

SWIA
HAWK
STAZKA
O
CZYCZNOŚCI



KSIĄŻKA O ELEKTRYCZNOŚCI

CZŁOWIEK I ŚWIAT

KSIĄŻKA
O ELEKTRYCZNOŚCI

ELLISON HAWKS



GEBETHNER I WOLFF
ZAKŁAD NARODOWY IM. OSSOLIŃSKICH

ELLISON HAWKS

KSIĄŻKA
O ELEKTRYCZNOŚCI

W TEKŚCIE
100 ILUSTRACJI I 30 TABLIC



GEBETHNER I WOLFF
ZAKŁAD NARODOWY IM. OSSOLIŃSKICH

1 9 3 9

TYTUŁ ORYGINAŁU:
THE BOOK OF ELECTRICAL WONDERS

PRZEŁOŻYL, CZĘŚCIOWO
PRZEROBIL I UZUPEŁNIŁ
DR ALEKSANDER KOJRAŃSKI

OD WYDAWNICTWA

Książka niniejsza daje przystępny wykład najważniejszych zastosowań technicznych elektryczności, z którymi się najczęściej spotykamy i które najłatwiej wyrwają nam z ust pytanie: „a jak to działa?” Stanowi więc ona uzupełnienie bardziej teoretycznie zabarwionej szkolnej nauki o elektryczności. Trzeba było z wielu ciekawych rzeczy zrezygnować, żeby — wobec ograniczonych rozmiarów książki — nie popaść w powierzchowność. Nie znajdziemy więc tu np. pieców elektrycznych, przewozu elektrycznego; nie ma szczegółów o odbiorniku radiowym, gdyż popularna literatura tego tematu jest bardzo obfita. Za to telewizja, beniaminek współczesnej elektrotechniki, jest opisana z uwzględnieniem najświeższych wynalazków, a ważna dziś — szczególnie u nas — sprawa gospodarki elektrycznej potraktowana dość obszernie.

Oryginał angielski został gruntownie przerobiony przez dociągnięcie do stanu techniki w chwili obecnej, przez wprowadzenie danych dotyczących Polski, wreszcie przez pewne złagodzenie entuzjazmu autora dla spraw materialnych.

Spełniamy miły obowiązek, składając uprzejme podziękowanie kierownictwu *Pomorskiej Elektrowni „Gródek” w Toruniu, Elektrowni Miejskiej w Warszawie, Elektrowni Tramwajowej w Warszawie, Polskiej Akcyjnej Spółki Telefonicznej*, a szczególnie p. inż. Henryko-

wi Herbichowi, dyrektorowi Biura Dróg Wodnych Ministerstwa Komunikacji za cenne informacje i materiały ilustracyjne, które pozwoliły przedstawić poziom osiągnięty w kraju w różnych dziedzinach.

ZESTAWIENIE WYMOWY

ważniejszych imion własnych obcojęzycznych,
zawartych w niniejszej książce

Wymowa jest podana w najgrubszym przybliżeniu. Małe litery u, e, y, oznaczają dźwięki bardzo krótkie, kreska nad samogłoską wskazuje na jej długość. Kreska pionowa oznacza, że na poprzedzającej ją samogłosce spoczywa akcent.

1	ui'lj _e m gi'lbert	22	rajs	45	ka'ce'ki
2	stjiwn grej	23	pejdź	46	gulje'lmo marko'ni
3	düfej'	24	bursól'	47	ri'gi
4	fon ge'rike	25	grejm bel	48	uajt
5	u'y'mżarst	26	to'mas uotsn	49	küri'
6	mu'szenbrök	27	eli'sza grej	50	ka _u z
7	sta'rdźn	28	ke'jmbridź	51	le'ngmjur
8	dže'nrl ele'ktrik	29	bel te'lefo _u n	52	ha _u 'sktper
	ka'mpe _{ny}		esosje'jszn	53	spo'tyz _ü d
9	ha'mfry de'jwy	30	uol strit	54	krüks
10	ku'per hju'it	31	oha'jo	55	ke'jmbridź
11	re'mzej	32	blejk	56	ku'lidź
12	kju ga'rdenz	33	huajt	57	he'jchens
13	u'd _u ord	34	he'jes	58	ledük'
14	hui'tsto _u n	35	sy'nkler	59	ui'lby smis
15	ha'jt _e n	36	stroudźr	60	re'jndźe _r
16	mors	37	sztal'jn _h ajl	61	re'jdjo
17	gejl	38	li'ndsej		korpo'rejszn
18	ue'stern ju'nj _e n	39	prīs	62	bele'
	te'legraf ka'mpe _{ny}	40	hajtn	63	ajwz
18a	sa'jfen reko'rde _r	41	tro _n 'bridź	64	rajt
19	jūz	42	do'lber	65	bejrd
20	krīd	43	klāk me'ks _u el		
21	bodo'	44	lodź		

U w a g a . Liczby przy nazwiskach obcych oraz przy nazwach geograficznych wskazują pod jakim numerem szukać ich wymowy w zestawieniu na str. 3.

ROZDZIAŁ I

WIADOMOŚCI PODSTAWOWE O ELEKTRYCZNOŚCI

1. O MAGNESACH I MAGNETYZMIE

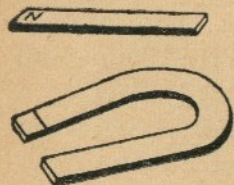
Wiedza o elektryczności i magnetyzmie to zdobycz metody doświadczalnej, odkrytej dopiero w czasach nowszych. Dzięki długotrwałej pogardzie dla eksperymentu, o zjawiskach elektrycznych i magnetycznych wiedziano w XVII wieku po Chrystusie tyleż, co w X przed Chrystusem. Już bowiem Homer wspomina o osobliwej rudzie żelaznej, która przyciąga inne żelazo. Znaleźć ją można w różnych miejscach skorupy ziemskiej, ale ta, o której wspominają Grecy (Tales z Miletu, Pitagoras, Eurypides, Platon, Arystoteles, poza tym poeta rzymski Lukrecjusz i Cyceron), pochodziła z Magnezji, półwyspu na wschodzie Grecji: stąd nazwa „magnetytu“ dla tej rudy i „magnetyzmu“ dla jej tajemniczej własności.

Wiedzieli też starożytni, że kawałek tej rudy zawieszony swobodnie, zwraca się zawsze w kierunku północy. Do dziś dnia własność ta jest stosowana w busoli i prowadzi żeglarza bezpiecznie przez oceany. Ale prawdopodobnie ani Grecy, ani Rzymianie nie korzystali z magnetyzmu przy swej żegludze. Za to Chińczycy z pewnością znali ten sposób na długo przed narodzeniem Chrystusa, a przejęli go od swych tatarskich najeźdźców.

Przez pocieranie magnetytem można ze sztabki stalowej sporządzić sztuczny magnes, który zupełnie jak naturalny przyciąga żelazo i odwraca się ku północy. W ten sam sposób można magnesować kawałek żelaza, ale z pewną bardzo

ważną różnicą: żelazo traci szybko nabyte własności magnetyczne, podczas gdy stal zachowuje je długo, i to tym dłużej, im jest twardsza. Toteż do wyrobu sztucznych magnesów stosuje się stal szczególnie twardą. Tylko że dziś nie wyrabiamy magnesów przez pocieranie magnetytem, bo to sposób zbyt uciążliwy: stosuje się prąd elektryczny, jak to opowiemy na str. 27. Magnesy sztuczne bywają „liniowe“ w kształcie prostej sztabki, albo zgięte w podkowę (rys. 1).

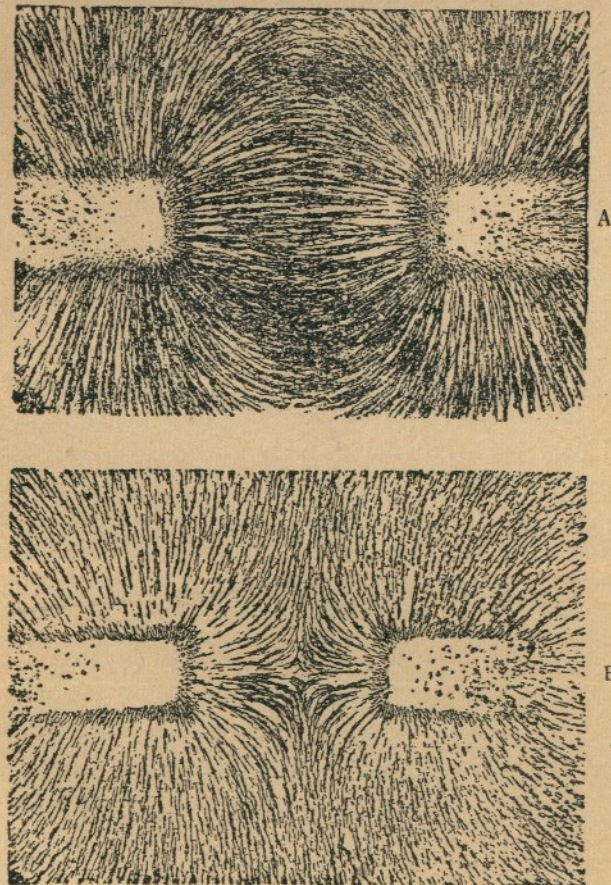
Z magnesami i odrobiną opiłków żelaznych można wykonać kilka ciekawych doświadczeń. Jeżeli położyć magnes liniowy



Rys. 1. DWA TYPY
MAGNESÓW
Sztaba i podkowa

na opiłki rozsypane równomiernie na stole, opiłki nie przylgną do magnesu równomiernie, lecz najgęściej na jego końcach, podczas gdy środek pozostanie prawie od nich wolny. Punkty końcowe, najsilniej przyciągające opiłki, noszą nazwę „biegunów“ magnesu. Jeżeli magnes liniowy zawiesić na nici uciepionej w jego środku, ustawi się on w kierunku północy i południa. Koniec zwrócony na północ nosi nazwę „bieguna północnego“, koniec przeciwny nazywamy „biegunem południowym“. Pierwszy oznacza się literą „N“ (Nord — północ), drugi — literą „S“ (Sud — południe). Jak już wspomnieliśmy, własność ta jest wyzyskana w busoli, czyli kompasie: w zwykłym, kieszonkowym jego wykonaniu, namagnesowana igła jest tak osadzona, że może swobodnie krążyć nad tarczą, na której zaznaczono kierunki stron świata. Lecz na okrętach niezbędne jest urządzenie bardziej niezawodne: zamiast pojedynczej igły, mamy większą ilość wąskich pasków stali, oddzielnie namagnesowanych i zawieszonych obok siebie. Tworzą one igłę magnetyczną bez porównania pewniejszą od pojedynczej. Igła ta i tarcza kierunków (tzw. „róza wiatrów“) zostaje umieszczona w miedzianym kociołku

zawieszonym w specjalny sposób (zwany „kardanowskim“) na dwóch pierścieniach o prostopadłych osiach obrotu. Kociołek może dzięki temu obracać się swobodnie we wszystkich kierunkach i cokolwiek by się działo z okrętem, oś igły będzie



Rys. 2. LINIE SIŁ POLA MAGNETYCZNEGO
Opiłki żelazne rozsypane na arkuszu papieru, pod którym znajdują się dwa magnesy liniowe. A — bieguny różnoimienne, B — bieguny jednoimienne

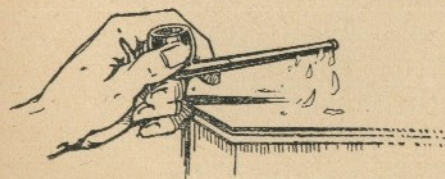
zawsze pionowa. W innym typie busoli tarcza pływa po powierzchni rozcieńczonego alkoholu.

Zbliżywszy do siebie końce dwóch magnesów, łatwo się przekonac, że dwa bieguny północne, albo dwa południowe odpychają się, podczas gdy dwa bieguny różnoimienne przyciągają się nawzajem.

Jeżeli poziomy arkusz papieru, posypany żelaznymi opiłkami, spoczywa na dwóch biegunach magnetycznych, opiłki te ułożą się na nim albo według rys. 2A, jeżeli bieguny będą różnoimienne, albo jak na rys. 2B — jeżeli będą jednoimienne. Mówimy, że dokoła magnesów panuje „pole magnetyczne“, a linie, na których się opiłki układają, nazywamy „liniami pola magnetycznego“. Jeżeli magnesów będzie więcej, pole będzie inne, tzn. opiłki ułożą się na innych krzywych. Mówimy o liniach pola magnetycznego, nawet jeżeli opiłek nie ma: wystarczy, że ułożyłyby się na nich, gdyby je rozsypać. Magnesy bywają silniejsze i słabsze, zależnie od tego, czy silniej, czy słabiej przyciągają. Podobnie pola ich mogą być różnej siły. Zamiast mówić, że jedno pole jest silniejsze od drugiego, mówi się często, że więcej w nim linii sił: tyle razy więcej, ile razy silniejsze.

2. ŁADUNEK ELEKTRYCZNY

Laseczka laku potarta ciepłą, suchą flanelą przyciąga lekkie, małe przedmioty. Ustnik od fajki, pióro wieczne, silnie



Rys. 3 USTNIK FAJKOWY potarty o rękaw przyciąga lekkie przedmioty

potarte o wełniany rękaw, przyciągną małe kawałeczki papieru (rys. 3) czy popiół, zupełnie podobnie jak magnes przyciąga szpilki czy inne przedmioty żelazne i stalowe.

Zjawisko to było znane w czasach przedhistorycznych, a Grecy odtwarzali je pocierając bursztyn sierścią. Sławny filozof grecki, Tales z Miletu (ok. 640 przed Chrystusem), miał się już nim zajmować. Od wyrazu „elektron“, greckiej nazwy bursztynu, pochodzi nasza nazwa elektryczności; o laseczce laku przyciągającej kawałki papieru mówimy, że jest naelektryzowana, że ma ładunek elektryczny.

Grecy nie wyciągnęli żadnych wniosków z tego, że umieli pewne ciała wprowadzać w ten dziwny stan. Co więcej, o ile wiemy, sprawa ta została zupełnie zapomniana aż do XVIII stulecia, kiedy to William Gilbert¹, lekarz królowej Elżbiety, zajął się doświadczeniami nad magnetyzmem. Wyniki swych badań ogłosił w roku 1600 w sławnej rozprawie *De Magnete*. Gilbert był jednym z pierwszych eksperymentatorów na świecie, a książka jego rozbudziła zainteresowania badawcze i utworzyła drogę nowej nauce.

