmniejszej choćby różnicy



okresów. Rezonator elektryczny odpowiada dobrze na pobudzenia, z którymi jest uzgodniony; nie tak dobrze odpowiada na te, których okres nie wiele się różni od jego okresu, i dość słabo na te pobudzenia, które są w dużej z nim niezgodności.

Przyczyną tej różnicy jest to, że drgania akustyczne zanikają powoli, ich amplituda pozostaje mniej więcej tą samą; drgania elektryczne zanikają szybko. Z tej to przyczyny rezonans jest mniej wyraźny i jak gdyby trochę zatarty.

Rezonator jest prosto wibratorem tylko bez cewki indukcyjnej, która zresztą stała się tu niepotrzebną; rzeczywiście, cewka służy wyłącznie do ładowania ekscytatora, natomiast tutaj rezonator ma być wprowadzony w ruch przez pole zewnętrzne.

Każdy zresztą ekscytator może być użyty jako rezonator. Zazwyczaj usuwa się w nim przewodniki zewnętrzne. Dwa tylko typy są używane: rezonator otwarty, w którym drut czy przewodnik pośredni jest prostoliniowy i rezonator zamknięty, gdzie przewodnik jest wygięty w koło tak, że jego końce znajdują się bardzo blisko siebie.

**2. Działania rezonatora.** Dźwięk rozchodzi się wewnątrz rury organowej w ten sposób, że odbija się o jeden jej koniec, powraca, odbija się o drugi, wraca w kierunku odwrotnym i tak dalej. Wszystkie te fale odbite interferują między sobą, dodają się do siebie, jeżeli są zgodne, w przeciwnym przypadku znoszą się wzajemnie. W ten to sposób jedne tony potęgują się, inne zanikają.

Działanie rezonatora elektrycznego jest zupełnie podobne. Zaburzenie rozchodzi się wzdłuż drutu, odbija się



na jego końcach, a współdziałanie wszystkich tych fal odbitych potęguje te drgania elektryczne, których okres ma wartość odpowiednią.

Wyżej wyjaśniłem, dlaczego wibratory muszą być połączone z iskiernikiem, wywołującym raptowne rozbrojenie wahadła elektrycznego. Tutaj tej konieczności już nie ma, gdyż rezonator wprowadzany jest w ruch przez pole zewnętrzne. Sama jednak wibracja rezonatora nam nie wystarcza; musimy się jakoś przekonać o tem, że drga. Uprzedzi nas o tem iskra; a więc w środku rezonatora otwartego pozostawiamy iskiernik. Iskry wtórne, wywołane w rezonatorze, są o wiele krótsze, niż pierwotne iskry wibratora; wynoszą one zaledwie kilka setnych milimetra.

Przy użyciu rezonatora zamkniętego wystarcza oba jego końce tak do siebie zbliżyć, aby iskra mogła między nimi przeskakiwać. Gdy amplituda drgań staje się dostatecznie dużą, różnica potencjału na obu końcach może osiągnąć wartość, wystarczającą do otrzymania iskry. W tej chwili dopiero otrzymaliśmy sygnał obecności drgań. Zjawisko to podobne jest do falowania wody w szklance, o którym dowiadywalibyśmy się wtenczas dopiero, gdyby woda wskutek ruchu zaczynała się wylewać poza brzegi naczynia.

Jeżeli są zamknięte oba końce rury dźwięczącej, pół długości fali równa się całkowitej długości rury dźwięczącej; analogicznie, połową długości fali drgań własnych rezonatora będzie całkowita długość drutu, jeżeli oba jego końce nie posiadają pojemności; koniec taki jest podobny do ściany, zamykającej rurę: w punkcie, gdzie elektryczność nie może płynąć ani się zbierać, prąd jest równy zeru.



Zjawisko się zmienia, gdy pojemność na końcach staje się znaczną i dlatego to pół fali w rezonatorze zamkniętym jest nieco większe od długości drutu.

Uwagi te powinny nam pomóc do zrozumienia działania rezonatora otwartego. Niech będzie  $AD$  drut przerywany w połowie przez iskiernik  $BC$ . Iskiernik jest bardzo krótki, o długości zaledwie kilku setnych milimetra; a więc koniec  $B$  części  $AB$  i koniec  $C$  części  $CD$  tworzą jak gdyby zbroje kondensatora z bardzo cienką warstwą izolującą a więc o dość znacznej pojemności; będą się one zachowywały raczej jak końce otwartej rury dźwięczącej niż zamkniętej.

Jeżeli iskra przeskakuje, rezonator  $AD$  wibruje cały w sposób podobny do rury z obu końców zamkniętej,  $AD$  jest wówczas połową długości fali. Jeżeli iskry niema, obie połowy rezonatora,  $AB$  i  $CD$ , drgają oddzielnie, ale tak, jak rura na jednym końcu otwarta, a z drugiego zamknięta. Połową długości fali będzie dwukrotna długość  $AB$ , a więc znowu  $AD$ .

**3. Rozmaite sposoby użycia iskry.** Można uniknąć użycia rezonatora, który wzmacnia pewne wyższe drgania harmoniczne i zmienia w ten sposób kształt fali. Przypuśćmy, że zaburzenie rozchodzi się wzdłuż drutu, którego oba końce znajdują się w niewielkiej od siebie odległości. Do jednego z nich zaburzenie dojdzie prędzej niż do drugiego, i w pewnej chwili powstanie pewna różnica potencjału między temi punktami; jeżeli będzie ona wystarczającą, — przeskoczy iskra. W ten sposób, zmieniając długość drutu między końcami iskiernika, Pérot i Birke-land zebrali materiał doświadczalny, który pozwolił im



wyznaczyć kształt zaburzeń. Mając rezonator, lub bez niego, łatwo jest zmierzyć długość iskry. Śruba pozwala więcej lub mniej rozsunąć końce przerywacza i wyznaczyć w ten sposób, przy jakiej odległości iskry zaczynają przeskakiwać.

Zjawisko staje się o wiele efektowniejszem, jeżeli się posiłkować rurką Geisslera. Rurka z gazem rozrzedzonym zaczyna świecić, jeżeli ją umieścić w polu przemiennem, wzbudzonem przez wibrator.

**4. Zjawiska cieplne.** Zamiast obserwować iskry, można badać zjawiska cieplne, wywoływane przez prądy oscylujące bądź w rezonatorze, bądź w przewodniku, wzdłuż którego zaburzenie się rozchodzi.

Można używać rozmaitych metod w celu zbadania ogrzewania się przewodników.

- 1) Mierzyć spowodowane przez nie wydłużenie.
- 2) Mierzyć zmianę ich oporu.
- 3) Używać ogniwa termo-elektrycznego.

I.—Mierzenie wydłużenia pomimo wielu dowcipnych urządzeń, jakie były w tym celu stosowane, jest mało dokładne. Nie będziemy się więc dłużej zatrzymywać ani na tej metodzie, ani na doświadczeniach, w których używano ruchu powietrza ogrzanego w rurze, otaczającej przewodnik.

II.—Pomiary zmienności oporu dają lepsze rezultaty. Posługujemy się tutaj bolometrem; jest to zwykły most Wheatstone'a, przez którego dwie gałęzie przebiega prąd z ogniwa; prócz tego przez jedną z nich przechodzi prąd oscylacyjny.

Przypuśćmy, że igła galwanometru  $G$  znajduje się na zerze, a w tejże chwili oscylacje zaczynają przechodzić



przez część jednej gałęzi, naprzykład  $AB$ ; gałąź  $AB$  rozgrzewa się, opór jej się zwiększa, narusza się równowaga, a igła galwanometru zostaje odchylona.

III. — Przepuszcza się prąd przemienny przez cienki drut, a w jego sąsiedztwie (w odległości około 0.1 milimetra) umieszcza się ogniwo termoelektryczne. Ta metoda jest niezmiernie czuła.

**5. Zjawiska mechaniczne.** Na pierwszy rzut oka zdawałoby się, że zjawiska mechaniczne, oparte bądź na przyciąganiach elektrostatycznych, bądź na wzajemnem oddziaływaniu prądów, nie mogą posłużyć do wykrycia oscylacyi Hertza. I rzeczywiście, oscylacye te są zanadto szybkie, aby jakiebądź urządzenie mechaniczne mogło nadążyć za wszystkimi zmianami elektrycznymi lub magnetycznymi: jedynie przeciętną wartość zjawiska możnaby tą metodą otrzymać.

Galwanometr, naprzykład, otrzymując kolejno szereg impulsów o kierunkach przeciwnych, pozostawałby w spokoju, wartość przeciętna zjawiska wypadłaby równą zeru.

Podobnie, gdyby kwadranty elektrometru połączyć z aparatem, w którym zachodzą drgania elektryczne i gdyby igłę galwanometru podnieść do pewnego potencjału stałego, ładunek igły ciągle zachowywałby ten sam znak, ładunek kwadrantów zmieniałby go w każdym momencie; ich wpływ wzajemny ciągle zmieniałby swój kierunek, i jego wartość przeciętna znowu równałaby się zeru.

Bjerknes posługiwał się innego rodzaju zestawieniem w celu ujawnienia mechanicznego działania fal Hertza. Używał on elektrometru kwadrantowego, w którym za-



chował tylko dwa przeciwległe kwadranty. Oba te kwadranty łączył odpowiednio z dwoma końcami rezonatora, oczywiście tak ustanowionego, aby nie dawał iskier. Igła elektrometru była izolowana.

W pewnej chwili igła naładowana została przez wpływ na jednym ze swych końców elektrycznością dodatnią, na drugim—ujemną; kwadranty wywierają na nią działanie skręcające. Po upływie pół okresu ładunek kwadrantów zmienia znak, lecz i ładunek igły przez wpływ również zmienia znak; ostatecznie więc kierunek obrotu pozostanie ten sam, co poprzednio.

**6. Porównanie metod.** Pomiedzy metodami opartymi na obserwowaniu iskry, a metodami cieplnymi i mechanicznymi zachodzi duża różnica.

Iskra przeskakuje lub nie przeskakuje; na to, by przeskoczyła, wystarcza, aby potencjał w dowolnej chwili był dostatecznie duży. Iskra więc pozwala nam sądzić o maksymalnej amplitudzie drgania.

Przeciwnie, zjawiska cieplne i mechaniczne pozwalają nam badać wielkości przeciętne; one dają nam miarę przeciętnej amplitudy drgania.

Bjerknes, używając obu tych metod, mógł zmierzyć zanikanie drgań własnych rezonatora.

Łatwo pojąć, że im wahania zanikają szybciej, tem mniejszy jest stosunek amplitudy przeciętnej do maksymalnej. Porównanie obserwacji zapomocą obu tych metod pozwala nam wyznaczyć ten właśnie stosunek.

**7. Koherer.** Branly skonstruował znacznie czulszy odbieracz (detektor), który nazwał kohererem; jest on oparty na zjawisku zupełnie odmiennem.



Wyobraźmy sobie rurkę szklaną o przekroju dość wązkim, napełnioną opiłkami metalowemi. Każde ziarno opiłek jest dobrym przewodnikiem elektryczności; przy przejściu jednak od ziarna do ziarna elektryczność napotyka tak znaczny opór, że opór całego przyrządu jest umiejscowiony prawie wyłącznie w punktach stykania się z sobą tych małych cząstek.

Doświadczenie wskazuje, że opór ten zmniejsza się znacznie, gdy przyrząd wystawiony jest na działanie promieni Hérta, inaczej mówiąc, sił indukcyjnych, powstających w sąsiedztwie wibratora Hérta, sił, których kierunek zmienia się ogromną liczbę razy w ciągu sekundy.

Nie będę próbował wyjaśniać tego zjawiska; ograniczę się tylko do uwagi, że podobne zjawiska były zauważone przy wystawieniu koherera nie na działanie promieni Hérta, lecz na wpływ zjawiska innego rodzaju, lecz także o charakterze okresowym i o okresie bardzo krótkim, — naprzykład na wpływ drgań dźwiękowych.

W każdym razie promienie Hérta wpływają tak, jak gdyby pod ich wpływem kontakt pomiędzy ziarnami opiłek stawał się mocniejszy. Wstrząśnienie lub podniesienie temperatury wystarcza do przywrócenia kohererowi oporu pierwotnego.

Przypuśćmy, więc, że w obwód z ogniwnem włączony jest koherer wystawiony na działanie promieni wysyłanych przez wibrator Hérta. Gdy wibrator nie działa, przez koherer przebiegać będzie tylko prąd stały ogniwa. Natomiast podczas działania wibratora przez koherer oprócz prądu stałego przebiegać będą bardzo szybkie prądy przemienne, wzbudzone przez wibrator drogą indukcji. Lecz



w tym przypadku prądy przemienne spowodują zmniejszenie się oporu, wskutek tego natężenie prądu stałego znacznie się zwiększy, o czym nas przekonają wskazania galwanometru.

Możnaby porównać detektor Branly'ego z powyżej opisanym bolometrem; w obu przyrządach pod wpływem drgań Hertza zmniejsza się opór przewodnika, po którym przebiega prąd; co prawda zmniejszenie oporu zachodzi w obu przypadkach z powodów bardzo różnych: raz z powodu podniesienia się temperatury przewodnika, w drugim zaś przypadku — z powodu lepszego kontaktu pomiędzy cząstkami opiłek.

Zresztą koherer jest przyrządem o wiele czulszym; spotkamy go jeszcze przy doświadczeniach Bose'a w rozdziale X. Ten to właśnie przyrząd umożliwił telegrafowanie bez drutu.

Kohererem posługiwano się w celu zbadania, czy słońce nie wysyła promieni Hertza; na badania te otrzymano odpowiedź przeczącą. Jest rzeczą możliwą, że promienie te są pochłaniane przez atmosferę słońca.

Doświadczenie bez żadnej wątpliwości wykazuje, że gazy pod ciśnieniem normalnym są dość przezroczyste dla tych promieni. Ale czy gazy rozrzedzone posiadają tę samą własność? Widzieliśmy, że rurka Geisslera zaczyna świecić w polu fal Hertza. Nie może ona świecić, nie pochłaniając energii; a więc gazy rozrzedzone pochłaniają promienie Hertza; i być może, że promienie, które mogłyby przez słońce być wysyłane, są pochłaniane przez górne warstwy obu atmosfer, gdzie ciśnienie jest bardzo słabe.



## ROZDZIAŁ VI.

### ROZCHODZENIE SIĘ FAL WZDŁUŻ DRUTU.

**1. Wywoływanie zaburzeń w drucie.** Wibrator Hertza wywołuje siły indukcyjne w otaczającym go polu. Jeżeli w tem polu umieścić długi drut metalowy, to w części drutu bliższej ekscytatora, powstaną pod wpływem sił indukcyjnych prądy przemienne, a więc wzdłuż całego drutu rozchodzić się będzie pewne zaburzenie elektromagnetyczne.

Aby wywołać przebieganie tych zaburzeń elektromagnetycznych wzdłuż drutu, można użyć rozmaitych środków; z pośród nich wyróżnimy metodę elektrostatyczną Hertza i elektromagnetyczną, podaną przez Blondlot'a.

**Metoda Hertza.**— Dwie kule ekscytatora są zastąpione przez dwie blaszki  $A$  i  $B$  o dużej pojemności; naprzeciwko nich są umieszczone dwie inne  $A'$  i  $B'$ , a w środku każdej z nich przymocowano po kawałku drutu określonej długości. W ten sposób pojemność krążków  $A$  i  $B$  została zwiększona i z każdego z nich utworzono rodzaj kondensatora.



Gdy oscylator zaczyna działać, jeden z krążków, na przykład  $A$ , ładuje się dodatnio,  $B$  ujemnie; po upływie połowy drgania ładunki zmieniają znak; to samo zjawisko powtarza się w równych odstępach czasu.

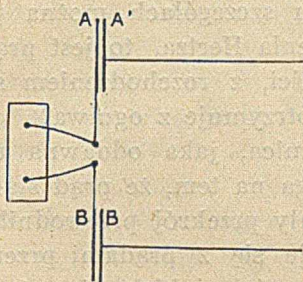


Fig. 3.

Krażki  $A'$  i  $B'$  przez wpływ otrzymują ładunki o znakach odwrotnych niż krażki  $A$  i  $B$ , zaś w drucie zaczynają zachodzić zjawiska falowe, których okres jest równy okresowi wibratora.