Ścisły związek między magnetyzmem a elektrycznością, tak dobrze nam teraz znany, był jeszcze zupełnie obcy Gilbertowi, toteż nie powiązał on zachowania się bursztynu z własnościami magnetyzmu. Wykazał za to, że wiele innych ciał — szpat, kamienie szlachetne, dżet, skamieliny, żywica — mogą przyciągać po potarciu lekkie przedmioty. Ale najczęściej w czasach Gilberta posługiwano się pałeczką szklaną pocieraną o jedwab.

Stephen Gray² odkrył w roku 1729, że własność przyciągania udziela się innym ciałom przez zetknięcie z ciałem naładowanym elektrycznie. Istnieją też ciała takie, że własność ta rozplywa się jakby po nich całych; nazwano je „przewodnikami“, są to przede wszystkim metale. Inne ciała nazywamy „izolatorami“, należą do nich bursztyn, lak, kauczuk, jedwab, suche szkło. Przewodnik dotykający ziemi nie może utrzymać ładunku, trzeba między niego a ziemię wprowadzić jakiś izolator.

Istnieją dwa rodzaje elektryczności, odkrył to francuz Du Fay³ w kilka lat po odkryciu Graya. Dwa ciała naelektryzowane przez dotknięcie tego samego ciała odpychają się wzajemnie. Ciało naelektryzowane od szkła potartego jedwabiem będzie jednak przyciągało ciało, które zetknęło się z kauczukiem potartym o wełnę. Elektryczność „szklana“ nazywa się teraz „dodatnią“, a „kauczukowa“ — „ujemną“. Jeżeli dwa potarte o siebie ciała zostają naelektryzowane, jedno ma ładunek dodatni, drugi ujemny. Tak np. ładunek jedwabiu, którym potarto szkło, jest ujemny. Du Fay odkrył sławną zasadę: „ładunki jednakowe odpychają się, ładunki przeciwne — przyciągają się“.

Ładunek elektryczny ciała może być większy albo mniejszy. Zależnie od tego będzie ono silniej albo słabiej odpychało inne ciała o podobnym ładunku (lub przyciągało — o przeciwnym). Mówimy, że jest otoczone „ polem elektrycznym“. Linie, wzdłuż których będzie się poruszało odpychane ciało (z położenia spoczynku) nazywają się liniami pola elektrycznego. Będą to linie proste, jeżeli mamy tylko jeden ładunek; ale większa ich liczba daje krzywe i bardzo różnorodne linie pola. Im silniejsze przyciąganie, tym większą ilość linii przypisujemy polu elektrycznemu — podobnie jak to było w przypadku pola magnetycznego. Im dalej ciało przyciągane lub odpychane znajduje się od ładunków, tym słabsze jest ich działanie, tym mniej przechodzi tam linii pola elektrycznego.

Ładunki, otrzymywane przez zwykłe pocieranie, wkrótce wydały się badaczom zbyt słabe, zaczęły się próby konstruowania „maszyn elektrycznych“ do wytwarzania silnych ładunków. Pierwsza taka maszyna pochodzi od Ottona von Guericke⁴, burmistrza miasta Magdeburga i została zbudowana w roku 1671. Składa się ona z kuli siarkowej obracanej na osi i pocieranej w czasie obrotu sukniem. Guericke odkrył już, że silne naelektryzowanie wywołuje „syczenie i żarzenie“: jest

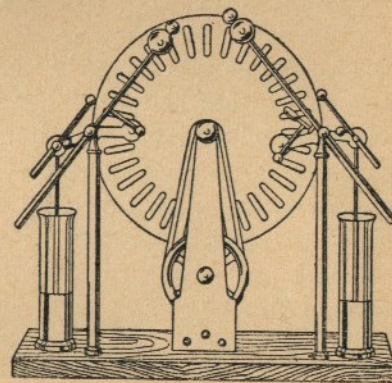
to pierwsza notatka o dostrzeżonym iskrowym wyładowaniu elektrycznym.

Kilku innych badaczy poszło za Guericke, ale ich maszyny były wciąż urządzeniami mechanicznymi do pocierania wałców szklanych o specjalne poduszeczki: stąd nazwa maszyn „frykcyjnych“ (frictio — tarcie). Wczesne te konstrukcje były bardzo niepewne, szczególnie przy wilgotnej pogodzie i teraz operujemy maszynami opartymi na „indukcji elektrycznej“, którą opiszemy później (str. 29). Najpospolitsza obecnie maszyna Wims-hursta⁵ (rys. 4) składa się z płyty szklanej, albo ebonitowej, wirującej przy obrocie korby. Łatwo w niej uzyskać wyładowanie iskrowe, jeżeli kuleczki na końcach prętów są dostatecznie blisko.

Gdy nauczono się wytwarzać elektryczność w wielkich ilościach, wypadało rozwiązać zagadnienie jej przechowywania.

Służy do tego butelka lejdejska, odkryta dnia 11 października 1745 roku: o zaszczyt tego odkrycia walczyli długo znany profesor lejdejski Musschenbroek⁶ i dziekan katedry w Kammin na Pomorzu, von Kleist. Kleist ogłosił swe odkrycie wcześniej, toteż na ogół jemu się tę zasługę przypisuje, jakkolwiek opis (w liście do dra Lebera Kuhna z 4 listopada 1745 roku) jest niejasny. Pisze on:

Jeżeli gwóźdź albo kawałek drutu miedzianego włożyć do małej flaszeczki aptekarskiej i naelektryzować, można dostrzec rzeczy ciekawe, ale flaszeczka musi być bardzo sucha i ciepła... Skoro tylko

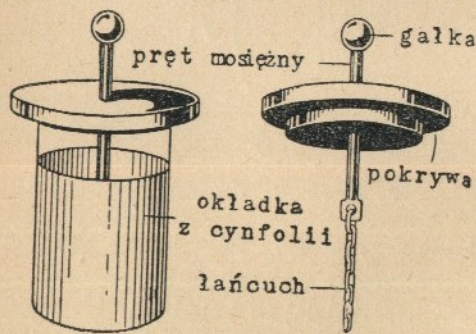


Rys. 4. MASZYNA WIMSHURSTA do wytwarzania elektryczności przez tarcie

flaszeczkę tę i gwóźdź oddalić od elektryzującego szkła, czyli od pierwotnego przewodnika, z którym była zetknięta, tryska ona płomieniem tak silnym, że z palącą się maszyną w rękę mogłem przejść przeszło sześćdziesiąt kroków w moim pokoju. Gdy jest ona silnie naelektryzowana, mogę ją przenieść do innego pokoju i zapalić od niej alkohol winny.

Jeżeli podczas elektryzowania dotknę gwóźdźa palcem albo sztuką złotą, którą trzymam w rękę, doznaję wstrząsu, który poraża ramiona moje i ręce. ...Gdy flaszeczkę i gwóźdź włożył do rury cynowej, długiej na 15 stóp, tylko sam tego doświadczywszy, uwierzy człowiek, jak silnie może zostać naelektryzowana. Dwie cienkie szklanki zostały rozbite od tego wstrząsu.

Na krótko po tym odkryciu Cuneus przy pracy z Musschenbroekem powtórzył przypadkiem te doświadczenia i otrzymał podobne wyniki doznawszy silnego wstrząsu. Musschenbroek powtórzył eksperyment z takim skutkiem, że — jak sam opisuje — stracił oddech i dwa dni minęły, zanim znikły następ-



Rys. 5. BUTELKA LEJDEJSKA

go czasu jako „butelka lejdejska“. Pierwotna postać jej została w roku 1746 ulepszona przez Bevisa, który obłożył część jej blachą ołowianą albo cynfolią i zawiesił u jej wleka metalowy łańcuszek. W tej niemal postaci jest ona używana do dziś dnia. Współczesna butelka lejdejska (rys. 5)

stwa wstrząsu i przestachu: „za koronę Francji nie powtórzyłyby tego doświadczenia“! Przekonano się na tej drodze, że elektryczność można zebrać i przechować we właściwie urządzonej butelce szklanej, znanej od owe-

obłożona jest cynfolią od wewnątrz i od zewnątrz, mniej więcej do dwóch trzecich swej wysokości. Pokrywa jej jest drewniana; przez środek pokrywy przechodzi pręt mosiężny z mosiężną galką na górnym końcu, a metalowym łańcuszkiem na dolnym. Łańcuszek ten ma długość wystarczającą, by dotknąć dna wewnętrznej okładki. Ładujemy butelkę, stykając jej galkę z odpowiednim przewodnikiem maszyny Wimshursta. Po naładowaniu, jeżeli jest sucha i czysta, może zachować ładunek dość długo. Jeżeli obie okładki butelki połączyć przez metal, zamagazynowana elektryczność wyładowuje się przez iskrę. Butelki lejdejskie często są tak zmontowane z maszynami Wimshursta, że mogą być z nimi dowolnie łączone i rozłączane. Gdy są połączone, zanim dojdzie do wyładowania, wchłaniają znaczne ładunki elektryczne: iskry są więc rzadsze, ale za to większe i silniejsze.

Gdy odkryto butelkę lejdejską, uważano ją za ciekawostkę naukową i za temat do rozmów towarzyskich, podobnie jak trzy wieki później promienie Roentgena i rad, zaraz po ich odkryciu. Powtarzano wszędzie owe pierwsze doświadczenia, podziwiane powszechnie jako „cuda natury i filozofii“. Liczne rzesze „elektryków“ wędrowały przez Europę, zaspokajając — za właściwą opłatą — powszechną ciekawość przez aplikowanie „wstrząsów“ wszystkim chętnym. Opat Nollet zabawiał damy dworskie zabijaniem ptaków za pomocą iskier. Inny eksperymentator, Galath, współzawodnicząc z księdzem Nollet, doszedł na razie tylko do uśmiercania żuków i robaków. Zmierając do silniejszych objawów, wpadł na pomysł łączenia między sobą kilku butelek i wtedy zabijał już ptaki z łatwością. Aby zabawić króla Francji, ksiądz Nollet wyładował butelkę przez 180 gwardzistów, którzy w tej samej chwili wszyscy doznali skurczu! Innym znów razem „wstrząsnął“ jednocześnie sznur mnichów zakonu Kartuzów ustawionych w koło o promieniu przeszło 1,5 km.

Do tego użyłem drutów żelaznych odpowiedniej długości między każdymi dwoma gwardzistami, przenosiły one zatem znacznie swą długością sznur tych 180 ludzi. Gdy dwa końce tego długiego łańcucha zetknęły się z naelektryzowaną butelką, wszyscy ludzie podskoczyli w tej samej chwili i jednakowo odczuli wstrząs.

Książd Nollet elektryzował nasiona i rośliny obserwując wyniki ze skrupulatną dokładnością. Uprzedził on zatem współczesne badania nad hodowlą elektryczną.

Gdy przeminęła już moda zabijania owadów i ptaków, „wstrząsania“ żołnierzy i mnichów, zaczęły się poważne badania nad dziwną własnością magazynowania energii elektrycznej.

Mimo badań wielu towarzystw naukowych i poszczególnych uczonych, teoria butelki lejdejskiej pozostawała tajemnicą aż do Beniamina Franklina, wielkiego uczonego i wielkiego męża stanu.

3. PRĄD ELEKTRYCZNY

Dotąd mówiliśmy tylko o elektryczności nieruchomej, wywołanej przez tarcie. W roku 1786 lekarz włoski, Ludwik Galvani, odkrył elektryczność ruchomą, płynącą, i utorował drogę wielkim wydarzeniom naukowym. Ładunek elektryczny rozchodzi się szybko po przewodniku, łączącym dwa naelektryzowane ciała i przestaje się poruszać. To też przy stałym przepływie elektryczności ładunek jednego ciała trzeba odnawiać ciągle tak szybko jak przebiega; wtedy powstaje ciągły strumień zwany „prądem“. Odkrywcę prądu nazwano „najszczęśliwszym uczonym“, gdyż okazało się, że zasadę ogniwa elektrycznego odkrył on dzięki czystemu przypadkowi. Galvani urodził się 9 września 1737 roku w Bolonii. Zrazu poświęcił się nauce teologii zamierzając zostać mnichem. Ale opór ojca skierował go w stronę medycyny i Galvani został jednym z najświetniejszych chirurgów swego czasu.

Rozpowszechniona jest historyjka, według której sławę swego odkrycia zawdzięcza Galvani chorobie żony, którą porzepiał przygotowanym własnoręcznie rosołem z żab. Podobno pewnego ranka, gdy położył świeżo zabite żaby na stole, żeby przygotować odwar, żona jego zwróciła uwagę na dziwne drgania nóżek żabich. Galvani domyślić się miał, że dzieje się to za sprawą prądu płynącego z maszyny elektrycznej przez skalpel, który się tam przypadkowo znalazł. Lecz już od stu lat przed Galvanim wykonywano różne doświadczenia bardzo zbliżone do jego własnych i nie ma powodu przypuszczać, że były mu one nieznane. Poza tym mamy świadectwa, że już w roku 1780 badał Galvani skurcze mięśniowe żab pod działaniem elektryczności. Z notatek jego wynika, że 6 listopada 1780 roku, zabawiając się z przyjaciółmi maszyną elektryczną, zauważał skurcz mięśni żaby za każdym razem, gdy ukazywała się iskra w maszynie. Wydaje się rzeczą pewną, że spostrzeżenie to skłoniło go do podjęcia dalszych doświadczeń i że w tym celu urządził sobie odgromnik na dachu swego domu. Odgromnik ten łączył drutami metalowymi z nerwami żab i innych zwierząt, zamykając obwód przez połączenie nóżek żabich z ziemią. Łatwo dostrzegł, że nóżka żabia kurczyła się za każdą błyskawicą. Lecz po pewnym czasie doświadczenia te zostały zarzucone.

Dopiero w roku 1786 siostrzeniec jego Camillo pomagając mu w pracy dostrzegł coś, co doprowadziło do odkrycia ogniwa elektrycznego. Przygotowawszy kilka żab do badań, zawiesił je na hakach miedzianych na żelaznej poręczy balkonu i ze zdziwieniem zauważył, że gdy wiszące nóżki dotykały żelaza, kurczyły się tak samo, jak gdyby były elektryzowane od maszyny albo odgromnika. Z początku przypuszczał Galvani, że jest to skutkiem pewnych zmian w stanie elektrycznym atmosfery, lecz uznał po wielu doświadczeniach, że skurcze powstają od zetknięcia żelaza z nerwami i mięśniami żaby. Zau-

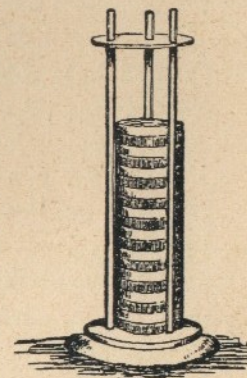
ważył następnie, że silniejsze drgania można uzyskać przez zastosowanie różnych metali, jak żelazo z miedzią, lub żelazo ze srebrem. Galvani tłumaczył sobie zjawisko to jako połączenie dodatniego ładunku elektrycznego w nerwie z ujemnym w mięśniu, przyjmując że oba ładunki powstają z rozkładu naturalnego źródła elektryczności obecnego we wszystkich ustrojach zwierzęcych. Błąd jego wykazał jednak Volta, który udowodnił, że skurcze pochodzą od prądów elektrycznych powstających przy zetknięciu się dwóch różnych metali.

Ale błędne wyjaśnienie Galvaniego nie zamknęło drogi wspaniałej, nowej dziedzinie badań naukowych. Odkryto nową metodę wytwarzania elektryczności, którą dotąd otrzymywano tylko w maszynach elektrycznych przez tarcie. Poza tym odkrycie to poruszyło silnie fizjologów, którzy gotowi już byli uwierzyć, że w elektryczności znajdują ową tajemną siłę życiową, która przekazuje z mózgu różnym narządom ciała ludzkiego nakazy rozumu i woli.

Wspomnieliśmy już nazwisko Volty, który prowadził dalej przerwane doświadczenia Galvaniego z takim powodzeniem, że go nazywają „ojcem współczesnej elektryczności”. Volta urodził się w Como 19 lutego 1745 r. w szlacheckiej rodzinie mediolańskiej. Już jako chłopiec zapowiadał się wspaniale, chociaż w innym kierunku: pragnął być poetą. Lecz w osiemnastym roku zapalił się do badań nad elektrycznością. Najpierw wynalazł aparat do wytwarzania elektryczności, oparty na przyciąganiu się ładunków. Później zabrał się do badania butelki lejdejskiej, jedyne go znanego podówczas zbiornika elektryczności. Gdy doszły go wieści o doświadczeniach Galvaniego nad żabami, podjął badania, które doprowadziły do wniosku, że elektryczność można wytwarzać na drodze chemicznej.

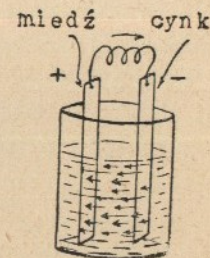
Najważniejszym dziełem Volty był pomyślny wynik prób uzyskania silniejszego prądu elektrycznego, niż go daje jedna

para różnych metali. W roku 1796 zbudował „stos Volty“, który składał się z krążków miedzianych i cynkowych, ułożonych na przemian w kolumnę, ale oddzielonych od siebie krążkami wilgotnego sukna (rys. 6). Okazało się, że ze stosu można było otrzymać słabe ładunki elektryczne, co było świadectwem, że elektryczność płynąca i nieruchoma są tej samej natury. Odkrycie Volty wywołało długie i gorące spory o źródło prądu elektrycznego, ale zwycięstwo odniosło twierdzenie o chemicznym jego pochodzeniu.



Rys. 6. STOS VOLTY

Stos Volty zastąpiono później przez ogniwo Volty: naczynie zawierające rozcieńczony kwas siarkowy, w którym znajdowały się dwa paski metalu, najczęściej cynku i miedzi (rys. 7). Jeżeli metale te połączyć drutem, popłynie w nim prąd elektryczny. Prąd w ogniwie elektrycznym pochodzi z różnicy potencjałów między miedzią a cynkiem. Zrozumiemy, co to potencjał, z następującej prostej ilustracji.



Rys. 7.

PROSTE OGNIWO ELEKTRYCZNE

Miedź i cynk w rozcieńczonym kwasie siarkowym. W cieczy prąd biegnie od cynku do miedzi jak strzałki.

Jeżeli w naczyniu znajduje się woda, istnieje w nim również ciśnienie, które może wykonać pracę, gdybyśmy np. przez otwór w dnie naczynia pozwolili wodzie spływać na kółko z łopatkami. Wielkość tego ciśnienia zależy od poziomu wody w naczyniu. Poziom ten z kolei zależy od ilości wody i pojemności naczynia: przecie ta sama ilość wody wyżej sięgnie w naczyniu wąskim niż szerokim. Pewien ła-

dunek elektryczny w przewodniku wywołuje pewne „ciśnienie“ elektryczne, zwane potencjałem. Wielkość tego potencjału zależy od wielkości ładunku i od pojemności elektrycznej przewodnika: bowiem pojemność przewodników bywa różna, tak jak szerokość naczynia. Różnica poziomów wody w dwóch naczyniach wywołuje siłę pędzącą wodę, jeżeli je z sobą połączymy. Podobnie różnica potencjałów wywołuje siłę „elektroodpórczą“, zwaną też „napięciem elektrycznym“. Naprawdę jednak sprawa potencjału elektrycznego jest bardzo skomplikowana. Uprościmy ją sobie przyjmując, że ciało na wysokim potencjale jest naładowane dodatnio, a na niskim — ujemnie: prąd popłynie wtedy od przewodnika dodatniego do ujemnego.

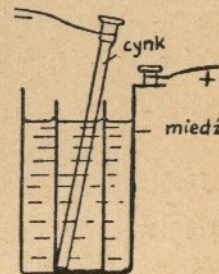
Gdy połączyć płytki metalowe w ogniwie elektrycznym, prąd płynie w drucie, gdyż metale te mają różne potencjały. Z kierunku strzałek na rys. 7 widać, że prąd płynie od cynku do miedzi wewnątrz, od miedzi do cynku zewnątrz ogniwa. W ten sposób tworzy się zamknięty obwód; jeżeli go przerwać, prąd przestaje płynąć. Płytkę miedzianą, z której prąd wychodzi, nazywa się biegunem dodatnim, płytkę cynkową — ujemnym, chociaż ładunek cynku nie musi być ujemny. Różnicę potencjałów między płytkami podtrzymuje ciągle działanie chemiczne między metalem a kwasem. Działanie to osłabia kwas i wyzera cynk, lecz prąd płynie, dopóki działanie to trwa, tj. dopóki metale są połączone przewodnikiem. Po przerwaniu obwodu działanie chemiczne powinno ustać.

4. OGNIWA, BATERIE, AKUMULATORY

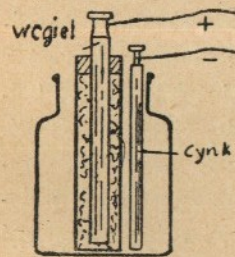
Ogniwo elektryczne ma poważną wadę: prąd szybko w nim słabnie. Wada ta czyni je niemal bezużytecznym praktycznie i pochodzi stąd, że pęcherzyki wodoru osadzają się na miedzi w czasie działania ogniwa. Z pęcherzyków tych szybko tworzy się błonka na płytce miedzianej. Osłabia ona prąd, po części stawiając mu opór, a po części stwarzając inny prąd w prze-

ciwnym kierunku. Ogniwo w takim stanie nazywa się spolaryzowanym.

Z różnych typów ogniw obmyślonych, by zapobiec polaryzacji, najskuteczniejsze jest ogniwo Daniella. Zawiera ono w naczyniu szklanym walcową płytkę miedzianą, wewnątrz której stoi słoik z glinki nie emaliowanej, a w nim znowu pałeczka cynku (rys. 8). Naczynie zewnętrzne zawiera bardzo silny roztwór siarczanu miedziowego, a słoik z glinki — rozcieńczony kwas siarkowy. Gdy zamykamy obwód i prąd zaczyna płynąć, wodór uwolniony przez działanie kwasu na cynk, przechodzi przez porowaty słoik do zewnętrznego naczynia. Tu zachodzi nowy proces chemiczny, przy którym wodór łączy się z siarczanem miedzi tworząc miedź i kwas siarkowy, a zamiast wodoru na płytce miedzianej osadza się czysta miedź. W ten sposób zapobiega się polaryzacji. Bardziej znane jest ogniwo Leclanchého, używane powszechnie jako źródło prądu dla dzwonek elektrycznych. Tu (rys. 9) zamiast miedzi, którą mieliśmy w ogniwie Daniella, stosuje się węgiel.



Rys. 8.
OGNIWO DANIELLA

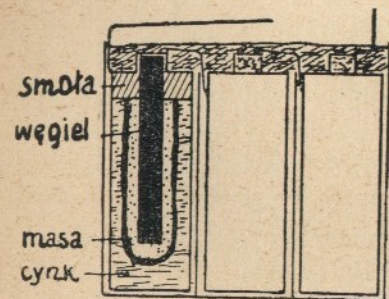


Rys. 9.
OGNIWO LECLANCHÉGO

Szklany słoik z roztworem salmiaku zawiera pałeczkę cynkową. Wewnątrz tego słoja porowate naczynie zawiera płytkę węglową, otoczoną mieszaniną tłuczonego węgla i dwutlenku manganu. Wodór uwolniony przez reakcję chemiczną w naczyniu zewnętrznym, po przejściu przez pory naczynia wewnętrznego, łączy się z tlenem dwutlenku manganu, zanim zdoła spolaryzować płytkę węglową. Jeżeli jednak prąd płynie parę minut, utlenianie nie zdąży zwią-

zać całego wydzielonego wodoru i następuje polaryzacja. Lecz po krótkim odpoczynku — a w instalacjach dzwonekowi — woda odpoczywa bardzo często! — zaległości zostają odrobione, wodor ostatecznie związany i ogniwo zdepolaryzowane.

Tak zwane „baterie suche“ nie są bynajmniej suche, gdyż wtedy nie dawałyby prądu; są to po prostu ogniwa Leclanchého, w których cieczą nasycona jest pewna masa. Naczynie



Rys. 10. KIESZONKOWA BATERIA SUCHA
W przekroju pokazano jedno tylko ogniwo

zewnętrzne, samo wykonane z cynku, zastępuje paleczkę cynkową. Porowatego słoika wewnętrznego tu nie ma, gdyż przestrzeń między osłoną cynkową a wewnętrzną płytką węglową jest wypełniona ową masą (rys. 10). Ogniwa są zalakowane u góry i umieszczone w ciasnych rurkach tekturowych. Główną zaletą „suchych“ ogniw

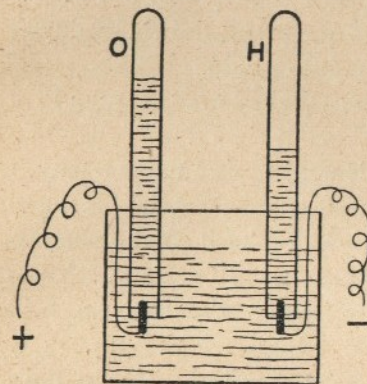
jest, że mogą być przenoszone w dowolnym położeniu. Dobrze nam znane baterijki kieszonkowe oraz baterie anodowe do odbiorników radiowych, to właśnie zespoły takich suchych ogniw.

Pojedynczej armaty nie nazwiemy przecież baterią, a jednak często mówią o zwykłym ogniwie Volty jako o baterii. Wyrażenie to jest niewłaściwe, gdyż bateria to zespół połączonych ogniw. Zarówno liczba tych ogniw, jak sposób ich połączenia między sobą mogą być bardzo różne, i różne mogą być zastosowania (p. str. 23).

Opisaliśmy tzw. ogniwa „pierwotne“; inna jest zasada ogniw „wtórnych“, czyli akumulatorów. Akumulatory — to właściwie niejako magazyny prądu, z których można go czerpać, gdy je naładujemy. Dają one prądy o wiele silniejsze, niż jakiegokolwiek ogniwo.

Ażeby wyjaśnić działanie akumulatora, musimy się odwołać do zjawiska rozkładu wody przez prąd elektryczny. Jeżeli przez wodę — lekko zakwaszoną kwasem siarkowym dla wzmożenia jej przewodnictwa elektrycznego — przepuścimy prąd elektryczny, rozpadnie się ona na dwa gazy, z których się

składa: na tlen i wodór. Rysunek 11 przedstawia przyrząd służący do tej tzw. „elektrolizy“. Składa się on z naczynia szklanego, w którym zanurzono dwie płytki platynowe, zwane „elektrodami“. Elektrody te są połączone z zaciskami baterii ogniwa Daniella. Dwie probówki, tj. rurki szklane otwarte z jednego końca, wypełnione wodą, odwrócone dnem do góry, obejmują



Rys. 11. ELEKTROLIZA WODY

plątki platynowe. Gdy prąd płynie, woda rozkłada się i tlen wydziela się na płycie połączonej z dodatnim biegunem baterii, a wodór na drugiej. Każdy z tych gazów wydziela się w małych pęcherzykach, które unoszą się do góry wypierając wodę. Wodoru wydziela się niemal dokładnie dwa razy tyle na objętość, co tlenu.

Jak już wspomnieliśmy, ogniwo elektryczne ulega polaryzacji, wywołanej przez osadzanie się wodoru na jednej z płytek i wywołującej ze swej strony nowy prąd o przeciwnym kierunku. Przy elektrolizie wody powstaje podobna, przeciwna siła elektrobodźcza. Gdy przerwiemy prąd z baterii i połączymy płytki platynowe między sobą, pojawi się prąd płynący w kierunku przeciwnym do dawnego i płynąć będzie tak długo, aż oba gazy ponownie się połączą, a płytki platynowe wrócą

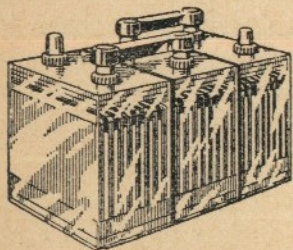
do pierwotnego stanu. W ten sposób urządzenie to działa jak zbiornik zwracając prąd, jeżeli został on przedtem do niego doprowadzony. Jest rzeczą ważną, by zdać sobie sprawę, że aparat ten nie zbiera elektryczności, lecz energię. Można powiedzieć, że udzielona mu energia elektryczna zamienia się na chemiczną, a ta później z powrotem na elektryczną. Opisaliśmy tu urządzenie bardzo ciekawe pod względem doświadczalnym, ale mało cenne jako praktyczne źródło prądu.

Pierwszy sprawny akumulator został zbudowany w roku 1878 przez Gastona Planté. Elektrody składały się z dwóch rur z blachy ołowianej, nie dotykających się wzajemnie a umieszczonych w rozcieńczonym kwasie siarkowym. Kilkakrotnie przepuszczony na przemian w przeciwnych kierunkach prąd elektryczny sprawia, że rury stają się gąbczaste, czyli wzrasta ich powierzchnia zdolna do reakcji chemicznej. Proces ten nazwał Planté „formowaniem“ płyt. Gdy ostatni raz przepuszczamy prąd, jedna z rur pokrywa się warstwą dwutlenku ołowiu, podczas gdy druga pozostaje czystym ołowiem. Jeżeli elektrody zostały sformowane, powierzchnia pokryta tlenkiem ołowiu jest

tak wielka, że powstaje ogniwo, które działa bardzo wydajnie, dopóki obie elektrody nie utleniają się jednakowo, gdyż tlen z jednej elektrody wraca wtedy do drugiej. Wtedy należy powtórzyć ładowanie.