Metoda Blondlot'a. — Ekscytator ma formę drutu zgiętego, zakończonego kondensatorem (rys. 4); naokoło

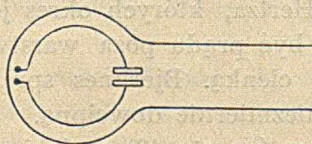


Fig. 4.

tego pierwszego drutu umieszczony jest inny, zakończony dwoma dość znacznej długości drutami prostymi. Oba druty, zgięte w kształcie koła, izolowane są jeden od drugiego przez owinięcie ich warstwą kauczuku.



Podczas drgań, zachodzących w wibratorze, powstają prądy okresowe, które wywołują prądy indukcyjne o tym samym okresie.

**2. Sposób rozchodzenia się.** Zachodzi kwestya, czy we wszystkich szczegółach można porównać rozchodzenie się zaburzenia Hertza, to jest prądu przemiennego o częstej zmienności, z rozchodzeniem się prądu stałego, takiego, jaki się otrzymuje z ogniwa?

Pierwsza różnica, jaka oddawna uderzała eksperymentatorów, polega na tem, że prąd stały przechodzi jednostajnie przez cały przekrój przewodnika.

Inaczej dzieje się z prądami przemiennymi, nawet o rzadkiej zmienności, jakich się używa w przemyśle elektrotechnicznym. Natężenie prądu na osi przewodnika jest prawie równe zeru, na powierzchni—o wiele większe. Wszystko zachodzi tak, jak gdyby prąd powierzchniowy, siłami indukcyjnymi przez siebie rozwijanemi osłaniał część wewnętrzną przewodnika od wpływów zewnętrznych.

Można oczekiwać, że to samo zjawisko, tylko w stopniu znacznie silniejszym, występować będzie i w przypadku oscylacji Hertza, których okres jest o wiele krótszy. Nie powinno być prądu poza warstwą powierzchniową nadzwyczajnie cienką. Bjerknes sprawdził to przypuszczenie metodą niezmiernie dowcipną.

Opowiedziałem (na str. 43), w jaki sposób ten uczony mierzył zanikanie drgań rezonatora. Zanikanie to zależy od materiału, z jakiego rezonator jest zrobiony. Inne ono będzie dla izolatora z żelaza, a inne dla rezonatora miedzianego.

Bjerknes za pomocą elektrolizy pokrywa rezonator



żelazny warstwą miedzi, a miedziany — warstwą żelaza. Skoro tylko grubość tej warstwy dojdzie do jednej setnej milimetra, rezonator żelazny zachowuje się, jak gdyby był z miedzi, a rezonator miedziany — jak gdyby był z żelaza.

Doświadczenia te wskazują, że prądy pozostają ograniczone do cienkiej warstwy, której grubość sięga około jednej setnej milimetra. Zjawisko to zgodne jest zarówno z dawną teorią, jak i z teorią Maxwell'owską.

Teoria Maxwell'a pozwala przewidzieć jeszcze inną osobliwość, która jednak, niestety, nie podlega bezpośrednio sprawdzeniu eksperymentalnemu. Prądy przemienne, które płyną w drucie, wywołują siły indukcyjne w otaczającym go powietrzu. Według Maxwell'a te siły indukcyjne powinny wywoływać i w samym powietrzu prądy przemieszczenia.

Tak więc przy prądach stałych mielibyśmy w całej masie przewodnika prądy przewodzone i żadnych zjawisk w powietrzu otaczającym; przy prądach przemiennych o częstszej zmienności, przeciwnie, otrzymalibyśmy prądy przewodzone w powierzchniowej części przewodnika, żadnych zjawisk w jego części osiowej i prądy przemieszczenia w powietrzu.

**3. Szybkość rozchodzenia się i przenikania.** — Kirchhoff próbował wyliczyć szybkość rozchodzenia się dowolnego zaburzenia elektrycznego, Przedewszystkiem założył on, że przewodnik jest doskonały i że prąd, nie napotykając oporu omicznego, ma pokonać tylko samoindukcję, analogiczną do bezwładności. Dowiódł on, że w tych warunkach szybkość rozchodzenia się równa jest



stosunkowi jednostek, to jest szybkości światła, wynoszącej 300.000 kilometrów na sekundę.

Co więcej, zaburzenie takie rozchodzi się zupełnie regularnie: jeżeli na początku znajduje się ono na pewnym ograniczonym odcinku drutu, długości naprzykład metra, to pod koniec jednej stumilionowej sekundy czoło fali posunie się o trzy metry, podobnie i jej koniec również posunie się o trzy metry; w ten sposób nie zmieni się odległość między czołem fali a jej końcem, i zaburzenie wciąż zajmować będzie na drucie długość jednego tylko metra.

Jednakże te warunki teoretyczne nie są spełnione w przewodnikach rzeczywistych, które oprócz samoindukcji przeciwstawiają prądom i opór omiczny, analogiczny do tarcia. Cóż więc zachodzi? Czoło fali ciągle posuwać się będzie z tą samą szybkością — szybkością światła; jej koniec jednak posuwać się będzie znacznie wolniej, długość więc przewodnika, zajętego przez zaburzenie, będzie coraz większa. Tak wyciąga się po drodze kolumna wojska, pozostawiająca za sobą maruderów. Mamy tu do czynienia z tak zwaną dyfuzją prądu.

Dyfuzji tem mniej należy oczekiwać, im krótszy jest okres drgań. Praktycznie rzecz wzięwszy, można powiedzieć, że przy falach Hertza dyfuzji niema wcale i że wszystkie przewodniki zachowują się jak doskonałe.

Przyczyną tego nie jest zmniejszenie się oporu omicznego w tym przypadku; nawet, przeciwnie, opór ten zwiększa się, gdyż przepływ prądu odbywa się tylko w warstwie przewodnika najbliższej powierzchni. Lecz zarazem samoindukcja, która zależy od szybkości zmian prądu, wzrasta



jeszcze szybciej, gdyż zmiany te są niezmiernie szybkie i opór omiczny staje się znikomo małym wobec samoindukcyi.

Takie to konsekwencye pozwalają przewidzieć teorya dawna i teorya Maxwell'a. Na tym punkcie obie są zgodne ze sobą. Zobaczmy, że zjawiska przewidziane zostały potwierdzone przez eksperyment.

**4. Doświadczenia Fizeau i Gounelle'a.**—Doświadczenia Fizeau i Gounelle'a wykonane były w roku 1850 metodą, opartą na tej zasadzie, co i znakomita metoda Fizeau, użyta przez niego do pomiarów szybkości światła.

Obwód koła drewnianego, obracającego się z dużą szybkością, podzielony był na trzydzieści sześć wycinków, zrobionych kolejno z platyny i drzewa. Dwa druty, z których każdy zakończony szczoteczką metalową, ocierały się o obwód koła; mogły być w ten sposób albo połączone z sobą przewodnikiem, albo też izolowane od siebie drzewem. Szczoteczek takich było trzy pary.

Jeden z biegunów ogniwa połączony był z ziemią, drugi—z pierwotnym drutem  $AB$ , zakończonym szczoteczką  $B$ . Drut innej linii  $CDEE'$  przechodził od szczoteczki  $C$  do końca  $D$  linii, a następnie powracał do dwóch szczoteczek  $E$  i  $E'$ ; w końcu dwa druty  $FG$  i  $F_1G_1$  łączyły z ziemią szczoteczki  $F$  i  $F_1$ .

Za pomocą wycinków koła mogły być łączone  $B$  z  $C$ ,  $E$  z  $F$  i  $E'$  z  $F'$  i tak były rozmieszczone, że połączenia  $BC$  i  $EF$  były przerywane lub zamykane jednocześnie, przeciwnie połączenie  $E'$  z  $F'$  było zamykane przy tamtych dwóch przerwanym, a przerywane w chwili, gdy tamte były zamknięte.



Zobaczymy, przedewszystkiem, co powinno było zachodzić, gdy prąd rozchodził się z szybkością dokładnie określoną, jak światło i dźwięk. Nazwijmy okresem przeciąg czasu, jaki upływa od chwili, gdy nawiązuje się kontakt między szczoteczka i jednym z wycinków, a chwilą, gdy kontakt ten już się przerywa, to jest jedną trzydziestą szóstą czasu, w ciągu którego zachodzi całkowity obrót koła. Okres ten będzie tem krótszy, im koło szybciej się obraca.

Przypuśćmy, że czas  $T$  rozchodzenia się prądu wzdłuż linii  $CDE$ , równy jest parzystej liczbie okresów. Elektryczność, idąca z ogniwa, przejdzie z  $B$  do  $C$  w chwili, gdy połączenie między nimi jest otwarte, przebiegnie wzdłuż linii i pod koniec czasu  $T$  przybędzie do  $E$  i  $E'$ . W tej chwili połączenie  $E$  i  $F$  będzie otwarte, a połączenie  $E'$  i  $F'$  przerwane i prąd przejdzie na drut  $FG$ .

Przeciwnie, jeżeli  $T$  będzie równe nieparzystej liczbie okresów, elektryczność, przybywszy do  $E$  i  $E'$ , znajdzie drogę  $EF$  zamkniętą, a  $E'F'$  otwartą, i prąd pójdzie po drucie  $F'G'$ .

Szybkość obrotów tak można dobrać, żeby prąd całkowicie przechodził przez  $FG$ , albo też całkowicie przez  $F'G'$ . Przy szybkościach pośrednich prąd będzie się dzielił między oba druty w częściach nierównych.

Druty  $FG$  i  $F'G'$  nawinięte były na galwanometr różnicowy, na który wywierały działania w kierunkach odwrotnych, i obserwacya galwanometru pozwalała zdecydować, czy przeciętne natężenie prądu w  $FG$  brało górę nad natężeniem przeciętnem prądu w  $F'G'$ .

Można było się przekonać, przy jakiej szybkości



obrotu  $T$  było pewną daną wielokrotnością okresu. Można więc było zmierzyć  $T$ , a przez to samo i szybkość rozchodzenia się prądu.

Rozmaite okoliczności, do których jeszcze później powrócimy, komplikują te zjawiska, a stąd wynika, że prąd w  $FG$  (albo w  $F'G'$ ) nigdy nie zanika, a kolejno dochodzi do maksymalnego natężenia, lub spada do minimalnego; jednak tylko maximum prądu daje się zaobserwować.

Obserwacje Fizeau i Gounelle'a wykazały szybkość w żelazie 100.000 kilometrów i w miedzi—180.000 kilometrów na sekundę.

**5. Dyfuzja prądu.**—Powiedziałem przed chwilą, że prąd w  $FG$  nigdy nie zanika całkowicie, co powinno byłoby zachodzić, gdyby elektryczność rozchodziła się z szybkością ściśle określoną. Zjawisko przebiega tak, jak gdyby granice zaburzenia zacierały się podczas rozchodzenia się wzdłuż drutu tak, że w końcu przebiegu zajmuje ono dłuższą część drutu, niż przy powstawaniu.

Zjawisko to, stanowczo stwierdzone przez Fizeau, zostało nazwane przez niego dyfuzją prądu.

Wyżej (na str. 50) wyłożyłem powody, dla których możnaby było przewidzieć to zjawisko. Łatwo pojąć, jakie pociąga ono za sobą skutki. Rozchodzenie się prądu odbywa się tak, jak gdyby część elektryczności biegła z tą samą szybkością co światło, podczas gdy reszta porusza się za nią z szybkością mniejszą, zresztą nawet zmienną. Mielibyśmy więc wyraźne czoło kolumny, biegnące naprzód z szybkością 300.000 kilometrów, za nią dopiero ciągnęliby maruderzy, rozproszeni po całej drodze.



Metoda Fizeau mierzy nie szybkość maksymalną, to jest nie szybkość czoła kolumny, lecz szybkość przeciętną, która musi być znacznie od tamtej mniejsza. Okoliczność ta tłumaczy, dlaczego szybkość zaobserwowana jest znacznie mniejsza od 300.000 kilometrów na sekundę.

Szybkość przeciętna w żelazie jest mniejsza niż w miedzi z dwóch przyczyn: 1) żelazo jest magnetyczne, co zwiększa samoindukcję wskutek magnetyzmu w kierunku poprzecznym; 2) opór właściwy żelaza jest większy niż miedzi, co zwiększa wpływ dyfuzji.

Tak więc doświadczenia Fizeau nie zawierają sprzeczności z teorią.

**6. Doświadczenia Blondlot'a.**—Rozważania poprzednie dostatecznie jasno wykazują, o ile rozchodzenie się prądu stałego, albo przerywanego, czy też przemienneo o małej zmienności różni się od rozchodzenia się zaburzeń Hertza.

Rzeczywiście, te ostatnie, trwając bardzo krótko i składając się z drgań o okresie nadzwyczajnie krótkim, dają podstawę do przypuszczenia, że dyfuzja w nich będzie znikomo mała, że część opóźniająca się będzie bardzo drobna i szybkość przeciętna bardzo bliska szybkości czoła fali, t. j. bliska 300.000 kilom. na sekundę.

Z doświadczeń Fizeau nie można więc wyciągnąć żadnego wniosku, dotyczącego zaburzeń Hertza, w tym celu trzeba było nowych badań; to skłoniło Blondlot'a do przedsięwzięcia następujących doświadczeń.

Jego aparat składa się z dwóch symetrycznych butelek lejdejskich  $F$  i  $F'$  o małej pojemności. Ich zbroje wewnętrzne  $A$  i  $A'$  połączone są ze sobą drutem z przer-



wą pośrodku, w której znajduje się iskiernik mikrometryczny. Oba końce iskiernika połączone są z cewką Ruhmkorffa. Całość, złożona ze zbroi  $A$  i  $A'$ , łączącego je drutu i z iskiernika, stanowi prawdziwy wibrator, który nazwę literą  $E$ .

Zewnętrzna zbroja każdej butelki jest podzielona na dwie części, izolowane od siebie. Oznaczę przez  $B$  i  $C$  części zbroi zewnętrznej butelki  $F$ , przez  $B'$  i  $C'$  — części zbroi zewnętrznej butelki  $F'$ .

$B$  i  $B'$  połączone są ze sobą podwójnie:

- 1) nicią zwilżoną,
- 2) krótkim drutem metalowym z przerwą pośrodku, w której znajduje się iskiernik; jego końcami są dwa ostrza metalowe  $P$  i  $P'$ .

Podobnie podwójnie połączone są ze sobą  $C$  i  $C'$ :

- 1) nicią zwilżoną,
- 2) drutem linii telegraficznych. Drut ten idzie od zbroi  $C$  do punktu  $D$  na końcu linii, następnie od punktu  $D$  wraca do ostrza  $P$ , o którym mówiłem wyżej. Po przejściu przez mikrometr, elektryczność musi iść od ostrza  $P'$  do punktu  $D'$  na końcu linii, następnie wracać od punktu  $D'$  do zbroi  $C'$ . Tak więc linia zawiera cztery druty  $CD$ ,  $DP$ ,  $P'D'$  i  $D'C'$ , i prąd, ażeby tą drogą od  $C$  dojść do  $C'$ , przechodząc przez mikrometr, musi przebiec całą długość linii czterokrotnie; dwa razy tam i dwa razy z powrotem.

Od  $B$  do  $B'$ , jak zresztą i od  $C$  do  $C'$ , można dojść dwiema drogami: wzdłuż nici zwilżonej o wysokim oporze, albo też wzdłuż drutu metalowego, przerywanego iskiernikiem (mikrometrem).



Jeżeli zmiany napięcia są powolne, prąd będzie szedł wyłącznie nicią zwilżoną, gdyż różnica potencjału między punktami  $P$  i  $P'$  nigdy nie będzie tak duża, aby mogła przeskoczyć iskra, i mikrometr nie będzie przepuszczał prądu.

Przeciwnie, jeżeli te zmiany są szybkie, przeskoczy iskra i otworzy prądowi drogę przez mikrometr  $PP'$ , niemal cały prąd pójdzie przez przewodnik metalowy, i tylko znikomo mała jego część przepłynie przez nić zwilżoną, wskutek wielkiego jej oporu.

Działanie przyrządu ma być następujące: Cewka Ruhmkorffa naładuje zbroje wewnętrzne  $A$  i  $A'$ , naprzykład  $A$  dodatnio,  $A'$ —ujemnie. Zbroje  $B$  i  $C$  naładują się przez wpływ ujemnie; zbroje  $B'$  i  $C'$ —dodatnio. Pewna więc część elektryczności musi z  $B$  iść do  $B'$  i z  $C$  do  $C'$ ; ponieważ jednak zmiany są dotychczas stosunkowo powolne, prąd przejdzie po niciach zwilżonych.