Pomimo różnych ulepszeń, zasada akumulatorów Plantégo pozostała bez zmiany. Wszystkie

niemal współczesne akumulatory posiadają po kilka par płyt, przy czym wszystkie dodatnie są połączone między sobą i podobnie wszystkie ujemne (rys. 12). Skutek tego jest taki sam, jak połączenia równoległego kilku ogniw: powstaje silniejszy prąd.



Rys. 12. AKUMULATOR

5. POMIARY ELEKTRYCZNE I JEDNOSTKI

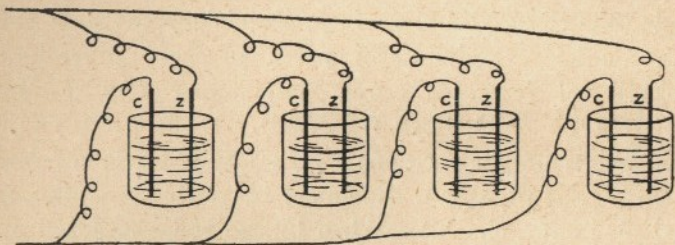
Podobnie jak centymetr, gram, sekunda służą do mierzenia długości, masy, czasu, tak do mierzenia różnych wielkości spotykanych w zjawiskach elektrycznych wprowadzono różne jednostki, dając im nazwy od nazwisk różnych zasłużonych badaczy.

Jednostką siły czyli natężenia prądu elektrycznego, tj. ilości elektryczności przepływającej przez przekrój przewodnika w określonej jednostce czasu, jest amper (André Marie Ampère, 1775—1836, fizyk francuski). Woda przepływająca przez rurę napotyka na opór wynikający z tarcia o ścianki. Podobnie prąd płynący w drucie czy innym przewodniku, musi pokonać opór, chociaż całkiem innego rodzaju. Jeżeli opór ten jest wielki, mówi się o złym przewodniku, jeżeli mały — o dobrym. Cienki drut jest gorszym przewodnikiem niż gruby, długi — gorszym niż krótki. Jednostką oporu jest om (Georg Ohm, 1787—1854, fizyk niemiecki).

Opór przewodnika pokonywany jest przez różnicę potencjałów na jego końcach, tj. napięcie elektryczne, czyli siłę elektrodźwającą, zwaną też siłą elektromagnetyczną, skąd pospolity skrót „SEM“. Spotkaliśmy ją już wcześniej (str. 18). Jednostką jej jest volt — od nazwiska znanego już nam Alessandro Volty (1745—1827). SEM jednego volta w przewodniku o oporze jednego oma daje prąd o natężeniu 1 ampera: w ten sposób trzy te jednostki są z sobą związane. Różne ogniwa dają SEM od 1 do 2 woltów. Np. ogniwo Leclanchégo albo suche daje 1,5 wolta, ogniwo Daniella tylko około jednego volta. Wyraz „volt“ skraca się przez literę „V“.

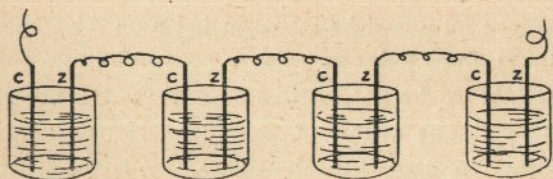
Wspominaliśmy już na str. 20, że różne sposoby łączenia ogniw dają różne wyniki. Teraz wyjaśnimy to pokrótce. Jeżeli połączymy między sobą wszystkie bieguny dodatnie i oddzielnie wszystkie ujemne, a więc miedź z miedzią, cynk z cynkiem, otrzymamy prąd silniejszy, ale SEM zo-

stanie taka sama: otrzymamy więcej amperów, ale tę samą ilość woltów (rys. 13). Jest to połączenie równoległe. Jeżeli natomiast połączymy dodatni biegun jednego ogniwa z ujemnym drugiego — tj. miedź jednego z cynkiem drugiego — i tak dalej, otrzymamy SEM równą sumie napięć po-



Rys. 13. BATERIA OGNIW POŁĄCZONYCH RÓWNOLEGLE

szczególnych ogniw, ale to samo natężenie prądu: otrzymamy więcej woltów, ale tę samą ilość amperów. Jest to połączenie szeregowe (rys. 14). Stosując oba sposoby połączenia, możemy powiększyć zarówno liczbę woltów, jak amperów.



Rys. 14. BATERIA OGNIW POŁĄCZONYCH SZEREGOWO

SEM pojedynczego akumulatora wynosi około 2 woltów, a połączenie szeregowe pozwala uzyskać napięcie dowolnie wielkie. Akumulatory zazwyczaj charakteryzujemy przez ich wydajność w amperogodzinach: jeżeli akumulator może dać 6 amperów prądu przez jedną godzinę, albo 3 ampe-

ry przez 2 godziny, mówimy, że posiada wydajność 6 amperogodzin.

Musimy jeszcze pomówić o dzielności czyli sprawności maszyn elektrycznych, bo się z tym pojęciem będziemy spotykali na każdym kroku. Dzielność — to ilość pracy wykonywanej w jednostce czasu. W elektryczności mierzymy ją w watach (James Watt, 1736—1819, sławny angielski wynalazca nowoczesnej zasady maszyny parowej), w mechanice zazwyczaj w koniach mechanicznych czyli parowych, oznaczanych zazwyczaj przez KM. 1 KM wynosi 736 watów, czyli okrągło $\frac{3}{4}$ kilowata, tj. tysiąca watów. Na odwrót, 1 kilowat wynosi 1,34 KM, albo okrągło $1\frac{1}{3}$ KM.

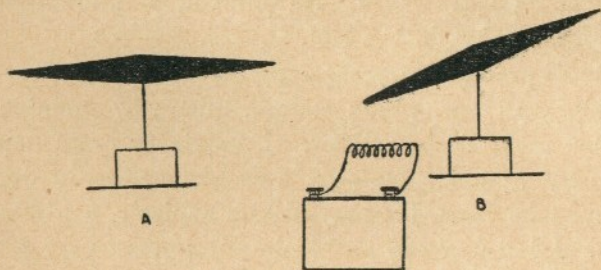
Dzielność prądu elektrycznego płynącego stale w tym samym kierunku, czyli tzw. prądu stałego, mierzymy mnożąc ilość amperów przez liczbę woltów, tj. natężenie przez napięcie: zatem przy wysokim napięciu, a małym natężeniu dzielność może być taka sama, jak przy niskim napięciu, a wielkim natężeniu. Jeżeli żarówka pochłania pół ampera przy 220 woltach napięcia, dzielność, której wymaga, wynosi 110 watów, mówimy o żarówce 110-watowej.

Odbiorca prądu elektrycznego płaci za otrzymaną energię, tj. za pracę, którą dla niego prąd wykonał. Żeby tę pracę obliczyć, trzeba pomnożyć dzielność (tj. pracę na jednostkę czasu) przez liczbę tych jednostek czasu. Zwykle dzielność czyli moc bierzemy w kilowatach, czas w godzinach i pobraną energię wyrażamy w kilowat-godzinach. Kilowat-godzinę oznaczamy przez „kWh“ (kW = kilowat, h = hora, po łacinie godzina). Jeżeli żarówka pobiera 100 watów, a paliła się przez 20 godzin, zużyta energia wyniesie 0,1 kW 20 h, tj. 2 kWh.

Jeżeli chcemy opisać użyteczność elektrowni, podajemy ile kilowatgodzin wytwarza w ciągu np. roku. W liczbie tej zawiera się nie tylko moc elektrowni, ale rzeczywisty czas jej ruchu.

6. ELEKTRYCZNOŚĆ A MAGNETYZM

Już w roku 1734 Swedenborg podejrzewał, że między elektrycznością a magnetyzmem zachodzi związek, lecz dopiero w 1820 udowodnił to Hans Christian Oersted. Sławny ten uczyony uchodzi za twórcę elektromagnetyzmu, przede wszystkim dzięki odkryciu, że swobodnie zawieszony magnes odchyła się w pobliżu przewodnika, w którym płynie prąd elektryczny. Dopóki namagnesowana igła wisi pod miedzianym drutem, nic się nie dzieje; gdy włączamy prąd, odchyła się ona nagle w jedną stronę (rys. 15), by wrócić do pierwotnego położenia po



Rys. 15. A — IGŁA MAGNETYCZNA W POŁOŻENIU NORMALNYM
B — TA SAMA IGŁA W POBLIŻU PRZEWODNIKA Z PRĄDEM ELEKTRYCZNYM

wyłączeniu prądu. Dalej, opiłki żelazne przylegają do przewodnika z prądem, a odpadają po jego wyłączeniu. Zjawiska te wskazują, że przewodnik, w którym płynie prąd, jest magnesem, a przestaje nim być, gdy prąd wyłączamy. Odkrycie Oersteda — podobnie jak Galvaniego — zostało spowodowane przez przypadek, podczas wykładu zasad prądu elektrycznego.

Następstwa tego odkrycia znajdujemy teraz na każdym niemal kroku życia cywilizowanego. Jednym z najważniejszych jego zastosowań jest elektromagnes (odkryty przez Williama Sturgeona⁷ w roku 1825), podstawa wszystkich bodaj technicznych zastosowań elektryczności. Drut izolowany, skręcony w linię śrubową (tzw. „solenoid“, a mylnie „spirala“), po-

siada wszystkie własności magnesu, a prócz tego, osobiwą zdolność wsysania niejako do swego wnętrza prętów żelaznych. Zastosowania solenoidu są niezliczone. Jeżeli wsunąć do solenoidu walec stalowy, staje się on magnesem po przepuszczeniu prądu i zachowuje tę własność przez długi czas, gdy go wyjąć z powrotem. W ten sposób możemy wytwarzać magnesy bez porównania silniejsze, niż przez pocieranie magnetytem. Walec ze zwykłego żelaza zachowuje się wewnątrz solenoidu jak magnes, dopóki płynie prąd: jest to tzw. „elektromagnes“, podczas gdy walec stalowy, namagnesowany w solenoidzie, nazywamy magnesem „stałym“. Wiele sławnych odkryć zawdzięcza fizyka elektromagnesowi (szczególnie dzięki Michałowi Faradowi, 1791—1867), a obecnie odgrywa on olbrzymią rolę przy badaniu wewnętrznej budowy materii i cząstek najprostszych.

Własność odkrytą przez Oersteda stosuje się przede wszystkim w galwanometrze, do wykrywania prądów elektrycznych. W najprostszej postaci przyrząd ten składa się ze starannie zrównoważonej igły magnetycznej umieszczonej w środku cewki z wielu zwojów drutu. Gdy przez drut ten przepływa prąd igła — jak w zjawisku Oersteda — odchyła się i wielkość tego odchylenia zależy od natężenia prądu; można ją zaobserwować na skali, po której porusza się wskazówka połączona z igłą magnetyczną. Galwanometr zawdzięczamy Schweiggerowi z Halle, który dostrzegł, że odchylenie igły wywołane przez prąd płynący nad nią, jest takie samo, jak odchylenie wywołane przez prąd o przeciwnym kierunku, ale przepływający pod nią. Wynika stąd, że jeżeli przewodnik biegnie od baterii nad igłą, a potem wraca pod igłą, otrzyma się odchylenie dwa razy silniejsze. Jeżeli igłę otoczmy powtórny zwojem, otrzymamy odchylenie czterokrotne, i tak dalej: wielkość odchylenia będzie (w pewnych granicach) proporcjonalna do ilości zwojów.

Pierwszy przyrząd Schweiggera, zwany przez niego „mnożnikiem elektromagnetycznym“, składał się po prostu ze zwy-

kłego, małego kompasu kieszonkowego, otoczonego kilkoma zwojami drutu miedzianego nawiniętymi w kierunku głównego południka tarczy kompasu. Przyrząd ten ulepszano, aż osiągnął wysoki stopień doskonałości. Zbudowano przyrządy zawierające do 30 000 zwojów w cewce. Z zasad teorii prądu elektrycznego wynika, że jeżeli galwanometr zawiera cewkę z bardzo cienkiego drutu o wielkiej długości, a zatem o wielkim oporze, natężenie płynącego w nim prądu będzie proporcjonalne do SEM źródła prądu przed jego włączeniem równoległym; taki galwanometr, opatrzony odpowiednią skalą („wycechowany“) i włączony równolegle, będzie mierzył zatem napięcie (liczbę woltów) źródła prądu i nosi nazwę „woltomierza“. Jeżeli zaś cewka galwanometru jest z grubego krótkiego drutu, a więc ma bardzo mały opór, natężenie prądu po szeregowym włączeniu galwanometru będzie takie samo jak przed włączeniem; taki przyrząd nosi nazwę „amperomierza“, gdyż mierzy natężenie prądu, tj. liczbę amperów. Są to, rzecz jasna, najprostsze typy: w praktyce technicznej spotykamy przyrządy bardzo skomplikowane.

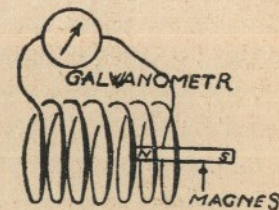
Jeden z najczulszych współczesnych przyrządów, wykonany w pracowniach General Electric Company⁸ w Stanach Zjednoczonych, pozwala dostrzec zmianę w natężeniu prądu wynoszącą jedną dziesięciotysięczną jednej milionowej części ampera! Cudowny ten instrument zwany amperomierzem elektronowym, zastępuje oko ludzkie przy badaniu żarówek, lamp radiowych, prądów w izolatorach itd. Posiada on skalę z podziałkami co jedna pięciotysięczna jednej milionowej ampera. Zastosowano w nim łożyska diamentowe. Zwykła żarówka 40-watowa, który zużywa w godzinę mniej niż za dwa grosze prądu, pobiera prąd 200 000 000 000 razy silniejszy, niż ten, który odpowiada jednej podziałce skali tego przyrządu!