W pewnym momencie przeskoczy iskra w ekscytatorze  $E$ . Iskra będzie oscylująca, co z dostateczną pewnością wykaże jej wygląd. Zbroje  $A$  i  $A'$  natychmiast gwałtownie się rozbroją, a ładunki, nagromadzone na zbrojach  $B$ ,  $C$ ,  $B'$  i  $C'$ , zostaną oswobodzone nagle i jednocześnie. Elektryczność przejdzie napowrót z  $B'$  do  $B$  i z  $C'$  do  $C$ , tym jednak razem po metalu, obecnie bowiem zmiany są gwałtowne.

Dwie iskry przeskoczą w mikrometrze  $PP'$ , który stanowi część wspólną obu dróg  $BB'$  i  $CC'$ . Pierwsza iskra przeskoczy w chwili, gdy zaburzenie, które opuściło  $B$ , przybędzie do  $P$ , druga—gdy do  $P$  przybędzie zaburzenie, które wyszło z  $C$ . Ponieważ droga  $BC$  jest bardzo krótka,



czas pomiędzy chwilami ukazania się obu iskier będzie równy czasowi, jaki zaburzenie zużyje na przebieżenie drogi  $CDP$ . Tę długość  $CDP$  nazywam długością linii: jest ona równa podwójnej długości drutu  $CD$ , idącego do krańca linii, a połowie całkowitej drogi  $CDPP'D'C'$ .

Czas, dzielący momenty przeskakiwania obu iskier, był mierzony za pomocą lusterka wirującego, które rzucało światło iskier na płytkę fotograficzną; pozostawało już tylko zmierzyć odległość między obrazami, otrzymanymi na płytce.

Z pierwszych doświadczeń, w których długość linii wynosiła nieco więcej niż kilometr, otrzymano przeciętną szybkość 293.000 kilometrów; następnie, przy długości linii 1.800 metrów otrzymano przeciętną szybkość 298.000 kilometrów na sekundę.



## ROZDZIAŁ VII.

### POMIAR DŁUGOŚCI FALI I REZONANS WIELOKROTNY.

**1. Fale stojące.**—Przytoczone doświadczenia wykazują, że szybkość rozchodzenia się zaburzeń elektrycznych wzdłuż drutu jest równa szybkości światła. Aby otrzymać liczbę fal przypadającą na sekundę, pozostaje nam zmierzyć długość fali i podzielić przez nią drogę przebieganą w ciągu jednej sekundy, to jest 300.000 kilometrów.

W tym celu Hertz próbował korzystać ze zjawiska fal stojących. Wyobraźmy sobie zaburzenie okresowe, rozchodzące się wzdłuż drutu; doszedłszy do końca drutu, odbije się i zacznie powracać. Zaburzenia więc pierwotne i odbite będą musiały się dodawać. Dwa zaburzenia okresowe dodają się, jeżeli posiadają tę samą fazę, to jest jeżeli prądy przemienne, które są ich wynikiem, mają jednocześnie kierunek dodatni i jednocześnie ujemny; odejmują się, jeżeli mają fazy odwrotne, to jest jeżeli prądy, które są wynikiem jednego zaburzenia, mają kierunek dodatni w chwili, gdy prądy wynikające z drugiego mają kierunek ujemny, lub odwrotnie.

Oba zaburzenia, pierwotne i odbite, mają tę samą fazę i dodają się, jeżeli przebyte przez nie drogi różnią



się o całkowitą liczbę długości fali; punkty drutu, dla których ten warunek jest spełniony, i w których zachodzi maximum działania, nazywają się strzałkami.

Też same zaburzenia posiadają fazy odwrotne i odejmują się, jeżeli przebyte przez nie drogi różnią się o nieparzystą liczbę pół-długości fali; odpowiadające temu warunkowi punkty drutu, w których działanie równe jest zeru, nazywają się węzłami.

Odległość dwóch kolejno po sobie następujących węzłów równa się połowie długości fali.

Rzeczywiście, niech  $A$  i  $B$  będą tymi dwoma węzłami; w  $A$  różnica powinna się równać nieparzystej liczbie, na przykład  $2n+1$  razy wziętej, pół-długości fali. Fala pierwotna dojdzie do  $B$  po przejściu  $A$ : fala odbita, przeciwnie, przejdzie przez  $B$ , zanim dojdzie do  $A$ . Jeżeli przesuniemy się od  $A$  do  $B$ , to droga, przebyta przez falę pierwotną, zwiększy się o  $AB$ , podczas gdy droga, przebyta przez falę powrotną, zmniejszy się o  $AB$ . Tak więc różnica dróg przebytych zmniejszyła się o  $2AB$ . Ponieważ jednak punkt  $B$  jest węzłem, ta różnica dróg musi być także równa nieparzystej liczbie, na przykład  $2n-1$ , pół-długości fali. Stąd wynika, że  $2AB$  musi być ściśle równe długości fali.

Na tem polega zjawisko fal stojących, jak je początkowo rozumiał Hertz, który sądził, że, z niego korzystając, znajdzie prosty sposób zmierzenia długości fali.

Zjawisko jednak, niestety, jest nieco więcej skomplikowane, jak to wkrótce zobaczymy.

Odbicie na końcu drutu może zachodzić w dwojaki sposób. Jeżeli nie napotykamy tam pojemności, elektrycz-



ność nie może się zbierać na końcu przewodnika, i prąd musi tam zaniknąć; koniec drutu stanowi węzeł.

Rzecz się ma odwrotnie, jeżeli drut kończy się dużą pojemnością, jeżeli, na przykład, dwa druty równoległe, przedstawione na rysunkach 3 i 4 (stronica 47), kończą się dwiema zbrojami kondensatora; na końcach byłaby w takim razie strzałka.

Można jeszcze połączyć końce obu drutów równoległych. Zaburzenie, które przebiega jeden z drutów, w kierunku prostym, powróci przez drugi, po którym iść będzie w kierunku odwrotnym; interferując z zaburzeniem, które idzie po drugim drucie w kierunku prostym, znowu wywoła fale stojące.

**2. Rezonans wielokrotny.** — Wspomniałem już (str. 37), że rezonator dobrze odpowiada na taki ekscytator, z którym jest doskonale unissono nastrojony; że odpowiada on, chociaż nie tak silnie i wtenczas, gdy okres drgań ekscytatora różni się od okresu drgań rezonatora.

Z tego wynika, że można używać, chociaż z mniejszą łatwością, ekscytatora i rezonatora, których okresy znacznie się różnią. To właśnie wykonali Sarasin i de la Rive.

Stwierdzili oni nieoczekiwane prawo, nazwane przez nich prawem rezonansu wielokrotnego. Odległość międzywęzłowa zmienia się, jeżeli zmienić rezonator, pozostawiając ekscytator poprzedni; nie zmienia się natomiast, gdy zmieniamy ekscytator, pozostawiając ten sam rezonator.

To, co mierzymy, jest cechą właściwą rezonatora; odległość międzywęzłowa jest więc równa połowie długości



fali drgania własnego rezonatora, lecz nie pół-długością fali ekscytatora.

Sarasin i de la Rive tak starali się wyjaśnić odkryte przez siebie zjawisko. Zaburzenie, wysłane przez ekscytator jest złożone i wynika z superpozycji nieskończonej ilości drgań prostych, które można nazwać drganiami składowymi. Takie fale złożone wysyła źródło, które daje światło nie jednobarwne, lecz białe, rozszczepiające się na widmo ciągłe.

Każdy rezonator odpowiada na jedno z tych drgań składowych; używając rezonatora, mierzymy długość fali drgań własnych rezonatora.

Podobne zjawisko spotykamy w akustyce: dźwięk złożony z wielu drgań harmonicznym może być zanikany przez rezonator, który wyodrębnia jedno tylko z tych drgań harmonicznym.

**3. Inne wyjaśnienie.** — Możliwe jest jeszcze inne wyjaśnienie. Drgania wysyłane przez ekscytator powinny zanikać bardzo szybko; ich energia bezpośrednio przeistacza się w ciepło wskutek oporu, napotykanego przez iskrę, lub rozprasza się wskutek promieniowania.

Cóż więc wobec tego zachodzi? Powiedziałem wyżej, że fala odbita dodaje się do fali pierwotnej, lub się od niej odejmuje, i że wynikiem takiego składania się tych dwóch fal są fale stojące. Rozważmy jednak punkt *A*, nieco oddalony od końca drutu; w ciągu czasu, zużytego przez zaburzenia na przejście od punktu *A* do tego właśnie końca, a następnie, po odbiciu się napowrót od końca do punktu *A*, w ciągu tego to czasu, mówię, fala pier-



wotna miała czas zaniknąć; tak więc w chwili, gdy fala odbita przybywa, fali pierwotnej już niema; niema już składania, niema fali stojącej.

A więc fala stojąca w ścisłym tego słowa znaczeniu będzie możliwa tylko w sąsiedztwie końca drutu.

A jednak za pomocą rezonatora można obserwować kolejność węzłów i strzałek we wszystkich punktach drutu. Jakżeż więc możnaby sobie to wytłómaczyć?

Wystarczy przypuścić, że drgania rezonatora zanikają znacznie powolniej, niż drgania ekscytatora. Gdy fala pierwotna przechodzi, zmusza rezonator do drgania; gdy powraca fala odbita, fala pierwotna w drucie zanikła, lecz rezonator nie przestał drgać. Otrzymuje jeszcze drugi impuls; czy ten drugi impuls powiększy amplitudę drgań, czy też ją zmniejszy?

Zróbmy pewne porównanie.

Wahadło otrzymuje pierwszy impuls, pod wpływem którego zaczyna się poruszać z lewej strony na prawą. Po upływie połowy wahnięcia poruszać się będzie z prawej strony na lewą; po upływie całego wahnięcia będzie biedz znowu z lewej strony na prawą. Wogóle po całkowitej liczbie wahnięć poruszać się ono będzie z lewej na prawą; po nieparzystej liczbie pół-wahnięć będzie biedz z prawej na lewą.

Przypuśćmy, że otrzymuje ono nowy impuls w tym samym kierunku; jeżeli impuls ten zachodzi po upływie całkowitej ilości wahnięć, w chwili gdy wahadło porusza się z lewej strony na prawą, to zwiększy jego szybkość; jeżeli natomiast impuls zachodzi po upływie nieparzystej ilości pół-oscylacyi w chwili poruszania się wahadła



z prawej strony na lewą, będzie on dążył do zmniejszenia szybkości wahadła.

Podobnie i rezonator: otrzymuje on pierwszy impuls w chwili przechodzenia fali pierwotnej, drugi — w chwili przechodzenia fali odbitej. Jeżeli w czasie dzielącym oba impulsy, zajdzie całkowita ilość drgań rezonatora, to jest jeżeli różnica dróg jest całkowitą liczbą długości fal rezonatora, wyniki obu impulsów dodają się i obserwujemy strzałkę. Jeżeli, przeciwnie, różnica faz jest liczbą nieparzystą pół-długości fali rezonatora, wpływy obu impulsów odejmują się, i otrzymujemy węzeł.

Krótko powiedziawszy, odległość między dwoma węzłami powinna być pół-długością fali rezonatora. Długość fali ekscytatora nie wywiera tutaj wpływu.

Zanim pójdziemy dalej, jeszcze kilka uwag na temat tego drugiego wyjaśnienia.

Powiedziałem wyżej, co się dzieje z wahadłem, jeżeli otrzymane przez nie impulsy, posiadają ten sam kierunek. Wyniki będą odwrócone, jeżeli kierunki impulsów będą odwrotne. Łatwo jest zdać sobie sprawę z tego, że impulsy nadane przez falę pierwotną i odbitą będą mogły posiadać wspólny kierunek lub być kierunków odwrotnych zależnie, z jednej strony, od sposobu, w jaki zachodzi odbicie (str. 59—60), z drugiej zaś strony—zależnie od położenia rezonatora. Tak, w najprostszy sposób, mogą być wytłómaczone doświadczenia Turpain'a, wydające się paradoksalnymi niektórym uczonym, a których charakter symetryczny wystarcza, by zdać sobie z nich sprawę.

Można zadać jedno jeszcze pytanie: dlaczego aparat składający się z dwóch długich drutów nie może być



upodobniony do wielkiego rezonatora, to jest dlaczego jednakowo odpowiada na pobudzenia o najrozmaitszych okresach? Gdyby nie było zanikania, fale odbite, interferując, jak to wyjaśniłem na str. 38 — 39, wywoływałyby rezonans. Ale tak nie jest: w chwili gdy fala odbita przybywa do jakiegobądź punktu, fala pierwotna oddawna w tym miejscu zanikła, niema więc tu interferencyi.

**4. Doświadczenia Garbasso i Zehnder'a.** — Takie są możliwe dwa wyjaśnienia, między którymi wybór może zdecydować tylko doświadczenie.

Zehnder próbował bezpośrednio obserwować widmo ciągłe, przewidziane przez teorię Sarasin'a i de la Rive'a; posługiwał się pewnego rodzaju siatką, która miała rozszczepiać rozmaite składowe drgania złożonego, wysyłanego przez ekscytator, tak jak zwyczajna siatka dyfrakcyjna, używana w optyce, rozszczepia barwy składowe światła białego.

Garbasso próbował zapomocą pewnego złożonego sposobu, którego tu opisywać nie mogę, naśladować dyspersyę, jaką wywołuje pryzmat, gdy działa na światło białe.

Obaj eksperymentatorowie otrzymali rezultaty, jakie przewidywali, co zdawało się potwierdzać wyjaśnienia Sarasin'a i de la Rive'a.

Wydaje się, że te doświadczenia powinnyby nas przekonać; a jednak—nie! Można bowiem dowieść zapomocą prostego rachunku, że falowanie zanikające zachowuje się, jak drganie złożone, dające widmo ciągłe, w którym natężenia drgań różnej częstości są rozmieszczone według pewnego szczególnego prawa.



Nie wystarczy więc dowieść, że falowanie, wysyłane przez ekscytator, zachowuje się, jak gdyby posiadało widmo ciągle; trzeba -jeszcze wykazać, że natężenia rozmaitych składowych tego widma zmieniają się zgodnie z tem szczególnem prawem.

**5. Pomiar zanikania.**—Pewne doświadczenia, które obecnie przytoczę, nie tylko wykazały, że natężenia zmieniają się według podanego wyżej prawa, lecz wprost dowiodły, że prawdziwem jest to drugie wyjaśnienie.

Trzeba było przedewszystkiem sprawdzić hipotezę zasadniczą, na której oparte jest to wyjaśnienie, to jest, że zanikanie drgań ekscytatora zachodzi o wiele szybciej, niż zanikanie drgań rezonatora.

Powiedziałem poprzednio (na str. 42 — 43), w jaki sposób Bjerkes mierzy zanikanie drgań rezonatora.

Dla pewnego ekscytatora otrzymał on, jako „dekrement logarytmiczny“ — 0.25, tymczasem dla dwóch rezonatorów otrzymał odpowiednio 0.002 i 0.034. To znaczy, że wystarczy 9 oscylacji ekscytatora, by otrzymać drgania o amplitudzie, równej jednej dziesiątej amplitudy początkowej. Dla obu rezonatorów trzeba ich odpowiednio 60 i zgorą 1000.

Drgania ekscytatora zanikają więc znacznie szybciej, niż drgania rezonatora.

**6. Doświadczenie Strindberga.** — Żeby ostatecznie ugruntować przekonanie o słuszności tego twierdzenia, należało dowieść, że jeżeliby jakim bądź sposobem udało się osiągnąć, aby drgania rezonatora zanikały szybciej od drgań ekscytatora, to zachodziłoby zjawisko odwrotne, to jest, że



odległość międzywęzłowa zależałaby teraz nie od rezonatora, lecz wyłącznie od ekscytatora.

Dowiedli tego Décombe we Francyi i Nils Strindberg w Szwecyi, niezależnie jeden od drugiego.

Nie mogę umieścić tu nazwiska Strindberga, nie przypomniawszy, że człowiek ten nietylko inteligencją chciał służyć wiedzy, ale i odwagą osobistą. Towarzyszył on Andréemu w jego niebezpiecznej podróży aeronautycznej, która się zakończyła katastrofą.

Aby doświadczenie doprowadzić do skutku, należało zmniejszyć zanikanie drgań ekscytatora, a zwiększyć je w rezonatorze.

W celu zmniejszenia zanikania drgań ekscytatora, należało przede wszystkim uniknąć straty energii, jaką powoduje iskra. Wydaje się to nie do wykonania, bez przerywacza bowiem niemożliwe jest puszczenie w ruch wahadła elektrycznego. Strindberg osiągnął to w sposób prosty: Pierwszy ekscytator z przerywaczem iskrowym działał przez indukcję na drugi ekscytator, zupełnie do pierwszego podobny; ten, ponieważ był wprawiany w ruch przez pierwszy, mógł już obejść się bez przerywacza. Ów drugi ekscytator będzie miał ten sam okres co i pierwszy, ale szybkość zanikania mniejszą. Ten to ekscytator za pomocą połączenia Blondlot'a (patrz str. 47, fig. 4) wywołuje zaburzenia w drutach.