Odkrycie Oersteda, jak wspomnieliśmy, wywołało liczne badania w Europie i Ameryce zmierzające do wyjaśnienia zwią-

ków między elektrycznością a magnetyzmem. Przewodził w nich Ampère, który na krótko po odkryciu Oersteda umiał już podać prawo wiążące położenie igły magnetycznej z natężeniem prądu elektrycznego i dostrzegł, że samo ogniwo działa na igłę w ten sposób, jak zamykający je drut. Wykazał również, że zjawisko to jest zgodne z teorią, że obwód elektryczny musi się zamykać. Od niego pochodzi myśl, że własności magnesu mają źródło w prądach elektrycznych krążących stale dokoła cząstek żelaza w płaszczyznach prostopadłych do linii łączącej bieguny magnesu. Kierunek tych prądów rozstrzyga o tym, gdzie wypadnie na tej linii biegun południowy, a gdzie północny. Ampère rozlegle stosował najsilniejsze współczesne narzędzia matematyczne do wyjaśnienia zjawisk elektryczności i magnetyzmu, a badania jego uitorowały drogę dalszym doświadczeniom Faradaya.

7. ZASADA INDUKCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

Na rok 1831 przypada doniosłe odkrycie, dokonane przez Michała Faradaya (1791—1867). Genialny ten eksperymentator, z którego nazwiskiem nierozłącznie związana jest teoria elektryczności, urodził się pod Londynem jako syn kowala. Zjawisko Oersteda i odkrycie Arago, że można tworzyć magnesy przy pomocy elektryczności, naprowadziły go na myśl, że i odwrotnie: można wytwarzać prąd elektryczny przez magnetyzm. W notatkach jego z tego okresu znajdujemy słowa o „zamianie magnetyzmu na elektryczność“. Odwracając doświadczenie Oersteda zauważył, że jeżeli magnes poruszać w pobliżu cewki, powstaje w niej chwilowy prąd (rys. 16). Jeżeli np. połączymy końce solenoidu z gal-



Rys. 16. MAGNES PORUSZAJĄCY SIĘ WEWNĄTRZ CEWKI WYWOŁUJE W NIEJ PRĄD ELEKTRYCZNY

wanometrem i będziemy do niego wsuwali i wysuwali magnes liniowy, przyrząd wykaże obecność prądu w chwili wsuwania i w chwili wyciągania, przy czym kierunki tych prądów będą przeciwne. Magnes w chwili wsuwania unosi z sobą swe pole magnetyczne i linie tego pola „przecinają“, jak się to mówi, solenoid. Im więcej linii weźmie udział w tym przecinaniu (tj. im silniejsze pole oraz im bardziej poprzecznie się linie względem solenoidu poruszają), tym silniejszy w nim powstanie prąd.

Doniosłość tego odkrycia nie tylko na tym polegała, że wykazało ono związek antycznego magnetytu z płynącą elektrycznością Volty: wynikała z niej ścisła zależność między elektrycznością, magnetyzmem i ruchem. Poruszająca się elektryczność wywiera działanie magnetyczne; poruszający się magnes wywołuje prąd elektryczny. Dwa te fakty poprzez motor elektryczny i dynamomaszynę rządzą naszym współczesnym życiem technicznym.

Według spostrzeżenia Faradaya prąd trwa tak długo, dopóki magnes jest w ruchu, a zatem ciągły prąd może powstać tylko z ciągłego ruchu. Obmyślił on pierwsze urządzenie czyniące zadość temu warunkowi. Składało się ono z tarczy mosiężnej wirującej między biegunami magnesu-podkowy w odpowiednim kierunku. W tarczy powstawał wtedy prąd w kierunku od osi do obwodu albo w przeciwnym, zależnie od kierunku obrotu. Prąd ten był odprowadzany przy pomocy dwóch drutów, z których jeden miał styk sprężysty z osią, a drugi z obwodem tarczy.

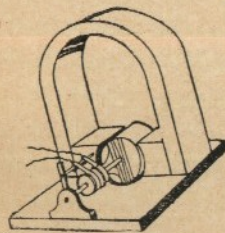
Stopniowo z prymitywnego aparatu rozwinęła się współczesna prądnica (dynamomaszyna): maszyna do zamiany zwykłej energii mechanicznej, wytwarzanej na przykład przez maszynę parową, na energię elektryczną. Ale nie był to bynajmniej jedyny owoc pracy Faradaya: musimy jeszcze wymienić przy najmniej transformator i cewkę indukcyjną, bez których nie byłoby radia, promieni Rentgena, telegrafu, telefonu i wielu innych zastosowań. Prócz tego, doświadczenia Faradaya na-technęły teoretyka wielkiej miary, Clerka Maxwella, do ma-

tematycznych badań nad elektrycznością i magnetyzmem, z których wysnuto wniosek o istnieniu fal elektromagnetycznych. Istnienie tych fal wykazał doświadczalnie Henryk Hertz i z jego nazwiskiem są one związane.

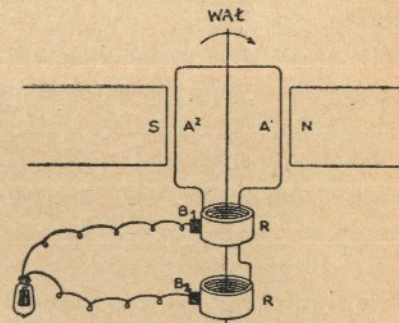
Musimy jeszcze wspomnieć, że zgodnie z twierdzeniem, iż wszelkie zjawisko magnetyczne może być naśladowane przy pomocy prądu elektrycznego, Faraday udowodnił, że również prądy można indukować bez pomocy stałego magnesu, posługując się wyłącznie działaniem jednego obwodu elektrycznego na drugi. Indukcję tę nazwał „voltaiczną“, ażeby ją odróżnić od magnetoelektrycznej, pochodzącej od magnesu stałego; ale po dwudziestu latach udowodnił tożsamość obu rodzajów indukcji. Faraday uważał swe wyniki za silne potwierdzenie teorii magnetyzmu podanej przez Ampère'a. Oświetliły one wszechstronnie związek elektryczności z magnetyzmem.

8. PRĄDNICE I SILNIKI ELEKTRYCZNE

Przyjrzyjmy się teraz praktycznym owocom odkryć Faradaya: współczesnej prądnicy i współczesnemu silni-



Rys. 17. NAJPROSTSZA
POSTAĆ PRĄDNICY NA
PRĄD ZMIENNY



Rys. 18. ZASADA PRĄDNICY
PRĄDU ZMIENNEGO

kowi elektrycznemu, maszynom odgrywającym tak ważną rolę w naszym życiu codziennym. Na rys. 17 widzimy najprostszy schemat prądnicy, na rys. 18 zilustrowano

zasadę jej działania. Cewka A_1A_2 osadzona na osi obraca się między biegunami magnesu (N,S). Dwa izolowane pierścienie (R,R) są połączone każdy z jednym z końców tej cewki, zwanej „twornikiem“, a tzw. „szczotki“ z węgla albo miedzi (B_1, B_2) dotykają sprężystości każdego pierścienia. Odprowadzają one prąd do obwodu głównego, gdzie wykonuje najróżniejsze prace.

Jeżeli twornik się obraca, cewka A_1 przecina linie magnetyczne przed północnym biegunem magnesu i powstaje w niej prąd biegnący przez cały obwód. W przeciwległym położeniu, po obrocie o 180° , przechodzi ona podobnie przed biegunem południowym i powstaje w niej prąd o kierunku przeciwnym. W rezultacie prąd w obwodzie zmienia swój kierunek co pół obrotu twornika; dlatego nazywa się prądem „zmiennym“.

W prądniczy opisanej powyżej mamy tylko dwa bieguny magnetyczne i kierunek prądu zmienia się raz w czasie jednego obrotu. Przez zastosowanie większej liczby magnesów można osiągnąć kilkakrotną zmianę kierunku w czasie jednego obrotu.

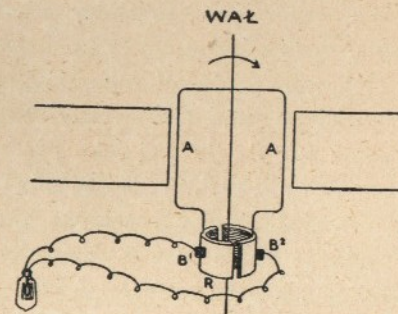
Czas między dwiema kolejnymi zmianami kierunku nazywa się okresem, a liczba okresów na sekundę — częstotliwością prądu.

Prądnicza o jednej cewce (albo zespole cewek) daje prąd jednofazowy, w którym płynie tylko jedna fala prądu.

Jeżeli mamy dwa oddzielne zespoły cewek, prąd będzie dwufazowy, tj. powstaje z nałożenia się dwóch fal prądów jednofazowych. Przy większej liczbie niezależnych zespołów cewek będziemy mieli prąd wielofazowy.

Prąd zmienny nie zawsze może zastąpić stały, lecz przez drobną zmianę w urządzeniu prądniczy można go przekształcić na prąd stały nie zmieniając kierun-

ku obrotu (rys. 19). Zmiana ta dotyczy tylko pierścieni: zamiast dwóch pierścieni, mamy tylko jeden podzielony na dwie części, z których każda jest połączona z jednym końcem cewki. W pierwszej połowie obrotu cewki prąd płynie ze szczotki B_1 w kierunku żarówki, lecz w następnej połowie obrotu w tej części pierścienia będzie prąd o kierunku przeciwnym. Ale wtedy już szczotka B_2 będzie dotykała właśnie drugiej połowy pierścienia i będzie przez nią przepływał prąd o tym samym kierunku co w pierwszej połowie. Urządzenie, któreśmy opisali, nosi nazwę „przełącznika“ albo „komutatora“. („commutare“ po łacinie „zmieniać“).



Rys. 19. ZASADA PRĄDNICZY PRĄDU STAŁEGO

Prądnicze rzeczywiste są o wiele bardziej skomplikowane niż opisane urządzenia. Każda posiada układ elektromagnesów, a tworniki składają się z wielu cewek osadzonych na żelaznym rdzeniu, który zgęszcza linie siły magnetycznej. W prądnicach małych obraca się zazwyczaj twornik, ale w dużych raczej elektromagnesy. Elektromagnesy te wymagają prądu w swym uzwojeniu, zanim zaczną działać. Gdy prądnicza na prąd stały rusza po raz pierwszy, elektromagnesy jej trzeba zasilić prądem z zewnętrznego źródła: ale później, po przerwie, dzięki resztkom magnetyzmu, pozostałego w rdzeniach elektromagnesów, prądnicza będzie mogła rozpocząć działanie, na razie słabe. Albo cały, albo część wytworzonego prądu jest kierowana przez uzwojenie elektromagnesów; wzmoćnią się one zatem, a zatem wzrośnie natężenie wytworzonego prądu, a to z kolei

wywoła dalsze wzmożenie siły elektromagnesów aż do pełnej siły. Jest to zasada samowzbudzenia, stosowana w prądnicach prądu stałego. Maszyny prądu zmiennego mają magnesy zasilane z oddzielnej prądnicy, która może być całkiem małą.

Do uruchomienia prądnicy niezbędna jest energia mechaniczna, są to więc maszyny zamieniające energię mechaniczną na elektryczną. Jeżeli natomiast przez uzwojenie prądnicy przepuścimy prąd elektryczny, twornik poczyni się obracać: maszyna nie działa już jako prądnica, lecz jako silnik elektryczny. Silnik elektryczny to odwrotność prądnicy.

Zrozumieć działanie takiego silnika bardzo łatwo, jeżeli uzmysłowić sobie zasadę prądnicy. Przypuśćmy, że chcemy prądnicę z rys. 19 zastosować jako motor. Łączymy w tym celu jej zaciski z biegunami innej prądnicy prądu stałego. Gdy prąd poczyni płynąć przez cewkę, staje się ona — jak już dobrze wiemy — magnesem z biegunem północnym i południowym, a przyciąganie i odpychanie między tymi biegunami a biegunami cewki zmusza ją do wykonania półobrotu. Wtedy komutator zmienia kierunek prądu, a ponieważ zmieniły się teraz również pobliskie bieguny cewki, kierunek obrotu pozostaje ten sam. W głównych zarysach różnice między wykonaniem prądnicy i silnika są znikome, tylko pewne szczegóły uwzględniają różnicę przeznaczenia obu maszyn. Pewne zmiany w konstrukcji silnika pozwalają go pędzić również prądem zmiennym.

Możliwość odwrócenia prądnicy i użycia jej jako silnika była znana już w roku 1838, ale dopiero w roku 1873 ściągnęła ona na siebie uwagę. I tu odegrał rolę przypadek: na wielkiej wystawie przemysłowej w Wiedniu ktoś z obsługi nieświadomie połączył końce dwóch przewodów z zaciskami nieruchomej prądnicy, która zaczęła się obracać. Okazało się, że były to przewody od innej prądnicy, czynnej w owej chwili.

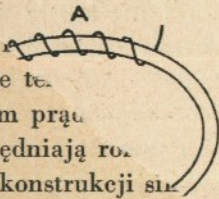
Silnik elektryczny może zastąpić każdy inny tam, gdzie jest do dyspozycji prąd elektryczny dostatecznej mocy. Ale nawet w miejscach nie zasilanych prądem z żadnej centralnej elektrowni, jeżeli trzeba pędzić kilka maszyn blisko siebie, oplaca się ustawić prądnicę z jednym tylko silnikiem parowym, spalinowym czy turbiną, a z tej prądnicy rozprowadzić energię do silników elektrycznych napędzających poszczególne maszyny. Korzyść polega na tym, że przekazywanie energii na drodze elektrycznej jest bez porównania wydajniejsze, niż wszelkie urządzenia mechaniczne służące do tego celu, jak pasy, łańcuchy, tryby, przekładnie itd. Prąd po przewodach może biec dowolnie daleko, w dowolnym kierunku. Można więc ustawić silniki bardzo blisko maszyn, dla których są przeznaczone i odpada skomplikowane stosowanie przekładni, których wymaga maszyna parowa czy silnik spalinowy. Jaskrawym tego przykładem jest lokomotywa dieslowsko-elektryczna, gdzie silnik dieslowski pędzi prądnicę, od której biegną przewody do silników elektrycznych, umieszczonych wprost na osiach! Prądnica i silniki elektryczne jako pośrednie ogniwa wstawione między silnik dieslowski i łwy okazują się bardziej wydajne niż prosta transmisja mechaniczna.

Energia elektryczna wyparła już dawno wszystkie urządzenia komunikacji miejskiej, jeżeli nie liczyć autobusów i tramwajów. Jeżeli przewagę na głównych arteriach komunikacji, stosuje się bodzie wymijania. Szybko opanowującym powietrzem lub ską, a może się pochwalić poważnym bieżnej.

Silnik elektryczny można częściej używać w miejscach, gdzie nie ma mowy: w maszynach i urządzeniach mechanicznych, wentylatorach. Zawieszony w powietrzu, może być używany do napędzania, cichemu biegowi, może być używany do napędzania, niewymaganiu stałego n-

9. TRANSFORMATORY

Mówiliśmy już, że moc elektryczna, tj. praca wykonywana przez prąd w jednostce czasu, mierzy się iloczynem napięcia i natężenia prądu, a więc wyraża się pewną liczbą wolt-ampereów. Dopóki iloczyn ten nie zmienia się, prąd o wysokim napięciu a małym natężeniu będzie miał tę samą moc, co prąd o niskim napięciu a wysokim natężeniu. Przy przesyłaniu prądu elektrycznego, jak o tym jeszcze nieraz będzie mowa, natężenie prądu nie jest rzeczą obojętną: im słabszy prąd, tym tańsze przewody, tym mniejsze straty energii po drodze. Oto dlaczego staramy się zawsze przesyłać daną moc w postaci prądu o wysokim napięciu, a odpowiednio zmniejszonym natężeniu. Lecz bezpośrednia produkcja takiego prądu w prądnicach nie nadaje się bezpośrednio do użytkowania przemysłowego czy domowego. Trzeba więc wytwarzać prąd o średnim napięciu, przed przesłaniem przekształcić go na prąd o wysokim napięciu, a po otrzymaniu na miejscu przekształcić go znowu na

ko-
teraz'  zostaje te.
naniem prądu.
uwzględniają ro-
ny w konstrukcji si-
zmiennym.

Możliwość odwrócenia jego drutu (rys. 20). Cewka A była znana już w roku 1838, była połączona z baterią, cewka B ona na siebie uwagę. I tu odgalwanometrem. Gdy włączono wystawie przemysłowej w W_w B. Łatwo to zrozumieć: po prostu połączył końce dwóch p₂ magnetyczne dokoła cewki A mej prądnicą, która zaczęła słnie z zasadą indukcji, wszelkie to przewody od innej prądnic₂ wywołuje prąd elektryczny.

prąd o napięciu stosownym do użytku. Urządzenia, które te przekształcenia wykonują, nazywają się transformatorem.

Zasadę transformatora odkrył Faraday podczas swych licznych doświadczeń. Nawinał na pierścieniu żelaznym dwie izolowane cewki dłu-

Rzecz jasna, że odwrócenie ról cewek B i A prowadzi do tego samego zjawiska. Prąd powstający w drugiej cewce, nazywa się wtórnym, a cewka ta nosi tę samą nazwę.

Jeżeli liczba zwojów w obu cewkach jest jednakowa, prąd wtórny będzie miał to samo napięcie co pierwotny. Lecz jeżeli zwojów tych będzie dwa razy więcej, również napięcie powiększy się dwa razy; jeżeli dwa razy mniej, będzie dwa razy mniejsze. Napięcie wzrośnie tyle razy, ile razy jest większa liczba zwojów. Możemy w ten sposób zwiększać i zmniejszać napięcie w dowolnym stosunku. Ponieważ jednak żadne urządzenie nie może dać zysku na energii, musimy stracić na natężeniu prądu, który tyle razy zmaleje, ile razy wzrosło napięcie. Jeżeli napięcie prądu o 100 woltach i 100 amperach powiększymy do 1000, natężenie spadnie do 10 i na odwrót. Ściśle biorąc, prąd wtórny ma energię trochę mniejszą, gdyż przy każdym przekształcaniu energii nieuniknione są pewne straty z różnych powodów.

Wszystkie transformatory współczesne są oparte na tej samej zasadzie, co pierwotny eksperyment Faradaya, ale zawierają wiele komplikacji. Rdzeń transformatora nie jest zwykłym pierścieniem, ma złożoną warstwową budowę, również sposób nawijania cewek musiał się zmienić. Wielkie transformatory wytwarzają wiele ciepła, rosnąca temperatura stawia wysokie wymagania izolacji, niezbędne są chłodnice. Jeżeli transformatory narażone są na długie przeciążenia, stosuje się chłodzenie olejem, bądź też przepływającym powietrzem lub wodą.

ROZDZIAŁ II

PRODUKCJA PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

1. WSPÓLCZESNE PRĄDNICE

Prądnica ma już za sobą całe stulecie rozwoju: „dynamomaszyna“ Faradaya powstała bowiem w roku 1831. Większość współczesnych prądnic nie przypomina ani wyglądem (tabl. I i II), ani sposobem działania swej prababki, jeżeli nie liczyć samej zasady indukcji magnetycznej. Nawet nazwa została zarzucona: „dynamo“ to wyraz przestarzały, na zachodzie mówią ogólnie „generator“, albo „alternator“, gdy idzie o prąd zmienny. Częściej wypada dziś używać nazwy „turbozespół“ („turboagregat“), która się niebawem wyjaśni.

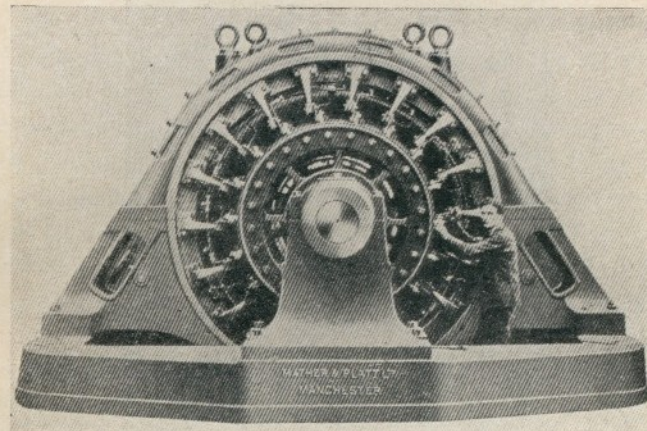
W dzisiejszej prądniczy rozróżniamy dwie części zasadnicze: „pole“, tj. układ elektromagnesów (tabl. II^A) i „twornik“, tj. zespół przewodników albo cewek, w których powstaje prąd. W większości typów częścią wirującą, „wirnikiem“ jest pole, nieruchomą — twornik; rzadziej spotykamy układ odwrotny.

Pierwotny układ Faradaya znajdujemy dziś w dwóch rzadko stosowanych typach generatorów: w generatorach jednobiegunowych prądu stałego i tzw. induktorowych prądu zmiennego. W jednobiegunowych mamy (jak u Faradaya) jedną parę biegunów, między którymi obracają się cewki wirującego twornika; powstający w nich prąd zostaje zebrany przez szczotki z dwóch pierścieni, do których są dołączone dwa końce każdej cewki. Powiększenie liczby tych par pierścieni może dać wyższe napięcie, ale z liczbą tą rosną straty i komplikacje

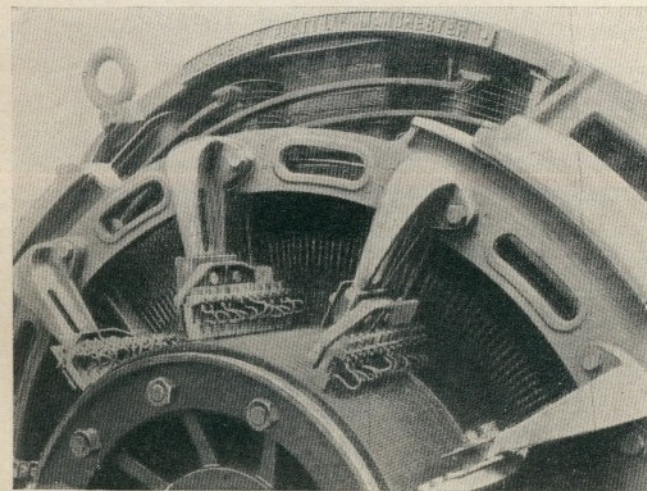
mechaniczne. Nie dorównują one pospolitszym prądnicom z komutatorem. Budowano je jednak do mocy 2000 kW.

Prądnice induktorowe mają również jedną wirującą parę elektromagnesów, ale są one ząbkowane, tak że w mijającej je cewce natężenie prądu (stałego!) ulega wahaniom w rytmie mijania ząbków. Odpowiednie połączenie cewek między sobą i z pierścieniami pozwala „wyciąć“ z prądu stałą wartość, dokoła której odbywają się wahania, i pozostają wahania dokoła natężenia zerowego, a więc prąd zmienny. Częstotliwość jego zależy od liczby zębów pola i szybkości obrotu. Ponieważ wirnik może być tu wykonany z jednego bloku, szybkość jego może być wielka. E. F. W. Alexanderson z General Electric Co. zbudował do wysyłania fal radiowych (por. str. 189) generator induktorowy o częstotliwości 100 000 na sekundę. Ale przy częstotliwościach, które można osiągnąć i na innej drodze, ten typ generatora nie jest korzystny, gdyż „obcięcie“ stałego składnika silnie zmniejsza jego moc przy danych rozmiarach. Niemniej jednak dla częstotliwości powyżej 2000 na sekundę, jest to najlepszy sposób osiągnięcia większych mocy.

Prądnicą prądu stałego z komutatorami (tabl. IA), to pospolity bezpośredni generator prądu stałego (najczęściej otrzymuje się dziś prąd stały przez przekształcenie zmiennego). Zasadę komutatora opisaliśmy na str. 33. W wielkich prądnicach liczba działek komutatora jest większa. Najczęściej obraca się twornik, który ma na jednej osi uzwojenie i komutator (w kształcie dwóch wydrążonych walców). Rdzeń twornika składa się z warstw cienkiej blachy żelaznej dla uniknięcia strat energii na tzw. „prądy wirowe“. W żłobkach wzdłuż twornika biegają miedziane izolowane druty połączone z sobą. Komutator (tabl. IB) jest również miedziany, odizolowany od walca, na którym znajduje się uzwojenie, i z tym ostatnim jest połączony miedzianymi przewodnikami. Pole składa się z pewnej liczby elektromagnesów głównych (i takiej samej



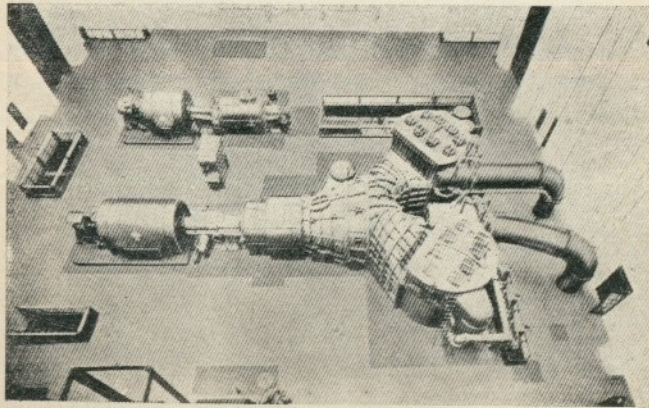
A. WIELKA PRĄDNICA PRĄDU STAŁEGO DO PRODUKCJI CHEMIKALIÓW ZA POMOCĄ PRĄDU ELEKTRYCZNEGO



B. CZĘŚĆ TEJŻE PRĄDNICY. WIDĄĆ SZCZOTKI WĘGLOWE PRZYCIŚNIĘTE DO MIEDZIANYCH WYCINKÓW KOMUTATORA
U góry widać magnesy pola i ich uzwojenie.



A. WIRNIK (POLE) WIELKIEJ PRĄDNICY
(65 000 KVA)
zakładu wodno-elektrycznego przy Niagarze



B. TURBOZESPÓŁ PARSONSA O MOCY 50 000 kW
ustawiony w Chicago

małych pomocniczych, „przełącznikowych“), umieszczonych na pierścieniu stalowym albo żelaznym; są one na przemian północne i południowe. Z komutatora zbierają prąd grafitowane szczotki węglowe ułożone w tyle rzędów biegnących równoległe do osi walca, ile jest głównych biegunów. Prądnica prądu stałego ma „samowzbudzenie“, gdyż wytworzony przez nią prąd przechodzi przez uzwojenie elektromagnesów pola. Wystarczy więc najslabsza pozostałość magnetyzmu w biegunach, żeby prąd „rozbujać“: najprzód powstaje słaby prąd, który wzmacnia magnesy, a więc sam ulega wzmocnieniu itd. Generator z komutatorem, z powodu złożonej budowy twornika, nie może znieść wysokiej szybkości i to ogranicza jego moc. Poza tym budowa komutatora nie pozwala na zbyt wielką różnicę potencjałów między jego działkami, a więc ogranicza osiągalne napięcie do jakichś 2000 woltów.

Generatory prądu stałego stosuje się do pewnych tylko celów, jak elektrotechniczne (platerowanie, elektroliza), do trąceji elektrycznej, do służby pomocniczej na radiowych stacjach nadawczych. Przy starannej konstrukcji wydajność ich dochodzi do 94%.

W synchronicznych prądnicach elektromagnesy pola są ułożone w równych odstępach na powierzchni walca (tabl. II^A), a twornik znajduje się albo wewnątrz tego walca i wtedy ma postać wydłużonego bębna, albo też obejmuje go i wtedy tworzy jakby kołnierz dokoła pola. Na tworniku znajduje się uzwojenie z izolowanego drutu miedzianego, biegnącego w rowkach wyłobionych w rdzeniu a równoległych do jego osi. Rdzeń ma budowę warstwową, żeby nie dopuścić — jak wspominaliśmy — do powstania „prądów wirowych“, pochłaniających wiele energii. Natomiast pole, jeżeli znajduje się wewnątrz twornika i ma kształt bębna, często bywa z jednolitej kutej bryły, w której są wyfrezowane żłobki na uzwojenie wzbudzające elektromagnesy, tworzące występy z tej bryły.

Pozwala to na osiągnięcie wielkich szybkości obrotowych. Uzwojenie jest najczęściej zasycane prądem samej prądnicy, ale do wzbudzenia potrzebny jest zawsze oddzielny mały generator, osadzony zwykle na osi wielkiego i zwany „wzbudnicą“.

Dawniej twornik był najczęściej ruchomy, a więc szczotki musiały się ślizgać po kolektorze, co przy wysokich napięciach prowadziło do licznych niewygód (iskwienie, szybkie zużycie). Toteż dziś twornik jest najczęściej nieruchomą częścią prądnicy, a wiruje pole. Odpada więc konieczność stosowania szczotek, prąd można odprowadzać przez zwykłe styki.

Liczba zmian kierunku prądu na sekundę równa się połowie liczby obrotów wirnika pomnożonej przez liczbę jego biegunów. W prądzie miejskim wynosi ona zwykle 25, 50 lub 60 okresów na sekundę, ale dochodzi do wielu tysięcy w generatorach specjalnych.