Z drugiej strony łatwo jest zwiększyć opór rezonatora, a ponieważ opór ten jest pewnego rodzaju tarcie, więc szybciej będzie tamował drgania rezonatora.

**7. Doświadczenia Pérot'a i Jones'a.** — Są bardziej bezpośrednie sposoby sprawdzenia tych przypuszczeń. Wi-



dzieliśmy, że pomimo zanikania, tworzą się jeszcze fale stojące we właściwym tego słowa znaczeniu, znajdując się jednak tylko w pobliżu końca drutu. Badanie tych fal wtórnych pozwoliłoby prawdopodobnie poznać kształt zaburzeń, wywoływanych przez ekscytator. Aby badanie to jednak było możliwe, nie można korzystać z rezonatora; wszak widzieliśmy, że rezonatory wywołują zjawiska wtórne, które, zdala od końca drutu, same jedne pozostają i mogą być wytłómaczone, jako zjawiska „rezonansu wielokrotnego“. Te zjawiska zakłócające powinny być usunięte.

W tym celu używano najrozmaitszych metod, nie wymagających rezonatora, a które opisałem na str. 40, 41, 42.

Pérot używał iskry bez rezonatora.

Jones korzystał z metody cieplnej, opartej na ogniwie termo-elektrycznym.

Bjerknes stosował metodę mechaniczną.

Wszystkie te doświadczenia potwierdziły drugie z przytoczonych wyjaśnień.

**8. Doświadczenia Decombe'a.** — Wszystkie te metody nie wydawały się dość bezpośrednimi p. Décombe'owi. Uczony ten postanowił zbadać zaburzenie w tej samej chwili, gdy jest wywołane przez ekscytator; rzeczywiście można było zapytać, czy nie zmienia się ono, gdy od ekscytatora przechodzi do drutów, lub gdy wzdłuż nich się rozchodzi.

W tym celu Décombe usiłował sfotografować iskry ekscytatora, używając wirującego lusterka. To samo robił Feddersen (porównaj str. 22 — 23) z oscylacjami znacznie powolniejszymi. Trudności przy falach Hertza były



o wiele większe; byłyby nawet nie do przewyciężenia z właściwym aparatem Hertza (50.000.000 drgań na sekundę). Décombe musiał się zadowolić ekscytatorem, który dawał 5.000.000 drgań, gdy aparaty Feddersena dawały ich tylko 20.000 do 400.000 na sekundę.

Szereg iskier, odpowiadających następującym po sobie drganiom, daje obrazy na czułej płytce; wskutek ruchu lustra obraz każdej iskry będzie się znajdował w innym punkcie płytki. Ruch ten musi być na tyle szybki, żeby ślady poszczególnych iskier były rozdzielone. Lusterko Décombe'a robiło 500 obrotów na sekundę.

Aby, pomimo krótkotrwałego działania światła na płytkę, otrzymywać na niej widoczne ślady, Décombe musiał wyzyskać wszystkie środki, jakimi rozporządzamy i do najwyższego stopnia je udoskonalić.

Trzeba było używać ekscytatora o słabem zanikaniu, iskry wywoływać w oliwie, gdzie jest krótsza i jaśniejsza używać wywoływacza fotograficznego, działającego szczególnie silnie.

Aparat fotograficzny trzeba było tak ustawić, by ślad światła był zarazem bardzo wązki i bardzo jasny.

Urządzenie wszystkich szczegółów tego doświadczenia przynosi prawdziwy zaszczyt pomysłowości autora. Rezultat całkowicie uwieńczył wysiłki i autor otrzymał obrazy których badanie wykryło obecność pojedynczego drgania zanikającego, zgodnie z drugim naszym wyjaśnieniem.

Wprawdzie nie był to ekscytator Hertza, dawał on drgania dziesięć razy rzadsze; różnica jednak jest dostatecznie mała, aby z drgań jednego można było wywnioskować o drganiach drugiego.



## ROZDZIAŁ VIII.

### ROZCHODZENIE SIĘ W POWIETRZU.

1. **Experimentum crucis.** — Wszystkie doświadczenia, podane dotychczas, nie mogły jeszcze rozstrzygnąć sporu pomiędzy dawną teorią a teorią Maxwell'a.

Obie przewidują, że zaburzenia elektryczne muszą się rozchodzić wzdłuż drutu z szybkością równą szybkości światła. Obie zdają sprawę z charakteru oscylującego wyładowań butelki lejdejskiej, a więc i drgań, zachodzących w rezonatorze. Obie przewidują, że drgania te powinny wywoływać w polu otaczającym siły elektrobodźcze indukcji, a więc wprawiać w działanie rezonator, umieszczony w tem polu.

Lecz według dawnej teorii, rozchodzenie się skutków indukcji powinno być natychmiastowe. Rzeczywiście, jeżeli niema prądów przemieszczenia, jeżeli w dielektryku, który rozdziela druty indukcyjny i indukowany, nic nie zachodzi z punktu widzenia elektrycznego, należy przypuścić, że skutek w drucie indukowanym zachodzi w tym samym momencie, co i przyczyna w drucie indukującym; gdyby jakiś okres czasu dzielił te dwa zjawiska, przyczyna przestałaby już



działać w drucie indukującym, skutek jeszcze nie wystąpiłby w drucie indukowanym, a ponieważ w dielektryku, dzielącym oba druty, nie zachodziłoby żadne zjawisko, to w takim razie nigdzie żadne zjawisko nie mogłoby zachodzić. Natychmiastowe rozchodzenie się indukcji jest konsekwencją, której nie może uniknąć stara teoria.

Według teorii Maxwell'a, indukcja powinna rozchodzić się w powietrzu z tą samą szybkością, co i wzdłuż drutu, to jest z szybkością światła.

To daje możliwość przeprowadzenia „experimentum crucis“; trzeba się przekonać, z jaką szybkością rozchodzą się wskutek indukcji zaburzenia elektromagnetyczne w powietrzu.

Jeżeli szybkość ta jest nieskończenie wielką, trzeba będzie utrzymać dawną teorię; jeżeli jest ona równa szybkości światła, trzeba będzie przyjąć teorię Maxwell'a.

Jakim sposobem możnaby zmierzyć tę szybkość? Nie możemy tego zrobić bezpośrednio. Widzieliśmy jednak, że, jak to z samego określenia wynika, długością fali jest droga przebiegana w ciągu jednego drgania; wskazałem również, jak możnaby mierzyć długość fali, rozchodzącej się wzdłuż drutu.

Jeżeli długość fali w powietrzu jest ta sama, co i długość fali w drucie, to wynikałoby stąd, że szybkość rozchodzenia się jej w powietrzu jest ta sama, co i wzdłuż drutu. Byłoby to dowodem, że teoria Maxwell'a jest słuszna.

Zadanie więc zostało sprowadzone do pomiarów długości fali w powietrzu.



W tym celu można użyć tej samej metody, co i w przypadku rozchodzenia się fal wzdłuż drutu.

Widzieliśmy, jak falę pierwotną, przesyłaną wzdłuż drutu, zmuszano do interferowania z falą odbitą na końcu tegoż drutu. W podobny sposób można zmusić do interferowania falę pierwotną, przesyłaną w powietrzu, z falą, odbitą od płaskiego zwierciadła metalowego. Zwierciadło tak jest ustawione, że promienie pierwotne padają na nie prostopadle, a zatem i fala odbita wędruje tą samą drogą, co fala padająca, lecz w kierunku odwrotnym, drogą fali prostej.

W tych warunkach możnaby otrzymać właściwe fale stojące, gdyby drgania ekscytatora nie zanikały. Wskutek zanikania i wskutek przyczyn, podanych w rozdziale VII, zajdzie zjawisko rezonansu wielokrotnego. Nie będę powtarzał rozważań, podanych na str. 61—63. Wszystko zachodzi tu ściśle w ten sam sposób.

Jeżeli rezonator przesuwając między ekscytatorem i zwierciadłem, można stwierdzić kolejną następczość węzłów i strzałek; węzły będą w punktach, gdzie rezonator nie odpowiada na pobudzenie ekscytatora, a strzałki — w miejscach największego nateżenia zjawiska.

Odległość międzywęzłowa, to jest odległość między dwoma sąsiednimi węzłami, równa jest połowie długości fali rezonatora w powietrzu tak, jak przy rozchodzeniu się fali wzdłuż drutu. Jeżeli więc odległość międzywęzłowa w powietrzu jest równa odległości międzywęzłowej w drucie, to z tego wynikałoby, że długość fali w powietrzu, jest ta sama, co i fali wzdłuż drutu, czyli, że teoria Maxwell'a jest słuszna.



**2. Doświadczenia karlsruheńskie.**—Na tem polega doświadczenie próbne, które Hertz starał się po raz pierwszy wykonać w Karlsruhe. Z początku nie otrzymał on rezultatu oczekiwanego.

Jego rezonator wykrył odległość międzywęzłową wzdłuż drutu, wynoszącą 3 metry; w powietrzu, zdawało się, odległość międzywęzłowa wynosi 4.50 m., a więc długość fali—9 metrów. Bez wątpienia, doświadczenie to zdawało się zmuszać do odrzucenia starej teorii elektrodynamicznej, która wymagała nieskończonej długości fali; podobnie jednak zdawała się ona zaprzeczać i teorii Maxwell'a, która wymagała sześciometrowej długości fali.

Niepowodzenie to nie zostało dostatecznie wytłumaczone; jest rzeczą możliwą, że zwierciadło było za małe w porównaniu z długością fali i dyfrakcyja wywoływała zakłócenia w zjawisku. Możliwe jest także, że pewne zaburzenie wywoływało odbijanie się fal o ściany sali lub o kolumny żelazne, dzielące salę na trzy nawy.

Bądź co bądź doświadczenia z mniejszemi ekscytatorami prowadziły do innych rezultatów i dawały tę samą odległość międzywęzłową w powietrzu i wzdłuż drutu; bez wątpienia długość fali, po zmniejszeniu, nie była już za duża w porównaniu z rozmiarami zwierciadła.

**3. Doświadczenia genewskie.** — Jednakże kwestya nie była rozwiązana, a choroba Hertza nie pozwalała mu rozpocząć nowych doświadczeń. Wobec tego zabrali się do nich Sarasin i de la Rive z zachowaniem takich ostrożności, któreby pozwoliły usunąć wszelkie źródła błędów.



Ich zwierciadło miało wymiary 8 metrów przez 16, a doświadczenia wykonywali w bardzo dużej i pustej sali. Rezultaty doświadczeń były równie wyraźne przy użyciu rezonatora 75 centymetrowego (który miał tę samą długość fali, co i duży ekscytator Hertza), jak i przy użyciu rezonatorów mniejszych. Tak więc rezultaty te muszą być uważane za ostateczne. Wykazały one, że, zgodnie z teorią Maxwell'a, odległość międzywęzłowa jest ta sama w powietrzu, jak i wzdłuż drutu.

**4. Używanie małego wibratora.** — Doświadczenie to łatwiej może być wykonane za pomocą małego wibratora Hertza, składającego się, jak to już wspomniałem (na str. 34), z krótkiego pręta metalowego z przerwą pośrodku.

Wiadomo, że dla przekształcenia światła wysyłanego przez źródło świetlne małych rozmiarów w wiązkę promieni równoległych, używa się zwierciadła parabolicznego. Takie zwierciadło nazywa się prożektorem, albo reflektorem parabolicznym.

Mniej więcej to samo można zrobić z promieniami, wysyłanymi przez wibrator. Tylko że wymiary wibratora są w przybliżeniu te same co i zwierciadła, wibrator więc możemy porównać raczej z linią świecącą, niż z punktem.

Wobec tego, zamiast zwierciadła nadawać kształt paraboloidu obrotowego, a źródło światła umieszczać w jego ognisku, nadaje mu się kształt cylindra parabolicznego, a ekscytator umieszcza się w jego linii ogniskowej. Otrzymuje się w ten sposób wiązkę równoległych promieni elektrycznych.



Można również umieścić rezonator, zupełnie podobny do wibratora, w linii ogniskowej drugiego zwierciadła parabolicznego. Zwierciadło to zogniskuje promienie równoległe na rezonatorze.

Jednakże przy doświadczeniach nad interferencją, które tu opisałem, dogodniej jest nie używać drugiego zwierciadła, które tworzyłoby ekran i zasłaniało rezonator od fali odbitej.

**5. Natura promieniowania.**— W polu, otaczającym ekscytator, przebiegają fale elektromagnetyczne: na podstawie teorii można przewidzieć prawa ich rozmieszczenia; doświadczenia potwierdziły je, przynajmniej w zarysach ogólnych, poza które nasze metody badania wyjść nam nie pozwalają.

Prawa te są dość złożone i w celu uproszczenia ich wykładu będę rozpatrywał takie tylko punkty pola, które są bardzo oddalone od wibratora.

Rozpatrzmy więc powierzchnię kulistą o bardzo dużym promieniu, której środek znajduje się w środku wibratora. W każdym punkcie tej powierzchni mamy siłę elektrobodźczą, która przy każdym drgnięciu zmienia się tak, że dwukrotnie staje się równą zero i dwukrotnie zmienia znak, lecz ciągle zachowuje ten sam kierunek; mamy tam również i siłę magnetyczną, podlegającą podobnym zmianom.

Jakiż będzie kierunek tych dwóch drgań, elektrycznego i magnetycznego?

Wykreślmy na kuli układ południków i równoleżników, jak na kuli ziemskiej; jej biegunami niech będą punkty, w których kulę przecina podłużna oś wibratora.



Siła elektryczna będzie styczna do południka, magnetyczna — do równoleżnika. Oba więc drgania są do siebie prostopadłe; oba są prostopadłe do promienia kuli, to jest do kierunku rozchodzenia się fal, który odpowiada kierunkowi promienia świetlnego w optyce. Tak więc oba drgania są poprzeczne, podobnie do drgań świetlnych.

Amplituda tych drgań zmienia się w stosunku odwrotnym do odległości od wibratora; natężenie więc zmienia się w stosunku odwrotnym do kwadratu tej odległości.

Drgania, jakieśmy widzieli, odbywają się ciągle w tym samym kierunku; można je więc porównać z drganiami światła spolaryzowanego, a nie naturalnego, których kierunek ciągle się zmienia, chociaż zawsze pozostaje prostopadły do promienia świetlnego.

Nasuwa się tu jeszcze jedno pytanie: co odpowiada tak zwanej w optyce płaszczyźnie polaryzacji? Czy jest to płaszczyzna prostopadła do drgań elektrycznych? Czy może jest ona prostopadła do drgań magnetycznych? W rozdziale XI przekonamy się, że słuszne jest pierwsze z tych dwóch przypuszczeń.

Jedna jeszcze okoliczność różni fale Hertza od światła wysyłanego przez zwykłe źródło: natężenie w różnych kierunkach jest tu różne; największe na równiku, a na biegunach równe zero (jeżeli powrócić do sieci południków i równoleżników wykreślonej, jakieśmy przypuścili, na naszej kuli).

Poza temi różnicami zaburzenie elektromagnetyczne rozchodzi się w powietrzu tak samo, jak i światło. Przy



rozchodzeniu się wzdłuż drutu mamy też przemieszczenia, prądy te jednak są dostrzegalne tylko w bezpośrednim sąsiedztwie drutu. W tym przypadku zaburzenie nie rozprasa się już we wszystkich kierunkach, lecz rozchodzi się tylko w jednym; z tego wynika, że jego natężenie, zamiast słabnąć zgodnie z prawem kwadratów odległości, zachowuje swą wartość.



## ROZDZIAŁ IX.

### ROZCHODZENIE SIĘ FAL W DIELEKTRYKACH.

**1. Zależność Maxwell'a.** — Jeżeli w kondensatorze izolującą warstwę powietrza zastąpić warstwą innego ciała izolującego, okaże się, że pojemność kondensatora jest równa poprzedniej, pomnożonej przez pewien współczynnik, który nazywamy stałą dielektryczną. Teoria wymaga, aby szybkość rozchodzenia się fal elektrycznych w dielektryku była w stosunku odwrotnym do pierwiastka kwadratowego ze zdolności indukcyjnej danego dielektryku.

Z drugiej strony, szybkość światła w środowisku przezroczystym jest odwrotnie proporcjonalna do współczynnika załamania. Tak więc zdolność indukcyjna powinna być równa kwadratowi współczynnika załamania. Na tem polega zależność teoretyczna Maxwell'a.

Sprawdza się ona z małą dokładnością; wyjątek stanowi siarka. Może to być wynikiem dwóch przyczyn: albo współczynnik załamania dla fal bardzo długich nie jest taki sam, jak współczynnik załamania światła; nie byłoby w tem nic dziwnego, wiemy bowiem, że rozmaite promienie niejednakowo się załamują, i że współczynnik załamania promieni czerwonych jest różny od współczynnika załama-



nia promieni fioletowych. Albo że kwadrat współczynnika załamania promieni elektrycznych jest różny od stałej dielektrycznej, mierzonej metodami statycznymi w polu niezmiennem; dałoby się to wytłómaczyć rozmaitemi zjawiskami wtórnymi, takimi, na przykład, jak ładunki szczątkowe.

Stąd wynika konieczność mierzenia zdolności indukcyjnej metodami dwóch rodzajów: 1) metody dynamiczne, oparte na użyciu drgań elektrycznych, dają współczynnik załamania promieni elektrycznych, i 2) metody statyczne, posługujące się polem stałym.

**2. Metody dynamiczne.** — Szybkość rozchodzenia się w powietrzu jest więc ta sama, co i wzdłuż drutu, przeciągniętego w powietrzu. Tak samo szybkość rozchodzenia się w jakimkolwiek dielektryku powinna być równa szybkości rozchodzenia się wzdłuż drutu, pograżonego w tym samym dielektryku. Wystarczy więc zmierzyć tę ostatnią.

Widzieliśmy, w jaki sposób można mierzyć długość fali drgania elektrycznego, szukając za pomocą rezonatora (patrz str. 58—59) długości międzywęzłowej. Jeżeli drut jest zanurzony w jakimkolwiek dielektryku, szybkość biegu się zmniejsza. Ponieważ okres drgania pozostaje bez zmiany, długość fali i odległość międzywęzłowa zmniejsza się w tym samym stosunku; łatwo więc zmierzyć ten stosunek, który będzie odwrotnością współczynnika załamania dla fal elektrycznych.

Z drugiej zaś strony, przypuścimy, że rezonator, używany do badania, składa się z kondensatora, którego zbroje, połączone są drutem (kondensator Blondlot'a). Je-



żeli między obiema zbrojami umieścić warstwę substancji izolującej, pojemność kondensatora będzie równa poprzedniej, pomnożonej przez zdolność indukcyjną; wobec tego okres drgania, na które odpowiada rezonator, zwiększa się w tym samym stosunku, w jakim zmniejsza się odległość między węzłami.

Jeżeli drut, wzdłuż którego przenosi się drganie elektryczne, i rezonator z jego kondensatorem zanurzyć w ten sam dielektryk, oba skutki powinny się dokładnie znosić, a odległość między węzłami nie powinna się zmienić. Rzeczywiście, zjawisko to można zaobserwować.

Tego rodzaju metody pomiarów spólczynnika załamania fal elektrycznych są analogiczne do metody pomiarów optycznych zapomocą refraktometru różnicowego. Można też załamywać promienie elektryczne przez pryzmat z materyału dielektrycznego, lub jeszcze lepiej korzystać z całkowitego wewnętrznego odbicia.

**3. Metody statyczne.**—W celu pomiarów zdolności indukcyjnej w polu stałym, należy porównać ze sobą dwie pojemności; w tym celu można:

1) Kondensator rozbroić przez drut i zmierzyć ilość przepływającej elektryczności za pomocą galwanometru ballistycznego.

2) Naładować i wyładować kondensator dużą liczbę razy na sekundę i w ten sposób powstały prąd przerywany porównać z prądem stałym o danym oporze (metoda Maxwell'a.)

3) Dwa kondensatory połączyć szeregowo i sprawdzić równość ich pojemności, stwierdzając, że potencjał



zbroi pośredniej równa się średniej arytmetycznej potencjałów zbroi skrajnych (metoda Gordon'a).

4) Zmierzyć przyciąganie się dwóch kul naelektryzowanych, zanurzonych do dielektryku.

5) Za pomocą przewodnika połączyć parami odpowiednie kwadranty i igły dwóch elektrometrów, z których jeden znajduje się w jakim bądź dielektryku, drugi—w powietrzu (elektrometr różnicowy).

6) Zbadać odchylenie linii sił w polu elektrostatycznym, wywołane wprowadzeniem pryzmatu z materiału dielektrycznego (metoda powierzchni równego potencjału Pérot'a).

**4. Rezultaty.**—Wszystkie te metody dają rezultaty w wysokim stopniu niezgodne.

Dla gumy znaleziono następujące wartości zdolności indukcyjnej, które oznaczam tu przez  $\epsilon$ .

Kwadrat optycznego współczynnika załamania . . . . .	2
Metodą powierzchni równego potencjału. . . . .	2·1
Za pomocą oscylacji Hertza. . . . .	2·12
Za pomocą galwanometru ballistycznego. . . . .	2·03
Inną metodą statyczną . . . . .	2·88
Metodą przyciągania elektrycznego . . . . .	5·44

Dla alkoholu, wody i lodu napotkalibyśmy rozbieżności jeszcze większe.

Alkohol.—1) Metody statyczne dały dla  $\sqrt{\epsilon}$  liczby bliższe do 4·9, to jest dalekie od optycznego współczynnika załamania.

2) Jednadsze Stchegtioef, metodą Gordon'a, za pomocą oscylacji, wywoływanych cewką Ruhmkorff'a, znalazł dla  $\sqrt{\epsilon}$  wielkość bliższą współczynnika załamania.



3) Metody oparte na korzystaniu z oscylacji Hertza dały wartość bliską 4·9.

Woda.—Gouy metodą przyciągania znalazł

$$\epsilon = 80$$

Wartość  $\epsilon$ , oczywiście, zmienia się w zależności od zanieczyszczeń, zawartych w wodzie, które wpływają też na większe lub słabsze jej przewodnictwo; 80 jest to wartość, do której dąży zdolność indukcyjna wody w miarę gdy jej przewodnictwo dąży do 0.

Cohn wyznaczał  $\epsilon$ , mierząc długość fali w drucie, zanurzoną do wody. Znalazł on, że  $\epsilon$  zależy od przewodnictwa wody i od jej temperatury. Liczby, otrzymane przez tego eksperymentatora, są bliskie liczb, otrzymanych przez Gouy.

Jeden tylko eksperymentator znalazł dla  $\epsilon$  liczbę bliską kwadratu optycznego współczynnika załamania, t. j.  $\epsilon = 1·75$ .

Lód.—Pewna metoda statyczna dała

$$\epsilon = 78$$

liczbę bliską tej, jaką znalazł Gouy dla wody.

Natomiast Blondlot znalazł za pomocą oscylacji Hertza  $\epsilon = 2·5$ .

Pérot tą samą metodą otrzymał wartość zbliżoną.

Widać tutaj, jak wielka jest różnica między wartością, otrzymaną przez Blondlot'a i Pérot'a z jednej strony, a liczbą 78 z drugiej.

**5. Przewodniki.** — Ciała przezroczyste dla światła są, wogóle powiedziawszy, złymi przewodnikami; metale, przeciwnie, są dobrymi przewodnikami i zarazem ciałami nieprzezroczystymi. Niema w tem nic sprzecznego. Die-



lektryki przeciwstawiają falom elektrycznym (jak to widzieliśmy w rozdziale II) opór elastyczny, który zwraca pobraną przez dielektryk energię; dielektryki więc przepuszczają fale. Przewodniki zachowują się wręcz przeciwnie; przeciwstawiają one opór lepki, który niszczy energię falowania, zamieniając ją na ciepło; przewodniki pochłaniają więc fale elektryczne i światło.

I rzeczywiście, przekonano się, że metale jak ekran zatrzymują fale elektryczne; są one jednak ekranem niedoskonałym dla drgań o bardzo dużym okresie; ich nieprzezroczystość jest prawie zupełna już dla oscylacji Hertza. Wyżej cytowane (str. 48—49) doświadczenia Bjerknesa dowodzą, że fale nie mogą przenikać do metalu na głębokość większą, niż jedna setna milimetra.

Mimo to Bose'emu, którego niezmiernie czuły przyrząd opisujemy nieco niżej, wydawało się, że jego promienie przenikają przez metale. Branly dowiódł świeżo, że pokrywy metalowe są nieprzenikliwe nawet dla drgań bardzo szybkich, otrzymanych przez Bose'go, pod warunkiem, że powłoka metalowa jest doskonale zamknięta. Najmniejszy otwór wystarcza, by zaszła dyfrakcja i po-działała na bardzo czuły odbieracz Bose'go.

**6. Elektrolity.** — Tak więc każdy przewodnik jest nieprzezroczysty; każdy izolator—przezroczysty. Prawo to dopuszcza pozorne wyjątki.

Niektóre ciała, jak ebonit, są izolatorami, nie będąc przezroczystymi. Można jednak stwierdzić, że są one nieprzezroczyste dla światła widzialnego, natomiast przepuszczają fale Hertza.

Niema w tem nic dziwnego, jeśli tylko przypomnimy



sobie, że szkło czerwone przepuszcza światło czerwone, a zatrzymuje promienie zielone. Zresztą ciała te, przezroczyste dla fal o długim okresie, powinny oczywiście zachowywać się, jak dielektryki w polu statycznym, gdzie okres należy uważać za nieskończenie duży.

Przeciwnie, niektóre ciecze, jak woda słona, lub zakwaszona, są przewodnikami elektryczności i przezroczystymi dla światła. Pochodzi to stąd, że ciecze te, rozkładające się pod wpływem prądów i nazywane elektrolitami, posiadają przewodnictwo bardzo różne od przewodnictwa metali.

Cząsteczki elektrolitu są rozłożone na „jony“. Jony te, wędrując w cieczy, przenoszą elektryczność z jednej elektrody do drugiej. Energia elektryczna przekształca się więc nie w ciepło, jak w metalach, lecz w energię chemiczną. Bez wątpienia, zjawisko to, związane z dość powolnym ruchem jonów, nie ma dość czasu, by się ujawnić, jeżeli drgania są tak szybkie, jak na przykład drgania światła. Dla fal Hertza elektrolity są już dość przezroczyste.



## ROZDZIAŁ X.

### OTRZYMYWANIE FAL BARDZO KRÓTKICH.

**1. Fale bardzo krótkie.** — Za pomocą ekscytatora Blondlot'a otrzymujemy fale długości 30 metrów, za pomocą dużego ekscytatora Hertza — fale o długości 6 metrów, a za pomocą małego ekscytatora Hertza — fale o długości 60 centymetrów. Innemi słowy otrzymuje się

za pomocą ekscytatora Blondlot'a. . . 10.000.000

za pomocą dużego ekscytatora Hertza . 50.000.000

za pomocą małego ekscytatora Hertza . 500.000.000

drzań na sekundę.

Ne tem się jednak nie zatrzymano: włoski uczony, fizyk Righi, a po nim młody uczony hinduski, profesor Sagadis Chunder Bose, zbudowali przyrząd, pozwalający iść znacznie dalej.

Z punktu widzenia teoryi, wystarczałoby zmniejszyć rozmiary aparatu. To jednak osłabia jednocześnie drgania; należało więc wynaleźć odbieracze dość czułe, by mogły je wykrywać.

**2. Ekscytator Righi'ego.** — Ekscytator ten składa się z dwóch kul miedzianych *A* i *B* (fig. 5), umieszczonych w środku dwóch krążków drewnianych, szklanych



lub ebonitowych. Krążki te służą jako podstawy naczyń, kształtu walcowatego; jego szerokość jest znacznie większa od wysokości, a ściany boczne są giętkie. W jednym z krążków znajduje się małeńki otwór, przez który naczynie można napełniać olejem waselinowym.

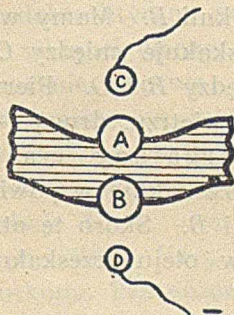


Fig. 5.

Korzystając z giętkości ścian bocznych naczyń i z rozmaitych urządzeń pomocniczych, można zmieniać i regulować odległość między obiema kulkami.

Iskra przeskakuje między kulkami jak w ekscytatorze Lodge'a; wskutek jednak drobnych rozmiarów tych kulek długość fali jest bardzo mała.

Iskra przeskakuje w oleju; jest to urządzenie, którego strony dodatnie były wyjaśnione powyżej. Dzięki temu drgania, nie bacząc na małe rozmiary przyrządu, mogą zachować wystarczające natężenie; widzieliśmy, że oliwa w takich przypadkach wzmacnia drgania, a jednocześnie iskry stają się bardziej regularnemi.

Do zasilenia wibratora Righi używa nie cewki Ruhm-



korff'a, lecz maszyny statycznej Holtza, która była też używana i do wibratorów Hertza.

Należy zauważyć, że kulki *A* i *B* nie są bezpośrednio połączone z biegunami maszyny Holtza; bieguny łączą się drutami metalowymi z dwiema innymi kulkami *C* i *D*; kula *C* umieszczona jest w małej odległości od kuli *A*, kula *D*—w pobliżu kuli *B*. Mamy więc trzy iskry, z których pierwsza przeskakuje między *C* i *A*, druga między *A* i *B*, i trzecia między *B* i *D*. Pierwsza i trzecia przeskakiwać będą w powietrzu, druga — w oleju.

Charakter drgający ma iskra środkowa. Dwie inne, które przeskakują w powietrzu, służą tylko do ładowania kulek *A* i *B*. Skoro te otrzymają ładunki dostatecznie wielkie, w oleju przeskakuje iskra *AB* i powstają drgania.

Jest rzeczą ważną regulować długość tych trzech iskier; Righi nadawał środkowej iskrze długość około jednego milimetra, a dwóm skrajnym—po dwa centymetry. Średnice dwóch kul *A* i *B* były równe 4 centymetrom. Długość otrzymanej fali wynosiła około 10 centymetrów, a więc ilość drgań—3.000.000.000 na sekundę.

Robiąc doświadczenia z kulkami o średnicy 8 milimetrowej, Righi otrzymał drgania cztery razy szybsze.

**3. Rezonatory.**—Pomimo udoskonaleń, jakie Righi wprowadził do budowy swojego ekscytatora, zjawiska otrzymane są jeszcze bardzo słabe i dla ich wykrycia potrzebne są rezonatory nadzwyczaj czułe.

Uczony włoski powodował się dwoma względami przy konstruowaniu swojego rezonatora. Przedewszystkiem, iskry, przy tej samej różnicy potencjału, są znacznie



dłuższe, jeżeli przeskakują po powierzchni izolatora, niż przy swobodnem przeskakiwaniu w powietrzu. Powtóre, ponieważ zjawiska elektromagnetyczne zachodzą tylko na powierzchni metali, można zmniejszać grubość metalowych części rezonatora bez obawy naruszenia w czem-bądź jego działania.

Righi metodą elektrolityczną pokrywa powierzchnię prostokątnej tafelki szklanej cienką warstwą srebra; długość tafelki była znacznie większa od jej szerokości. Na warstewce srebra, w środku prostokąta, nacina się diamentem cienką ryse; powłoka srebra jest przzerwana przez tę ryse o szerokości kilku tysięcznych milimetra. Poprzez nią właśnie przeskakuje iskra. Jest rzeczą oczywistą, że iskra przeskakuje po szkle. Iskry obserwuje się za pomocą małego mikroskopu. Rezonator taki działa jak prostoliniowy rezonator Hertza.

Zwierciadło kształtu walca parabolicznego skierowuje równoległe promienie elektryczne, wysyłane przez wibrator; drugie zwierciadło takiego samego kształtu skupia je następnie na rezonatorze.

Przyrząd ten, niezmiernie czuły, jest bardzo dogodny do pomiarów. Przy obracaniu rezonatora działanie jego dochodzi do maximum, gdy jest on równoległy do wibratora, a właściwie powiedziawszy, do linii, łączącej środki kul *A* i *B*. Działanie rezonatora będzie równe zeru w położeniu prostopadłym do wibratora. W innych położeniach działanie to przyjmuje wartości pośrednie. Badamy więc, jakie położenie należy nadać rezonatorowi, aby iskry zaczęły być dostrzegalne.