W naszym stuleciu, jak już mówiliśmy, prąd stały jest znacznie rzadszy od zmiennego. Korzystniejsze jest, jeżeli prąd stały jest niezbędny, wytwarzać go przez przekształcenie prądu zmiennego na samym miejscu spożycia. Przesyłanie prądu zmiennego jest bowiem o wiele dogodniejsze.

Moc 50 000 kilowatów (ok. 67 000 KM), napięcie około 13 000 woltów, 1800 obr/min, to dość przeciętne obecnie cechy prądnicy.

2. TURBOZESPOŁY

Wielkiej prądnicy nie buduje się dziś niezależnie od urządzenia, które ją ma napędzać. Olbrzymia konstrukcja o ciężarze 150 ton nie jest przecie przeznaczona do przenoszenia i do pracy w różnych warunkach; można więc dla niej obmyślić stały i najodpowiedniejszy w danym miejscu i warunkach napęd. Toteż wielkie prądnice spotykamy dziś wyłącznie jako części składowe „zespołów“ („agregatów“), w których są one związane ściśle ze źródłami energii mechanicznej. Dawniej w po-

spolitym użyciu było połączenie prądnicy z maszyną tłokową, najprzód z parową, potem z silnikiem spalinowym. Lecz około roku 1905 rozkwit turbiny parowej i wodnej wysunął na czoło „turbozespoły“ z turbiny i prądnicy o wspólnym wale napędowym. Turbozespół (tabl. II^B) obywa się więc bez tak niepożądanego przekształcania mechanicznego ruchu tłokowego na obrotowy — zaleta niezmiernie cenna. Dopiero olbrzymie sukcesy silników Diesla znowu przywróciły do łask kombinację prądnicy z silnikiem tłokowym. Zdarzają się też kombinacje z silnikiem elektrycznym.

Generatory z turbiną parową (tabl. II^B) mają charakterystyczny kształt wydłużonego bębna, zazwyczaj o osi poziomej. Pochodzi to stąd, że turbina parowa*, jeżeli ma być wydajna, wymaga wielkiej szybkości obrotowej; zmusza to do zmniejszenia średnicy wirnika ze względu na wielkie napięcia odśrodkowe. Żeby utrzymać moc prądnicy — zależną od długości uzwojenia — trzeba ją wyciągnąć wzdłuż.

Wielka szybkość obrotowa wysuwa też na pierwszy plan zagadnienie chłodzenia. Korzysta się obecnie na ogół z wentylacji powietrznej, ale ostatnio z wielkim powodzeniem zastosowano wodór, do którego zapewne należy przyszłość. Możemy się spodziewać w krótkim czasie coraz większych jednostek: do 200 000 kW przy 1500 obr/min. Przeciętne będzie zapewne napięcie 22 000 woltów i wydajność do 98%.

Generatory z turbiną wodną (tabl. III^B, VII^A) mają dziś najczęściej pionowy wał napędowy dla lepszego wyzyskania spadku wody. Pole zazwyczaj obraca się wewnątrz twornika, który dawniej bywał z żelaza lanego, a teraz jest często ze spawanych płyt stalowych. Podobnie buduje się rdzeń pola. Niemożliwość dokładnej regulacji biegu wody pociąga za sobą

* O turbinach parowych można przeczytać w rozdz. IV książki E. N. da C. Andrade pt. „Maszyny“ (wyd. Mathesis Polska).

często przy spadku obciążenia niespodziewane powiększenie szybkości obrotowej. Prądnica musi być zatem dokładnie zaprojektowana mechanicznie na takie możliwości. Ponieważ woda przecieka czasem nawet przez zamknięte zasuwy, niezbędne są specjalne hamulce do wyłączania zespołu.

Wydajność turbosespołu wodnego znajduje się w prostym stosunku do jego rozmiarów przy danej szybkości obrotowej; dochodzi ona do 98%. W ustępie o urządzeniach wodnoelektrycznych znajdziemy dalsze szczegóły o ich budowie.

Warto wspomnieć, że mniej więcej z początkiem naszego stulecia praca nad ulepszaniem prądnic przestała się łączyć z nazwiskami indywidualnymi, a wyniki związały się raczej z biurami technicznymi wielkich zakładów.

3. ELEKTROWNIE PAROWE

„Fabryki“ energii elektrycznej noszą nazwę „elektrowni“ albo „zakładów elektrycznych“. Budowa i organizacja takiego zakładu zależy przede wszystkim od tego, w jakiej postaci prądnice będą otrzymywały energię mechaniczną: czy z maszyny tłokowej (parowej lub spalinowej), czy z turbiny parowej lub wodnej, czy też może wreszcie od koła wodnego, wiatraka lub urządzenia wyciskującego przypływ morski, bo i takie być mogą. Elektrownie okrętowe korzystają często z silników spalinowych, ale i w miastach nie są rzadkie zakłady z silnikami ropowymi (dieslami). Lecz Iwią część wszystkich elektrowni podzieliły między sobą turbiny parowe i wodne. Przy tym w Stanach Zjednoczonych, gdzie energia wodna jest obfitsza niż gdziekolwiek indziej, na turbinę parową przypada 60% produkcji elektrycznej. Opiszemy więc dokładniej te dwa typy elektrowni.

Przy projektowaniu współczesnych zakładów dąży się przede wszystkim do małej liczby jednostek generatorowych o wielkiej mocy, gdyż daje to najoszczędniejszą produkcję. Jednak-

że warunki miejscowe, teren, rodzaj paliwa do dyspozycji, dostęp do wody, charakter obciążenia i jego wahania sprawiają, że każda elektrownia musi być specjalnie i indywidualnie projektowana.

Mimo to, w każdej elektrowni parowej można wyróżnić pięć zasadniczych działów: urządzenia do produkcji pary (tzw. obieg cieplny: kotłownia, pompownia, dźwigi itd.); maszynownia, gdzie znajdują się turbosespoły; układ szyn zbiorczych, gdzie „zbiera się“ prąd; rozdzielnia i wreszcie nastawnia.

Maszynownia (tabl. III^{A,B}) biegnie zazwyczaj przez całą długość budynku. Jest to stosunkowo wąska hala, w której turbosespoły (jeśli ich jest kilka) stoją w wyrównanym szeregu. Dach jej bywa często oszklony. Do turbin biegną rury z parą z kotłowni, od prądnic — przewody do układu szyn zbiorczych. Pod maszynownią najczęściej znajdują się kondensatory do ponownego skraplania pary, która przeszła przez turbiny. W bezpośrednim ich sąsiedztwie mamy pompownię z urządzeniami pomocniczymi do pracy turbin.

Szyny zbiorcze, do których biegną przewody od prądnic, to grube izolowane sztaby miedziane albo też liny splecione z miedzianych drutów. W nich zbiera się cała energia elektryczna wytworzona przez prądnice, z nich też zostaje rozproszona. Każda prądnica może być połączona z każdą szyną, może też być szybko przełączona z jednej szyny na inną. Podobnie każda szyna może być połączona z każdą żyłą biegnącą na teren zasilany. Szyny mogą być umieszczone w oddzielnej sali, często jednak przebiegają wprost w maszynowni na różnych poziomach. Prąd przechodzi do szyn przez transformatory połączone z przyrządami mierniczymi (które bezpośrednio tak silnego prądu nie mogłyby przepuścić) i melduje w nich wszystkie cechy liczbowe (natężenie, napięcie, moc, częstotliwości itd.) na użytek nastawni.

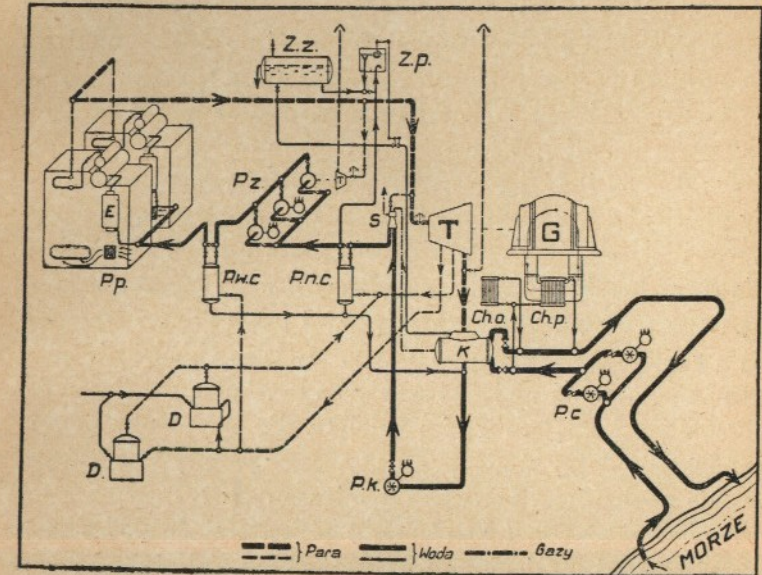
Jeżeli prąd ma być przesłany niedaleko i ma niewielkie napięcie, biegnie wprost z szyn przez tablice rozdzielcze do przewodów roboczych na zasilany obszar. Jeżeli zaś ma być przesłany daleko, musi być transformowany na wysokie napięcie, gdyż wtedy straty przy przesyłaniu są mniejsze. Transformatornię często umieszcza się pod gołym niebem (tabl. IV^A). Liczne wyłączniki mogą być sterowane z nastawni.

Nastawnia (tabl. IV^B) to mózg całej elektrowni, jeżeli przewody są nerwami. Znajdują się w niej przyrządy kontrolne i miernicze, które dają wszystkie wiadomości o pracy każdego zespołu i o przebiegu prądu w każdym obwodzie. Wszystkie połączenia elektryczne można wykonać z nastawni, a telefon i specjalny system sygnalizacji pozwala wydawać zarządzenia do kotłowni i turbinowni. Czasem wszystkie te urządzenia znajdują się na galerii biegnącej w maszynowni. Jeżeli jest inaczej, z nastawni widać zawsze dokładnie maszynownię.

W elektrowni znajdują się prócz tego pewne elementy rezerwowe przewidziane na wypadek zakłócenia pracy. Jest to przede wszystkim bateria akumulatorów, następnie zwykle mały turbozespół do oświetlenia. Prócz tego cały szereg silników małych jest zasycany z głównych prądnic („potrzeby własne“).

Przyjrzyjmy się jeszcze „obiegowi cieplnemu“ elektrowni parowej. Pomoże nam schemat (rys. 21) tego obiegu, odnoszący się do elektrowni „Gródka“ w Gdyni (15 750 voltów, 7 500 kW). Przedtem jednak musimy powiedzieć, że węgiel zostaje wyladowany z wagonów (ręcznie albo automatycznie) do lejów żelbetowych. Dźwig kubełkowy podnosi go stamtąd z szybkością 30 ton na godzinę i wyrzuca (czasem jeszcze uprzednio pokruszony) na taśmę gumową przebiegającą nad dwoma bunkrami o pojemności 100 ton każdy. Z bunkrów węgiel spada na wagi automatyczne, a z nich na ruszty pieców. Popiół

po spaleniu zostaje w pewnych zakładach zmielony przez młynek elektryczny i wyrzucony do wagoników biegnących na szynach do lejów, z których go potem wydobywają do dalszego zużytkowania.



Rys. 21. SCHEMAT OBIEGU CIEPLNEGO ELEKTROWNII PAROWEJ „GRÓDKA“ W PORCIE GDYŃSKIM

Z.z. — zbiornik zapasowy, Z.p. — zbiornik przelewowy, P.z. — pompy zasilające, P.c. — pompy cyrkulacyjne, P.k. — pompa kondensatu, P.p. — podgrzewacz powietrza, P.w.c., P.n.c. — podgrzewacz wysokiego (niskiego) ciśnienia, Ch.o., Ch.p. — chłodnica oleju, powietrza, T — turbina, G — generator, E — ekonomizery, S — smoczek parowy, K — kondensator, D — destylatory.

Żeby lepiej spalać węgiel w rusztach, tworzy się sztuczny ciąg, wciąga się powietrze za pomocą wentylatorów elektrycznych i podgrzewa się przed wpuszczeniem do rusztu (P. p. na rys. 21). Gazy po spaleniu zostają wysane przez inne wentylatory.

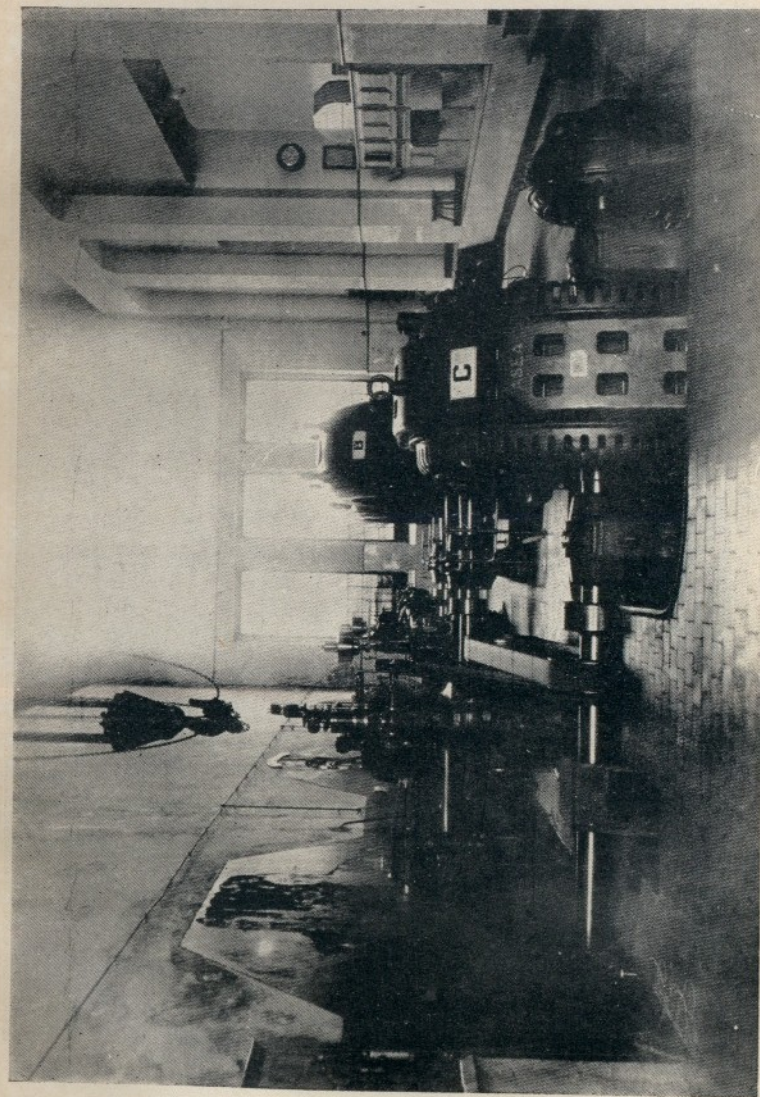
Obieg wody jest kołowy: para z niej wytworzona po przejściu przez turbiny T zostaje skroplona w kondensatorze K i przepompowana z powrotem do kotłów. Nieunikniony jej ubytek zostaje uzupełniony z destylatorów D. Dokładny przebieg jest następujący:

Para wodna (w Gródce o temperaturze 425° , ciśnieniu 32 atm.) wychodzi z kotła. Drobna jej część po drodze odpływa do turbinki pędzącej pompy zasilające (p. z.), reszta biegnie do turbiny głównej T. Z tej turbiny, jeszcze przed jej opuszczeniem (za szóstym i jedenastym kołem turbiny) zostaje pobrana drobna ilość („para odczepowa“) do podgrzewania wody płynącej z kondensatora (p. n. c. i p. w. c.) oraz do ogrzewania destylatorów D. Po przejściu przez turbinę reszta skrapla się w kondensatorze K chłodzonym wodą morską wciągana przez pompy cyrkulacyjne (p. c.) i przez nie też wyrzucona z powrotem do morza po użyciu. Woda ta chłodzi nie tylko kondensator, ale i olej smarowy oraz powietrze chłodzące generator G i kursujące w nim w kółko. Po skropleniu pompa kondensatu tłoczy wodę przez „smoczek parowy“, w którym zostaje pozbawiona powietrza („odgazowana“).