#### 4. Wibrator Bose'go.—Sagadis Chunder Bose otrzy-



mał drgania jeszcze o wiele szybsze. Jego wibrator składa się z trzech kul metalowych *A*, *B* i *C*, z których dwie, *A* i *C* połączone są z biegunami cewki Ruhmkorffa; środkowa kula *B* jest izolowana. Przeskakują więc tutaj dwie iskry, jedna między *A* i *B*, druga—między *B* i *C*. Jest to jeszcze jedna odmiana oscylatora Lodge'a.

Iskry przeskakują w powietrzu. Żeby mimo to zachowywały swój charakter oscylujący dość długo, elektrody nie powinny się zużywać; Bose używa w tym celu elektrod nie miedzianych, lecz platynowych.

Do wprawiania cewki w ruch Bose używa przerywacza, poruszanego ręką zamiast młoteczką; każde poruszenie ręki wywołuje jeden tylko szereg drgań zanikających, a nie nieprzerwany szereg iskier, które zużywałyby elektrody bardzo szybko.

Dzięki zachowaniu tych ostrożności iskry zachowują charakter oscylujący, a zarazem unika się konieczności ciągłego czyszczenia i polerowania elektrod.

Zjawiska są słabe i trudno dostrzegalne; dla ich wykrycia Bose liczy wyłącznie na czułość swego odbieracza. Mniej się zresztą stara o natężenie, niż o prawidłowość i niezmienność zjawiska, gdyż jedynie te cechy umożliwiają pomiary. Drgania zbyt silne uważa nawet za niedogodne, ponieważ obawia się, aby odbicie i uginanie nie wywoływały promieniowań wtórnych, mogących wpływać na odbieracz i w ten sposób wikać obserwacje.

Ogniwo i cewka są umieszczone w metalowej powłoce, prawie całkowicie zamkniętej, nie mogą więc wywierać nazewnątrz żadnych zaburzeń. Na pudełku umocowana jest rura zawierająca wibrator. Cylindryczna so-



czewka z siarki lub ebonitu skierowuje równolegle wysyłane przezeń promienie.

W ten sposób otrzymuje się fala o długości 6 milimetrów, co odpowiada 50.000.000.000 drgań na sekundę. Drgania 10.000 razy szybsze mogłyby już działać na siatkówkę (odpowiadałyby one pomarańczowej barwie widma). „Znajdujemy się, mówi Bose, o trzynaście oktaw od promieni widzialnych“. Tą metodą zdołano otrzymać równoległy pęk promieni elektrycznych o przekroju jednego lub dwóch centymetrów kwadratowych.

**5. Odbieracz Bose'go.** — Odbieracz oparty jest na tej samej zasadzie, co rurka Branly'ego. Zwykły koherer jest przyrządem bajecznie subtelnym, w działaniu jednak jest nieco kapryśny. Od czasu do czasu staje się tak nadzwyczajnie czułym, że galwanometr odchyła się bez widocznej przyczyny; to znowu w chwili, gdy zdaje się działać doskonale, czułość jego raptem zanika.

Prawdopodobnie niektóre cząstki zanadto ściśle przylegają wtedy do siebie, lub też wskutek zanadto długiego działania powierzchni kontaktu tracą swą poprzednią wrażliwość.

Bose więc zmienił pierwotny koherer. Zwiija on sprężyny z cienkich drutów stalowych. Wązki rowek, wydrążony w kawałku ebonitu, wypełnia się temi sprężynkami, które tworzą pojedynczą warstwę; każda sprężynka styka się z następną w jednym tylko, ściśle określonym punkcie; w ten sposób otrzymuje się wielka ilość kontaktów. Sprężynki umieszczone są między dwoma kawałkami brązu, z których jeden jest stały, drugi może być przesuwany. Oba kawałki brązu połączone są z ogniwem.



Prąd z ogniwa przybywa przez górną sprężynkę, następnie przepływa przez wszystkie sprężynki, przechodząc od jednej do drugiej w punktach ich zetknięcia, a w końcu przez dolną uchodzi z koherera nazewnątrz.

Opór stawiamy przez punkty zetknięcia sprężynek maleje za każdym razem, gdy fale elektromagnetyczne padną na odbieracz.

Ciśnienie, wywierane w rozmaitych punktach kontaktu, reguluje się za pomocą śruby, naciskającej na pierwszą sprężynkę; jest ono jednostajne, gdyż każda sprężynka przenosi to ciśnienie na następną.

Wszystkie punkty kontaktu znajdują się na jednej prostej, na której można skupiać promienie za pomocą soczewki cylindrycznej.

W chwili działania tych promieni opór całkowity aparatu zmniejsza się, prąd przez niego przechodzący staje się silniejszym, i galwanometr wskazuje zmiany w jego natężeniu.

Przyrząd ten jest czuły w sposób nadzwyczajny: odpowiada na wszystkie drgania w obrębie jednej oktawy. Można go zrobić czułym na drgania rozmaitego rodzaju, zmieniając siłę elektrobodźczą, która pędzi prąd przechodzący przez odbieracz.

Przyrząd jest zamknięty w pudle metalowem, zaopatrzonem w jeden tylko długi i wązki otwór. Na przyrząd mogą działać tylko te promienie, które są zogniskowane na tej szczelinie; przeciwko działaniu wszystkich innych koherer jest całkowicie zabezpieczony.



## ROZDZIAŁ XI.

### IMITACJA ZJAWISK ŚWIETLNYCH.

**1. Warunki imitacyi.**—Według pomysłu Maxwell'a światło nie jest niczem innym, jak zaburzeniem elektromagnetycznem, które się rozchodzi w powietrzu, w próżni lub w rozmaitych ośrodkach przezroczystych. Fale elektryczne, wysyłane przez ekscytator, różnią się od światła tylko okresem swych drgań; na siatkówkę oczną nie działają dlatego tylko, że ich fale są zbyt długie.

Widzieliśmy, że zaburzenia te rozchodzą się z tą samą zupełnie szybkością, co światło. To jednak nie wystarczy; trzeba dowieść, że one posiadają wszystkie własności światła i że za pomocą nich można powtórzyć wszystkie zjawiska optyczne.

Pewną przeszkodę stanowi tu znaczna długość fali. W celu osiągnięcia tych warunków, w jakich się obserwuje zjawiska optyczne, należałoby, w myśl zasady podobieństwa, wszystkie wymiary zwiększyć w tym samym stosunku.

Tak, na przykład, jeżeli używamy dużego wibratora Hertza (długość fali—6 metrów), to chcąc, by zwierciadło w tym przypadku posiadało taką samą rolę, jak lustro



o powierzchni milimetra kwadratowego, musielibyśmy mu nadać powierzchnię miarimetra kwadratowego.

Jest rzeczą oczywistą, że warunek ten może być spełniony tylko w przybliżeniu; stopień przybliżenia będzie jednak tem większy, im krótszemi falami będziemy się posługiwali. Hertz otrzymał względnie dobre wyniki już przy użyciu swego małego ekscytatora. Righi i Bose, używając fal dziesięć i sto razy krótszych, otrzymali imitację światła o wiele doskonalszą, jak zresztą należało tego oczekiwać.

**2. Interferencya.** — Wyżej, w rozdziale VII, mówiliśmy o interferencyi, jaka zachodzi między falami elektrycznymi, wysyłanemi bezpośrednio przez ekscytator, a falami, odbitemi od zwierciadła metalowego. W doświadczeniach tych promienie interferujące, to jest promień odbity i pierwotny, biegną w kierunkach przeciwnych.

Tak więc znajdujemy się w warunkach mocno różniących się od tych, jakie nam stwarzają przyrządy, przeznaczone do badań nad interferencyą optyczną; tam oba promienie biegną w tym samym kierunku i przenikają się pod kątem bardzo ostrym. Im mniejszy jest ten kąt, tem szersze są prążki interferencyjne, a więc tem łatwiejsza ich obserwacya. Dlatego to w optyce nie doprowadza się zazwyczaj do interferencyi promieni o kierunkach przeciwnych; w takim bowiem razie otrzymywalibyśmy prążki o szerokości zaledwo kilku dziesięciotysięcznych milimetra.

W ostatnich dopiero czasach Wiener zdołał obserwować prążki świetlne, w takich warunkach otrzymane. Są to takie same prążki, jakie powstają w fotografii barw-



nej Lippmanna. Wiadomą jest rzeczą, że uczoney ten umieszcza kliszę fotograficzną na warstwie rtęci, która działa jak zwierciadło. Promień padający interferuje z promieniem, który się odbił od rtęci i idzie w kierunku odwrotnym; w ten sposób na kliszy powstaje szereg prążków, jednakowo od siebie odległych. Prążki te są analogiczne do prążków elektrycznych, jakie zbadaliśmy w rozdziale VII.

Righi najlepiej powtórzył zwykłe doświadczenia nad interferencyą. Fale elektryczne odbijały się w jego doświadczeniu od dwóch zwierciadeł, nachylonych względem siebie pod małym kątem. Jeżeli za pomocą ekranu metalowego zabezpieczyć rezonator od działania promieni, bezpośrednio wysyłanych przez ekscytator, to można zbadać interferencyę dwóch promieni odbitych. Odpowiada to doświadczeniu Fresnel'a z dwoma zwierciadłami.

Można również owe dwa zwierciadła umieścić w dwóch płaszczyznach równoległych, blisko siebie położonych; otrzymujemy w ten sposób przyrząd zbliżony do aparatu interferencyjnego, jakiego Michelson używał do optycznej konstrukcyi wzorców centymetra i decymetra.

W końcu, zamiast dwóch promieni, odbitych od zwierciadeł, można doprowadzić do interferencyi promienie, załamane przez dwa pryzmaty z siarki. Na tem polega doświadczenie Fresnela z dwoma pryzmatami.

**3. Cienkie warstwy.** — Jednym z najpiękniejszych zjawisk interferencyi optycznej są barwne pierścienie Newtona. Im to bańki mydlane zawdzięczają swe bogactwo barw; jest ono wynikiem interferencyi promieni, odbitych od obu powierzchni cienkiej warstwy.

Mogą również interferować promienie elektryczne,



odbite od cienkich warstw. Wszystko jednak jest względne; by w optyce warstwa była cienką, jej grubość musi się mierzyć tysięcznymi milimetra; Righi, mając do czynienia z falami 10.000 lub 50.000 razy dłuższymi, używał cienkich płytek parafinowych grubości 1 lub 2 centymetrów.

**4. Fale wtórne.**—Zjawiskiem, dokładnie zbadanem przez Righi'ego, są fale wtórne. Ich analogię optyczną trudniej jest zauważyć i będziemy o niej mówili w rozdziale następnym. Jeżeli promienie, jakie wysyła ekscytator, padają na rezonator, to wprawiają go w drgania, i sam on z kolei staje się źródłem, wysyłającym nowe promienie. Można się o tem przekonać, zbliżając do niego inny rezonator, zabezpieczony ekranem metalowym od działania promieni pierwotnych.

Promienie wtórne, wywołane w ten sposób przez rezonator, mogą interferować z promieniami pierwotnymi. Promienie wtórne, wywołane przez dwa rezonatory, również mogą interferować między sobą.

I na koniec, wskutek zjawiska rezonansu wielokrotnego, o którym szczegółowo mówiliśmy wyżej, ekscytator może działać na dwa rezonatory, którym są właściwe fale o rozmaitej długości i te dwa rezonatory mogą działać nawzajem na siebie.

Righi dowiódł, że bryła dielektryku, podobnie jak i rezonator, staje się źródłem, wysyłającym fale elektryczne wtórne.

Nic w tem niema dziwnego. Jakżeż rezonator odpowiada na padające na niego fale? Wyjaśniliśmy, że w taki sam sposób, jak piszczałka organowa (porówn. str. 38). Fala dźwięku, wywołana przez jakąś przyczynę, od-



bija się do obu końców tej rury i podlega w ten sposób szeregowi kolejnych odbić. Jeżeli między wysokością dźwięku i długością pizaczałki zachodzi harmonia, wszystkie te fale odbite wywołują drgania zgodne, które dodają się do siebie i w ten sposób wzmacniają dźwięki.

W rezonatorze metalowym zaburzenie elektryczne odbija się od dwóch końców drutu i fale tak odbite mogą w ten sam sposób składać się i wzmacniać wzajemnie.

Jeżeli będziemy rozważali bryłę dielektryku, to tam zachodzi zjawisko podobne: zaburzenia elektryczne odbijają się będą od obu powierzchni, ograniczających tę bryłę tak, jak w rezonatorze odbijają się od dwóch końców drutu metalowego.

Tak więc bryła dielektryku jest sama przez się prawdziwym rezonatorem.

Wszystkie te fale wtórne, interferując między sobą, wywołują zjawiska pozornie zawile, których rozwikłanie jest wielką zasługą Righi'ego.

**5. Uginanie.** — Zjawiska uginania są tem łatwiej dostrzegalne, im większa jest długość fali. Ich powtórzenie z falami elektrycznymi jest więc łatwe. Odtworzono zjawiska uginania, zachodzące wskutek szczeliny lub na krawędzi zasłony nieograniczonej.

Jeżeli jednak zamiast zasłony metalowej użyć dielektryku jako ciała nieprzezroczystego, to zjawiska komplikują się, trzeba bowiem brać pod uwagę fale wtórne, wysyłane przez dielektryk. Nie zawsze wystarcza tu zastosowanie zasady Huyghensa i bezpośrednio wynikającej z niej teorii czysto geometrycznej. Można się nią zado-



wolnić w optyce, tu bowiem wskutek małej długości fali uginanie wywołuje odchylenia bardzo słabe. Teoria geometryczna nie wystarcza już w doświadczeniach Gouy nad uginaniem powodowanym przez krawędź doskonale wystrzonej brzytwy.

Bose dopełnił szeregu zjawisk, naśladowujących uginanie światła, budując siatki dyfrakcyjne i używając ich do pomiarów długości fali drgań elektrycznych.

**6. Polaryzacja.** — Drgania elektryczne są zawsze spolaryzowane; zawsze bowiem obdywiają się równolegle do osi ekscytatora. Są więc pod tym względem podobne do drgań światła spolaryzowanego, które mają stały kierunek, a nie do drgań światła naturalnego, w którym kierunek drgań zmienia się w każdym momencie, chociaż ciągle pozostaje w płaszczyźnie prostopadłej do promienia świetlnego.

Można jednak otrzymać zjawisko, zbliżone do tego, jakie wywołuje polaryzator, a które polega na tem, że promień spolaryzowany, przechodząc przez niego, zmienia płaszczyznę polaryzacji.

Hertz korzystał w tym celu z siatki, składającej się z szeregu równolegle naciągniętych drutów metalowych. Widzieliśmy, że metal zatrzymuje fale elektryczne właśnie dlatego, że jest przewodnikiem. Siatka taka jest przewodnikiem w tym tylko kierunku, w którym idą druty. Będzie więc ona pochłaniała drgania równoległe do tego kierunku, natomiast przepuszczać będzie drgania do niego prostopadłe.

Ważną jest rzeczą odróżnić siatkę polaryzującą od siatki dyfrakcyjnej, z której korzystał Bose, a która za-



chowuje się jak optyczna siatka dyfrakcyjna. Ich działanie jest zupełnie odmienne, a różnica ta wynika stąd, że w siatce polaryzującej odległość między drutami jest mniejsza od długości fali, podczas gdy w siatce dyfrakcyjnej odległość ta jest od niej większa.

Siatka polaryzująca nie ma swego odpowiednika w optyce; co najwyżej można ją porównać z turmalinem, który pochłania drgania, odbywające się w pewnym określonym kierunku.

**7. Polaryzacja za pomocą odbicia.**—Metale i dielektryki odbijają fale elektryczne; zjawiska powinny być takie same, jakie zachodzą przy odbijaniu się od metali i od szkła światła spolaryzowanego. Przypuszczenie to zostało sprawdzone przez Trouton'a i Klemencic'a. Righi sądził początkowo, że otrzymał wyniki odwrotne; skoro jednak przekonał się o istnieniu fal wtórnych, których prawa sam wykrył, to przeciwnie, w całości potwierdził wnioski, do jakich doszli jego poprzednicy.

Co do jednego punktu nie było już od tej chwili żadnej wątpliwości: drgania elektryczne są prostopadłe do płaszczyzny polaryzacji, podobnie jak drgania świetlne w teorii Fresnela.

Odbicie od metali powoduje, jak i w świetle, polaryzację eliptyczną lub kołową.

Przyrządy Righi'ego bardzo łatwo wykrywają tę polaryzację. Nadajmy rezonatorowi rozmaite kierunki; jeżeli przy jednym z nich iskry zupełnie zanikają, to polaryzacja jest prostoliniowa; jeżeli iskry przy wszystkich położeniach rezonatora posiadają blask taki sam, to polaryzacja jest kołowa; w przypadkach pośrednich, gdy



blask iskry przechodzi przez minimum, nigdy nie zanikając całkowicie, polaryzacja jest eliptyczna.

**8. Załamanie.** — Dość dawno już wykonano pryzmaty i soczewki z siarki albo z parafiny, które tak działają na fale elektryczne, jak pryzmaty i soczewki szklane na światło.

Załamanie wpływa na płaszczyznę polaryzacji według tych samych praw, co i w optyce. Działanie to może być uwidocznione dobitniej za pomocą wielokrotnego odbicia i załamania, które naśladowałoby zjawisko świetlne, wywoływane przez szereg płytek równoległych.

Opiszemy tu ciekawe doświadczenie Bose'a. Wiadomo, że wskutek wielokrotnego odbicia szkło mielone jest dla światła nieprzezroczyste i że, mieszając je z balsamem kanadyjskim, którego współczynnik załamania jest ten sam co i szkła, można mu przezroczystość przywrócić. Nałożmy do pudełka kauczuku, pociętego na małe nieregularne kawałki; fale elektryczne nie mogą przejść przez nie. Przezroczystość przywraca się po dolaniu do nich nafty.

Zauważymy mimochodem, że niektóre ciała, jak na przykład siarka, są dla światła nieprzezroczyste, gdyż składają się z maleńkich kryształków, na których powierzchni zachodzą odbicia. Zachowują się więc, jak szkło tłuczone. Dla fal elektrycznych, przeciwnie, są one przezroczyste; kryształy te są znacznie mniejsze od długości fali; wobec tych fal więc muszą być uważane za jednorodne.

**9. Odbicie całkowite.**—Zjawiska całkowitego odbicia wewnętrznego i wynikającej stąd polaryzacji kołowej, mogą być powtórzone z falami elektrycznymi bardzo łatwo;



zachodzi przy tem pewna okoliczność, tak ciekawa, że godna, by zwrócić tu na nią uwagę.

Według teoryi, gdy promień ulega całkowitemu (wewnętrznemu) odbiciu, część wstrząśnienia przenika w drugie środowisko i zachowuje się przy tem według pewnych szczególnych praw. Nie można jednak tego zauważyć, gdyż wstrząśnienie to przenika do warstwy, której grubość nie przenosi długości fali.

W optyce nie można sprawdzić bezpośrednio tego faktu, przewidzianego przez teoryę; należało się ograniczyć do doświadczeń pośrednich, gdzie występują zjawiska zbliżone do pierścieni barwnych.

Przeciwnie, sprawdzenie staje się zupełnie możliwe przy falach bardzo długich. Wypada ono zupełnie zadowalniająco; w tym przypadku fale elektryczne odślaniają nam jeden z tajników fal świetlnych.

**10. Podwójne załamanie.** — Kryształy posiadają podwójne załamanie względem fal elektrycznych; ponieważ jednak mogą być używane tylko kryształy cienkie, to otrzymuje się zjawisko takie, jak w mikroskopie polaryzującym, gdzie cienka blaszka kryształu włożona jest między analizator i polaryzator.

Bose używa siatek polaryzacyjnych Hertza w charakterze zarówno analizatora jak i polaryzatora.

Należy się wystrzegać mieszania dwóch zjawisk, które w tym aparacie dają podobne efekty, najczęściej występują jednocześnie i mogą być od siebie oddzielone tylko przy bardzo uważnej analizie.

Ciała krystaliczne mają rozmaite współczynniki załamania dla drgań rozmaitego kierunku; jest to podwójne



załamanie w ścisłym tego słowa znaczeniu. Z drugiej zaś strony w różnym stopniu pochłaniają te drgania: w optyce nazywa się to dychroizmem.

Oba te zjawiska zostały wykryte. Dychroizm można obserwować zwłaszcza na takich ciałach, które mają budowę blaszkową lub włóknistą, jak drzewo, książka, pęk włosów. Sposób działania ich może być porównany ze sposobem działania siatki polaryzującej Hertz'a.

Bose wykazał, że dychroizm dla fal elektrycznych zawsze idzie w parze z różnym przewodnictwem elektrycznym w dwóch rozmaitych kierunkach.



## ROZDZIAŁ XII.

### SYNTEZA ŚWIATŁA.

**1. Synteza światła.** — Wszystkie te doświadczenia niezbicie dowodzą analogii między światłem i promieniami siły elektrycznej.

Promienie te w niczem nie różniłyby się od promieni świetlnych, gdyby okres ich drgań teraz już tak mały, był jeszcze milion razy mniejszy.

Wiadomo, że słońce przesyła do nas wiele rodzajów promieniowań; jedne z nich są świetlne, gdyż działają na siatkówkę; inne — ciemne, nadfioletowe lub podczerwone, które dają o sobie znać swojem działaniem chemicznem lub cieplnem. Pierwsze zawdzięczają pewnego rodzaju przypadkowi fizyologicznemu te właściwości, z powodu których wydają się nam zupełnie odmiennymi. Dla fizyka promień podczerwony nie różni się więcej od promienia czerwonego, niż czerwony od zielonego; tylko długość fali jest nieco większa; w promieniowaniu Hertza jest ona jeszcze znacznie większa. Jest to jednak tylko różnica ilościowa i można utrzymywać, że jeżeli pomysły Maxwell'a są prawdziwe, to znakomity profesor z Bonn dokonał prawdziwej syntezy światła.



Synteza ta jednak nie jest jeszcze doskonała; pierwsza trudność wynika przede wszystkim z samej długości fali.

Wiadomo, że światło nie podlega ściśle prawom optyki geometrycznej, i że odchylenie, jakie z dyfrakcyi wynika, jest tem znaczniejsze, im większa jest długość fali. Przy wielkich długościach fal Hertz'a zjawiska te muszą posiadać bardzo duże znaczenie i mogą wszystko wkleść. Niewątpliwie, jest to szczęśliwym zbiegiem okoliczności, przynajmniej, jak na teraz, że nasze środki obserwacyi są tak grube; gdyby było inaczej, prostota, która nas przy pierwszym rzucie oka zachwyca, ustąpiłaby miejsca zawilości i niejasności, których nie moglibyśmy rozwikłać. Stąd prawdopodobnie wynikają rozmaite anomalie, których nie można było dotychczas wyjaśnić.

Z tej to przyczyny małe wymiary naszego ciała i tych przedmiotów, których zazwyczaj używamy, stanowiłyby jedyną przeszkodę do osiągnięcia doskonałej syntezy. Dla olbrzymów, którzyby liczyli odległości na tysiące kilometrów, to jest na miliony długości fali, otrzymywanej za pomocą ekscytatorów Hertza, którzy czas mierzyliby milionami okresów drgań Hertza, dla nich promienie Hertza wydawałyby się zupełnie tem samem, czem dla nas światło.

**2. Inne różnice.** — Na nieszczęście są jeszcze inne różnice; pierwsza z nich polega na tem, że fale Hertz'a zanikają bardzo szybko, natomiast czas trwania drgań świetlnych liczy się na tryliony drgań. Okolicznością tą, jakśmy widzieli, tłumaczą się zjawiska rezonansu wielokrotnego, dla którego brak analogii w optyce.



Nie koniec na tem; przypomnijmy sobie, czem jest światło: w ciągu jednej dziesiątej sekundy (to jest w ciągu trwania podrażnienia siatkówki) kierunek drgań, ich natężenie, faza i okres zmieniają się miliony razy: a jednak zasadniczo pozostają stałemi podczas milionów drgań. Liczba drgań w ciągu sekundy wynosi rzeczywiście miliony milionów.

Rzecz się ma zgoła inaczej z drganiami Hertz'a:

1) Nie odbywają się one we wszystkich możliwych kierunkach, jak drgania światła naturalnego; zachowują one kierunek stały podobnie do drgań światła spolaryzowanego,

2) Ich natężenie bynajmniej nie zachowuje stałej wartości przez cały czas trwania milionów drgań, lecz tak szybko się zmniejsza, że po niewielkiej liczbie drgań zanika całkowicie. Gdy jedne fale ucichną, to natychmiast po nich nie powstają nowe z nowym okresem, fazą i w nowym kierunku; zachodzi długi okres ciszy, o wiele dłuższy od okresu ich działania, a który przerywa dopiero nowy ruch przerywacza cewki Ruhmkorff'a.

Widzieliśmy na str. 74 — 75, że energia, jaką wysyła ekscytator w rozmaitych kierunkach, posiada rozmaite natężenie, że dochodzi ono do maximum w kierunkach linii którą nazwaliśmy równikiem, a na biegunach jest równe zeru. Dlaczego nie znajdujemy tych samych praw w zjawiskach świetlnych?

Źródło światła również nie wysyła w tym samym momencie jednakowych ilości energii we wszystkich kierunkach; tylko że równik w ciągu jednej dziesiątej sekundy tak często się zmienia, że



przyjmuje wszystkie możliwe kierunki, a stąd wynika, że nasze oko, mogąc zauważyć tylko wielkości przeciętne, otrzymuje wrażenie oświetlenia jednostajnego. Czegóż więc trzeba byłoby do osiągnięcia doskonałej syntezy światła? Należałoby w niewielkiej przestrzeni umieścić olbrzymią liczbę ekscytatorów, w rozmaitych kierunkach ustawionych; należałoby wszystkie te ekscytatory puszczać w ruch jednocześnie albo kolejno, lecz bez przerwy, tak żeby każdy następny rozpoczynał drgania, zanim ustałyby drgania poprzedniego. W końcu, dla skonstataowania przebiegu zjawiska, konieczny byłby przyrząd, który zapisywałby energię przeciętną, a który, podobnie do siatkówki, zatrzymywałby podrażnienie przez czas trwania całych trylionów drgań Hertza.

To, co w ten sposób otrzymanoby, stanowiłoby, dzięki zanikaniu drgań, analogię światła białego, gdyby nawet wszystkie ekscytatory miały ten sam okres drgań.

By otrzymać coś zbliżonego do światła jednobarwnego, ekscytatory powinnyby mieć nie tylko te same okresy drgań, lecz i zanikanie powinnyby być możliwie słabe.

**3. Wyjaśnienie fal wtórnych.** — Mówiłem (na str. 94) o falach wtórnych, że wykrył je Righi i że wysyłają je rezonatory albo masy dielektryków, umieszczone w pobliżu ekscytatora. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że zjawiska te nie mają analogii w optyce.

Nie możnaby ich porównać z tem, co zachodzi, gdy jakiegobądź ciało o tyle się ogrzewa przy pochłanianiu przechodzącego przez nie światła, że samo z kolei staje się



święcącym. W tym przypadku przekształcenie odbywa się nie bezpośrednio, lecz za pośrednictwem ciepła; co więcej, nie koniecznie musi zachodzić jakiś stosunek określony między fazą drgań wysyłanych przez żarzące się ciało i fazą drgań, wywołujących żarzenie. Drgania te nie mogłyby więc interferować między sobą.

Tembardziej nie należy przyrównywać fal wtórnych ze zjawiskami fosforescencyi, gdyż drgania, wysyłane przez ciała fosforyzujące również nie mogą interferować z drganiami wywołującymi fosforescencję.

Porównania należy poszukać gdzieindziej.

Jeżeli powstają fale wtórne, to jest to dowodem, że część fal wzbudzających została ugięta przez rezonator lub masę dielektryku. Tylko że to „uginanie“ znacznie się różni od tego, do którego jesteśmy przyzwyczajeni.

Przedewszystkiem odchylenia są bardzo znaczne ponieważ rozmiary ciał rozpraszających są tego rzędu, co długość fali.

Powtórę, zjawiska tego rodzaju zależą od natury ciał, a nie tylko od ich kształtu, jak wymagałaby tego teoria Fresnela; teoria ta jest tylko przybliżona i stosuje się do małych odchyień, jak to wykazały doświadczenia Gouy'a nad światłem rozpraszaniem przez ostrze brzytwy.

W końcu fale wtórne, wywoływane przez rezonatory, nie są, wogóle powiedziawszy, takie same, jak fale padające; podobnież w optyce natura światła ugiętego jest inna niż natura światła padającego; tak naprzykład światło białe po ugięciu staje się najczęściej zabarwione. Tylko w doświadczeniach Hertza i Righi'ego ta zmiana promie-



niowania wskutek ugięcia występuje pod postacią tak niezwykłą, że trudno nam ją rozpoznać bez pewnego wahania.

Zanikanie drgań wibratora zachodzi szybciej, niż zanikanie drgań rezonatora; wskutek tego zdarza się, że fale wtórne, odpowiadające światłu ugiętemu, trwają jeszcze po zaniknięciu fal padających. Ta niezwykła forma uginania wyda się nam po chwili zastanowienia zupełnie zrozumiałą.

Drganie zanikające z pewnego punktu widzenia może być porównane z drganiem złożonym, którego składowe nie zanikają.

Cóż zachodzi pod koniec pewnej liczby drgań? Można zauważyć, że każde z tych składowych zachowało swoje natężenie, gdy tymczasem drganie wypadkowe zanikło. Jakże to zachodzi? Drganie wypadkowe gaśnie, gdyż składowe wskutek interferencji znoszą się wzajemnie.

Uginanie rozłoży to drganie złożone, jak rozkłada światło białe na poszczególne barwy. Jeżeli pozostawia jedną ze składowych, to wzajemna interferencya reszty składowych już jej nie zniweczy.

Światło padające, w którym wszystkie składowe są dane jednocześnie, może więc zaniknąć, podczas gdy światło rozproszone, które zawiera tylko jedną z nich, nie zgaśnie.

Ze światłem zwykłym to zjawisko nigdy nie zachodzi; tak samo zresztą nigdy nie zachodziłoby ze światłem Hertza, gdybyśmy zamiast pojedynczego ekscytatora mieli ich liczbę bardzo dużą, jak to wyjaśniłem na str. 104.

Zaczynałyby one działać w dowolnych momentach,



lecz niezależnie jeden od drugiego i byłyby na tyle liczne, że nie zachodziłaby obawa chwilowej nawet przerwy w tym chórze. Otrzymałibyśmy w ten sposób doskonałą syntezę światła i jest rzeczą widoczną, że w tym przypadku fale padające już nie zanikałyby.

Zresztą pewne świeżo wykonane doświadczenie lepiej wykazało analogie optyczne fal wtórnych Righi'ego.

Garbasso rzucał fale Hertza na rodzaj ekranu nieciągłego, który się składał z pewnej liczby jednakowych rezonatorów. Ekran odbijał fale wtórne, których okres i zanikanie zależały od właściwości rezonatorów.

Zjawisko to, którego analogia z falami wtórnymi jest oczywista, może być powtórzone i w dziedzinie optyki. Z posrebrzonego szkiełka zdejmowano srebro za pomocą rys jednakowo odległych i blizkich siebie w ten sposób, że otrzymano bardzo delikatną siateczkę; pozostałe srebro tworzyło dużą liczbę małych prostokątów, które możnaby porównać z rezonatorami.

Przyrząd ten zachowywał się względem promieni podczerwonych tak, jak przyrząd Garbasso względem promieni Hertza; drugi był odtworzeniem pierwszego tylko w rozmiarach bardzo od niego różnych.

**4. Różne uwagi.**—Dwa promienie świetlne, pochodzące z rozmaitych źródeł, nie mogą interferować z następującego powodu. Widzieliśmy, że promienie zachowują się tak, jak gdyby każdy z nich wywoływany był przez wielką liczbę ekscytatorów, które zaczynałyby drgania niezależnie od siebie i w nieregularnych odstępach czasu.

W ciągu jednej dziesiątej sekundy wszystkie te eks-



cytatory są kolejno wprawiane w ruch, różnica faz dwóch promieni interferujących wielokrotnie się zmienia; promienie to się składają, to się niweczą; oko które jest zdolne zauważyć tylko przeciętną, nie widzi ani wzmożenia się, ani osłabienia w nateżeniu światła, nie widzi interferencji. Jedna para ekscytatorów wywoływałaby prążki interferencyjne, ale szeregi rozmaitych układów prążków, pochodzących od rozmaitych par ekscytatorów, nie nakładają się prawidłowo jeden na drugi, lecz zacierają się, zatuszowują nawzajem i widzimy już tylko oświetlenie jednostajne.

Przyczyny te znikają w przypadku dwóch promieni Hertza, z których każdy jest wywoływany przez pojedynczy ekscytator przy jednym tylko przerwaniu prądu w pierwotnym obwodzie cewki. Niema tu żadnej przyczyny, która mogłaby wikłać prążki interferencyjne, gdyż jest tutaj tylko jeden ich układ. Dwa więc promienie, chociaż rozmaitego pochodzenia, muszą interferować między sobą.

Nie zawsze można będzie łatwo spostrzedz interferencję, gdyż, wogóle powiedziawszy, drugi ekscytator będzie drgał długo jeszcze po ustaniu działania pierwszego. Można jednak osiągnąć interferencję, zasilając oba ekscytatory tą samą cewką, jeżeli zanikanie obu odbywa się nie zanadto szybko. Jest to nowa różnica względem drgań świetlnych.

Możnaby również zapytać, jakie zjawisko świetlne, jest podobne do rozchodzenia się fal wzdłuż drutu. Odpowiednie zjawisko optyczne nie może być zauważone, wskutek bowiem małej długości fali pozostaje ono ograniczone,



tak w powietrzu, jak i w metalu do warstwy o grubości jednej lub dwóch tysięcznych milimetra.

Co najwyżej możnaby upatrywać pewne podobieństwo do fontanny świecącej, gdzie energia świetlna rozchodzi się wzdłuż strumienia cieczy; porównanie to, może nie tak grube, jak się to może wydawać, jest jednak mało dokładne, gdyż druty metalowe są przewodnikami, gdy tymczasem strumień cieczy zachowuje się względem światła, jak dielektryk przezroczysty.

Niemniej jednak możnaby i z promieniami Hertza powtórzyć zjawisko fontanny świecącej.

Możnaby w takim razie wykonać szereg doświadczeń z dielektrykami, których zdolność indukcyjna  $\epsilon$  (porównaj rozdz. IX) wzrastałaby stopniowo, a rozchodzenie się wzdłuż drutu metalowego stałoby w takim razie na końcu tego szeregu, jako przypadek graniczny.









## Alfabetyczny spis rzeczy i nazwisk.

- Ampère** 13.
- Birkeland** 40.
- Bjerknes** 42—43, 48, 65, 67, 82.
- Blondlot** 33, 34, 47 (p. fale w drutach), 54—57 (pomiar szybkości), 66, 78, 81 (pomiar stałej dielektr.), 84.
- Bolometr** 41, 45
- Bose** 34, 45, 82, 84, 87—88, 92, 96, 98, 99, 100
- Branly** 43, 45, 82, 89.
- Cohn** 81.
- Décombe** 66, 67—68.
- De la Rive** 36, 60, 61 (rezonans wielokrotny), 64, 72
- Dielektryki** 14, 15, 83
- Długość fali wibratorów Hertza** 36; p. fale
- Drgania elektryczne** 74, 75  
 „ magnetyczne 74, 75
- Dychroizm** 100
- Dyfuzya prądu przemiennego** 50, 53
- Ekscytator p. wibrator**
- Elektrolity** 82
- Elektrometr kwadrantowy** 42—43
- Elektrostatyczne zjawiska** 3
- Elektryczne zjawiska** 1
- Fale elektromagnetyczne (długość)** 58—59, 70
- Fale elektromagnetyczne krótkie** 84—90
- Fale elektromagnetyczne w drutach** 46, 108
- Fale elektromagnetyczne (rozchodzenie się)** 48—50
- Fale podłużne** 20  
 „ poprzeczne 20, 75  
 „ stojące 58—59, 60—64 p. dyfuzya, szybkość, interferencya
- Feddersen** (doświadczenia) 22, 24, 28, 30; zdjęcia iskry 23, 24, 67, 68
- Fizeau** 51, 53, 54
- Fontanna świecąca** 109
- Foucault'a** doświadczenia 6  
 „ prądy 28
- Fresnel** — 13, 20, 93, 97, 105
- Garbasso** 64, 107
- Geisslera** rurka 41, 45
- Gordon** 80
- Gounelle** 51, 53
- Gouy** 81, 96, 105
- Hertz** 30—32 (biografia), 84, 91, 96, 103, 35—36 (efekt fotoelektryczny), 44, 46 (fale w drutach), 58—59, 72 (fale stojące), 32—33, 36, 46 (wibrator).
- Holtza** maszyna 86.
- Indukcyja** 7, 8, 11
- Interferencya fal el.-magnetycznych** 61—64, 93
- Interferencya fal świetlnych** 92—93
- Iskra** 34—35  
 wpływ światła na iskłę wtórną 35—36
- Izolatory** 14
- Jones** 66, 67
- Jony** 83
- Kelvin** lord 24—27 (teorya oscylacyjnego charakteru rozbrojenia), 28
- Kierunek prądów indukcyjnych** — 7, 9
- Klemencic** 97
- Koherer** 43—44, 89—90
- Kondensator** 3, 77, 78
- Lippmann** 93
- Lodge'a** wibrator 34, 85, 88



- Ladunki elektr. (wzajemne oddziaływanie na siebie) 5
- Maxwell** 2, 10, 13, 14, 15, 16, 18, 29, 30, 91, 101 (p. prądy, stosunek).
- Mechaniczne tłumaczenie zjawisk el. — 1
- Natężenie prądu — 6
- Newtona** pierścienie barwne 93
- Odbicie całkowite 98
- Odbieracz fal elektromagnetycznych Bose'go 88, 89
- Odległość międzywęzłowa fal w drutach 65, 66
- Odległość międzywęzłowa fal w powietrzu 70, 71, 73
- Okres drgania prądu przemiennego 23
- Opór dielektryków (sprężysty) 6, 7, 16, 82
- Opór przewodników (lepki) 6, 7, 16
- Pérot** 40, 66, 67, 80, 81
- Polaryzacja 96—97, 98  
" kołowa 99
- Potencjał 4—5
- Prądy dielektryczne (Maxwella) 16, 17, 18
- Prądy otwarte 18—20  
" przemienne w dielektrykach 19—20
- Prądy przewodzone (Volty) 10 (wzajemne oddz. na siebie), 14, 16, 17, 18
- Prądy zamknięte 18, 20
- Rezonans wielokrotny 60—64, 94
- Rezonator Blondlot'a 34  
" Righi'ego 87  
" typy 39—40  
" zasada 37—38
- Righi** 34, 84, 92, 93, 94, 97, 104
- Ruhmkorff** 80, 88, 103.
- Samoi indukcyja 7, 9, 25
- Sarasin** 36, 60, 61 (rezon. wielokr.), 64, 72
- Siatka dyfrakcyjna 96, 97  
" polaryzacyjna 96, 97, 99
- Siła przeciwelektroboźcza 7,
- Spółczynnik załamania promieni świetlnych 77
- Spółczynnik załamania promieni elektr. 78—79
- Stała dielektryczna 77, 78, 109
- Stosunek jednostek elektrostat. do elektromagnet. — 13
- Stehetioef** 80
- Strindberg** 65, 66
- Synteza światła 101—104
- Szybkość fal elektromag. 51—53, 55—57
- Termoelektryczne ogniwo 42
- Trouton** 97
- Turpain** 63
- Uginanie fal elektromagnetycznych 95, 96
- Wibrator 32 (zasada)  
" Blondlot'a 33, 84  
" Bose'go 87—88  
" Herta 33, 84 (duży), 34, 84 (mały)
- Wibrator Lodge'a 34, 85  
" Righi'ego 84—85
- Wiener** 92.
- Załamanie 98  
" podwójne 99
- Zamiana energii mechan. na elektr. 3
- Zanikanie drgań elektrycznych 27—29, 106
- Zdolność indukcyjna—p. stała dielektryczna
- Zehnder** 64.



KATALOG DZIEŁ WYDANYCH Z ZAPOMOGI  
KASY POMOCY  
DLA OSÓB PRACUJĄCYCH NA POLU NAUKOWEM  
im. d-ra med. J. MIANOWSKIEGO.

MATEMATYKA

	Mk. f.
*Autenrieth Ed. Mechanika techniczna ob. (B. M. III 7) . . . . .	6.—
*Baraniecki A.M. Własności przecięć stożkowych ob. (B. M. III, 5)	1.—
*Brahly M. E. Ćwiczenia metodyczne z rachunku różniczkowego. Przełożyli z nowego wydania <i>M. i J. Krassowscy</i>	5.—
Danielewicz A. B. Metoda najmn. kwadratów ob. (D. R. M. 8).	3.—
— Podstawy matematyczne ubezpieczeń życiowych ob. (D. R. M. 3).	5.—
* — Z dziedziny statystyki matematycznej. (16×23) 1884. 30.	—25
*Dedekind Ryszard. Ciągłość a liczby niewymierne. Z czwartego nie zmienionego wydania przełożył <i>St. Straszewicz</i> . (16×24), 1914, VIII+17 . . . . .	1.—
*Enriques F. Zagadnienia dotyczące geometrii elementarnej. Tom I-szy: Krytyka Podstaw. Z drugiego wyd. włoskiego przeł. <i>St. Kwietniewski</i> i <i>Wł. Wojtowicz</i> . (17×25) 1914, IV+331. . . . .	3.75
*Feldblum M. Geometria wykreślna (16×23 <sup>1/2</sup> ) 1902, XVI+325, z 172 rys. w tekście . . . . .	5.—
*Folkierski Wł. Zasady rachunku różniczkowego i całkowego. wyd. 2 t. II (B. M. III, 5). . . . .	6.—
*Gauss Karol Fryderyk. Rozważania ogólne o powierzchniach krzywych, z oryginału łacińskiego przełożył <i>Stefan Finkelkraut</i> , objaśnieniami i uwagami opatrzył <i>Juljusz Rudnicki</i> , z przedmową <i>Kazimierza Żorawskiego</i> , wyd. <i>Władysław Wojtowicz</i> . (15×24), 1913, 71. . . . .	2.—
*Gosiewski Wł. Rachunek prawdopodobieństwa. (16×23 <sup>1/2</sup> ) 1906, X+265. . . . .	5.—
*Goursat E. Kurs analizy matematycznej Tom I. cz. 2. Geometria różniczkowa. . . . .	2.50



- \***Hardy G. H. M. A.** Wykłady elementarne z dziedziny analizy, przełożył *Wł. Wojtowicz*. (18×25) 1916, XV+492. 7:50
- \***Kowalczyk.** O sposobach obliczania przeszkód biegu ciał niebieskich ob. (D. R. M. 5) . . . . . 10—
- \***Malanowicz J.** Kreślenie geometryczne ob. (*W. Peptl.*) . . . 1:50  
— Rzuty geometryczne (Geometria wykreslna dostosowana do potrzeb przemysłu i rzemiosł) 1913, II+110+2+269 rys. 2—
- \***Mansion P.** Zasady teorii wyznaczników z wieloma ćwiczeniami. Przełożył *W. Łopiński*. . . . . 2:75
- \***Pieri Mario.** Geometria elementarna oparta na pojęciach „Punktu“ i „Kuli“, z oryginału włoskiego przełożył *Stefan Kwietniewski*. (18×24), 1915, 152. . . . . 2:50
- Poradnik dla Samouków.** Wskazówki metodyczne dla studujących poszczególne nauki. Wydawnictwo *A. Heflicha i St. Michalskiego*. Wyd. nowe. T. 1-szy w opracowaniu *J. Łukasiewicza, Z. Janiszewskiego, St. Kwietniewskiego, St. Mazurkiewicza, W. Sierpińskiego, i St. Zaremby*. (15×23), 1915, XXXIX+618, z 34 fig. w tekście i I tabl. . . . . 6—
- Prace matematycz.-fizycz.** wyd. przy współud. *Wł. Natansona, J. Puzyny, M. Smoluchowskiego, S. Zaremby, K. Żorawskiego* przez *S. Dicksteina*. Tom XXVII. (16×24), 1916, 277. fig. 10. . . . . 7:50
- \***Rozmarynowicz Teofil.** Matematyczne podstawy ubezpieczeń na wypadek niezdolności do pracy w zastosowaniu do urzędzeń kas emer. Wyd. *B. Danielewicz*. (16½×23), 1886, IV+53. . . . . —25
- \***Schur F.** Podręcznik geometrii analitycznej przeł. *T. Łopuszański*, (16×24) 1901, X+236+1. nlb.+76 fig. . . . . 2:50
- \***Sierpiński W. dr.** Teoria liczb niewymiernych. (B. M. III, 6) 2—  
— Zarys teorii mnogości (B. M. III, 9). . . . . 2—  
— Teoria liczb (kurs uniwersytecki), (16×24), 1914, XIV+412 4:50
- \***Steiner J.** Konstrukcje geometryczne wykonane za pomocą linii prostej i stałego koła; przełożył *Stefan Kwietniewski*. (17×24) 1915, VIII+69, rys. 25. . . . . 1—
- \***Szczepański Józef.** Stopień wyższy matematyki elementarnej i początki rachunku nieskończonościowego. Podręcznik dla klas wyższych szkół średnich i dla samouków. (14½×22), 1906, 450. . . . . Mk. 3— karton 3:25



- Wektor.** Czasopismo matem.-fiz. Red. *Władysław Wojtowicz*; w Warszawie rb. 5,—z przysyłką 6,—zeszyt pojedynczy. 2—
- Witwiński Romuald.** O układach odwracalnych powierzchni potrójnie ortogonalnych. Odbitka z tomu XXVII-go Prac matematyczno-fizycznych. (18×25), 1915, 52+10 fig. 2—
- \***Zaremba Stanisław.** Wstęp do analizy. Część I-sza Pojęcie dowodu matematycznego oraz inne wiadomości pomocnicze. (17×24), 1915, 124. . . . . 1:50

### NAUKI PRZYRODNICZE.

- Silberstein Ludwik.** Elektryczność i magnetyzm. (14×21).  
 I 1908, VIII+366. . . . . 8:75  
 II 1910, 304. . . . . 7:50  
 III cz. I, 1913. 173. . . . . 4:50
- \***Faraday M.** Dzieje świecy, sześć wykładów popularnych w przekładzie *Maryi i Stanisława Kalinowskich*. (14×19), 1914, XXIII+105, fig. 35. . . . . 1—
- \***Gorczyński Władysław, Kosińska Stanisława.** O temperaturze powietrza w Polsce. Osobne odbicie z tomu XXIII-go Pamiętnika Fyzyograficz. (23×29), 1916, 262+XXVIII tab. 3—
- \***Joubert. J.** Zasady elektryczności. Z czwartego wydania francuskiego przełożył *Maryan Grotowski*. (16×23), 1915, XV+507; z 354 rys. w tekście. . . . . 7:50
- \***Klein P.** Meteorologia ogólna. Przełożył *R. Merecki*. (16×24), 1815, VII+437+7 str. sprostowań. . . . . 4:50
- \***Merecki Romuald.** Klimatologia ziem polskich. (17×25), 1014, 313. . . . . 4:50
- \***Pożaryski Mieczysław.** Podstawy naukowe elektrotechniki łącznie z zasadami pomiarów. (16×26), 1915, X+415, z 427 rysunkami w tekście. . . . . 6—
- \***Witkowski August.** Zasady fizyki. Fizyka ogólna. Dynamiczne własności materii. Akustyka. Opracował *Stanisław Loria*. Tom I, wyd. IV, (18×26), 1915, XX+535, rys. 205. . . . . 6—  
 Tom II, wyd. 2-ie. Ciepło. Fizyka cząsteczkowa. Promieniowanie. . . . . 6—  
 Tom III. Elektryczność i magnetyzm. . . . . 6—





Wydawnictwo „WIEDZA FIZYCZNA“ obejmuje dzieła oryginalne i tłumaczone z zakresu fizyki i nauk pokrewnych.

## Spis tymczasowy.

### Serya A (elementarna).

- M. Faraday.** Dzieje świecy. Cena w oprawie kartonowej Mk. 1.25.  
**Ch. Ed. Guillaume.** Początkowa nauka mechaniki (w przygotowaniu).

### Serya B (poziom średni).

- J. Joubert.** Zasady elektryczności. Cena w oprawie płóciennej Mk. 7.50.  
**J. C. Maxwell.** Teorya ciepła (w przygotowaniu).  
**F. Auerbach.** Fizyczne podstawy muzyki (w przygotowaniu).  
**A. Michelson.** Fale świetlne i ich zastosowanie (w przygotowaniu).  
**H. Poincaré.** Teorya Maxwella i fale Hertza. Cena w oprawie kartonowej Mk. 1.

### Serya C (poziom wyższy).

- E. J. Routh.** Wykład statyki teoretycznej. Cena w oprawie płóciennej Mk. 7.50.  
**K. Pearson.** Gramatyka wiedzy. — Fizyka (w przygotowaniu).  
**F. R. Moulton.** Mechanika nieba (w przygotowaniu).  
**Z. Straszewicz.** Nauka o ruchu (w druku).