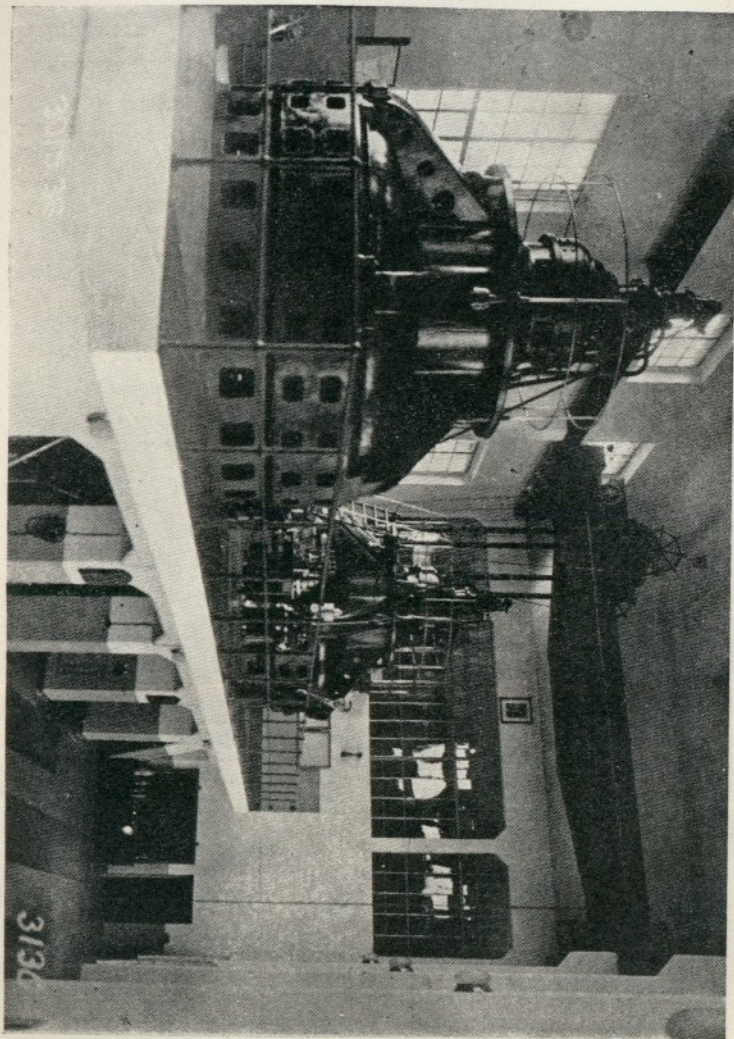
Ze smoczka woda („kondensat“) przechodzi do podgrzewacza niskiego ciśnienia, a po przebyciu pomp zasilających — do podgrzewacza wysokiego ciśnienia. Stąd przechodzi do tzw. „ekonomizera“, tj. do urządzenia odparowującego i — już jako para — do kotłów, gdzie zostaje przegrzana do ustalonej przez projekt temperatury.

Straty na wodzie w tym obiegu są stale uzupełniane przez destylatory, do których przybywa woda ze studni, zmiękczona po drodze, aby nie zanieczyszczała zbyt szybko destylatorów. Para z destylatorów łączy się z kondensatem w podgrzewaczu niskiego ciśnienia i wraz z nią odbywa dalszy obieg kołowy.

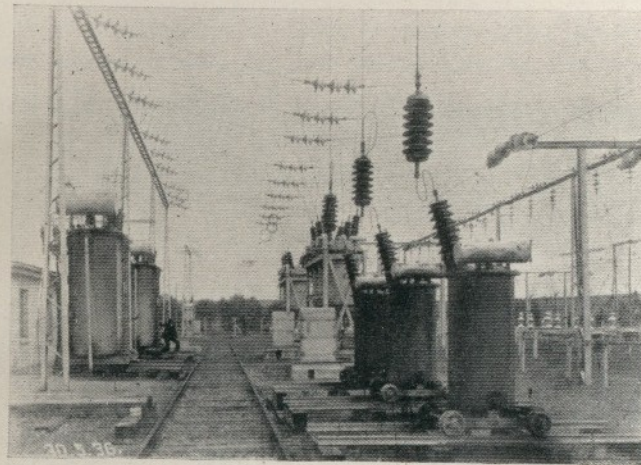
Wróćmy teraz do prądu, który opuszcza prądnicę. Najpopularniejszy obecnie sposób zbierania prądu z generatora prądu



WNĘTRZE MASZYNOWNI ZAKŁADU WODNO-ELEKTRYCZNEGO W GRÓDKU
Turbozespoły poziome



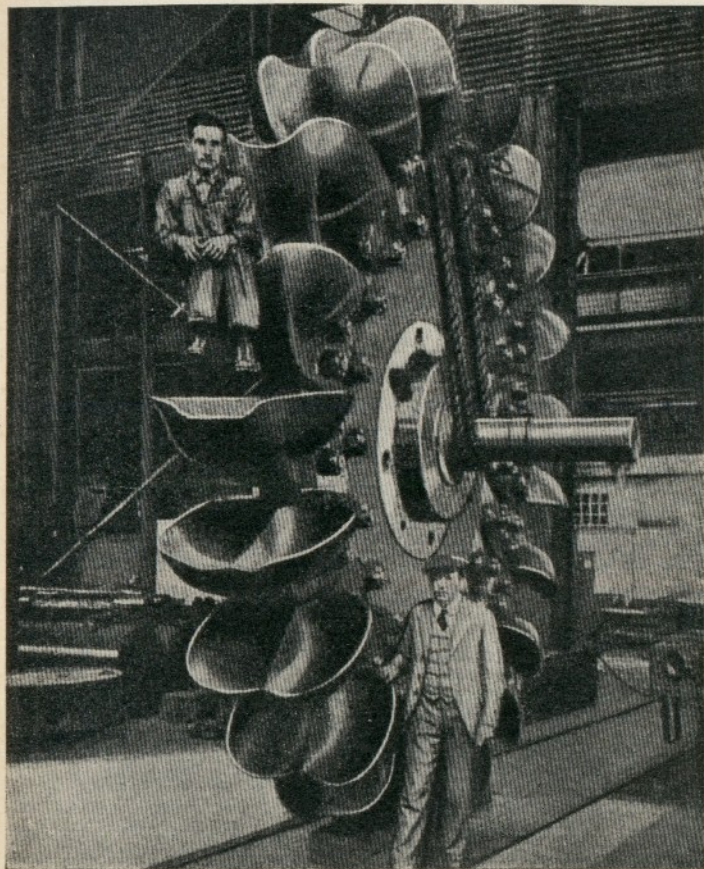
WNĘTRZE MASZYNOWNI ZAKŁADU WODNO-ELEKTRYCZNEGO W ŻURZE
Turbozespoły pionowe. Widoczne turbiny.



A. ROZDZIELNIA 60 000 V W ŻURZE POD GOŁYM NIEBEM



B. NASTAWNIA ELEKTROWNI TRAMWAJOWEJ
w Liverpoolu



KOŁO TURBINY PELTONA

zmiennego to „układ trójfazowy“. Zamiast dwóch przewodów, stosowanych we wczesnych prądnicach, odprowadzamy prąd trzema przewodami z trzech (w najprostszym przypadku!) punktów uzwojenia, odpowiednio dobranych. Połączenie dowolnych dwóch z tych trzech przewodów daje już obwód zamknięty: dzięki temu okazuje się możliwe przesłanie dwa razy większej mocy niż przy dwóch żyłach. Punkty uzwojenia, z których prąd odbieramy, są tak obrane, że prądy w nich „różnią się w fazie“ stale o jedną trzecią okresu. Oznacza to, że prąd w jednej żyłce stale w przebiegu swych zmian (przebiegi te są jednakowe w każdej żyłce!) wyprzedza o jedną trzecią prąd w drugiej żyłce, a opóźnia się względem trzeciej. Można by to porównać z „kanonem“ muzycznym na trzy głosy, z których każdy śpiewa tę samą powtarzającą się ciągle melodię trzytaktową, ale z opóźnieniem wzajemnym o jeden i o dwa takty. Stosuje się czasem odprowadzenie o większej liczbie faz (do dwunastu), ale jeśli idzie o przekazywanie energii, trzy fazy dają już najlepszy możliwy wynik. Każdą fazę doprowadza się do innej szyny zbiorczej albo do kilku szyn zbiorczych i często umieszcza się szyny tej samej fazy na oddzielnym poziomie lub piętrze. W „Gródce“ mamy dwa systemy szyn zbiorczych.

Przy bardzo silnych prądach i wysokich napięciach przewanie obwodu prądowego może być bardzo trudne, dlatego że przy rozłączaniu styków prąd przebija tworzącą się między nimi lukę, tworząc tzw. „łuk elektryczny“ i płynąc w dalszym ciągu przez powietrze. Dlatego instalacje wysokiego napięcia wymagają specjalnej budowy. Styki są umieszczone w oleju o szczególnie wysokiej zdolności izolacyjnej, a specjalne urządzenia pozwalają rozłączać je niezmiernie szybko. Są to tzw. „wyłączniki olejowe“. Obecnie stosuje się często wyłączniki pracujące pod zgęszczonym powietrzem i takie właśnie zainstalowano w „Gródce“.

Dla ilustracji podamy jeszcze kilka danych liczbowych, odnoszących się do elektrowni miejskiej w Warszawie. Posiada ona obecnie 20 kotłów parowych o wydajności pary do 65 ton na godzinę. Zasilają one parą osiem turbozespołów o mocy 3 600 do 25 000 kW. Zespoły te dają prąd trójfazowy o napięciu 5 000 voltów, który w części idzie bezpośrednio do szyn zbiorczych i kabli zasilających, a w części zostaje transformowany na 15 000 V, a dla węzła kolejowego warszawskiego — na 35 000 V. Napięcie 5 000 V transformuje się w sieci na napięcia robocze 122 i 211 voltów.

Ogólna moc elektrowni w chwili obecnej wynosi z rezerwami około 83 000 kW. Najwyższe chwilowe zapotrzebowanie mocy w roku 1937 wyniosło 56 000 kW.

Produkcja w roku 1937 wyniosła ogółem 160 mil. kilowatogodzin, z czego 24 mil. zużyła sama elektrownia na napęd pomp, dźwigów, oświetlenie itd. oraz straty przy przesyłaniu energii w sieci. Dla wytworzenia tej ilości energii zużyto 143 000 ton węgla, odparowano w kotłach 832 ton wody czystej zmiękzonej i zaczerpnięto z Wisły do chłodzenia kondensatorów około 25 milionów ton wody niefiltrowanej.

Ilość abonentów elektrowni wynosiła w lipcu 1938 roku około 244 000, a obszar zasilania — 12 000 hektarów.

4. ZAKŁADY WODNO-ELEKTRYCZNE

Każde ciało ożywione pewną prędkością może jej kosztem wykonać pracę, w szczególności każde ciało spadające. Baba do wbijania pali jest jednym doskonałym przykładem, wodospad — drugim. Ale nie tylko woda spadająca z wielkiej wysokości, może wykonać pracę, wystarczy woda płynąca w rzece; i ona zawdzięcza swą prędkość spadkowi.

Woda płynąca jest wszędzie niemal, gdzie są ludzie. Toteż ten „biały węgiel“ był wyzyskiwany od lat 2000 conajmniej. Budowano koła opatrzone łopatkami i umieszczano w stru-

mieniu; pęd wody uderzającej o łopatki obracał koła. I teraz jeszcze spotykamy często-gęsto młyny wodne. Nieco później zastosowano wiadra zamiast łopatek, a jeszcze korzystniejsze okazały się współczesne zakrzywione łopatki. Kół tych używano również przy wodospadach.

Spadek wód jest więc jednym z najdawniejszych źródeł energii, a jednak conajmniej $\frac{2}{3}$ obecnego wyzyskania sił wodnych datuje się dopiero od roku 1910. Dopiero bowiem turbina wodna, dzięki swej niesłychanej giętkości w przystosowaniu się do warunków, pozwoliła wyzyskać każdy niemal spadek wody od 3 metrów do 1500! Prócz tego możliwość przesyłania energii w postaci prądu elektrycznego na wielkie odległości, dochodzące do 500 km oraz rosnący na nią popyt uczyniły wyzyskanie sił wodnych korzystnym handlowo. Instalacje wodno-elektryczne wzrosły szczególnie podczas Wojny, kiedy chodziło o uniezależnienie się od importowanych surowców pędnych.

Zasoby energii wodnej na całym świecie szacują na 472 miliony KM, z tego wyzyskanych (według danych z roku 1935) 55, a zatem około 12%. Najwięcej energii wodnej mają Stany Zjednoczone, a mian. 42 miliony KM, z których w roku 1935 wyzyskały 38%. Największy procent wyzyskania mają Włochy i Szwajcaria, bo niemal 100! W Polsce mamy 3 650 000 KM, z których w roku 1937 wyzyskano 128 000, a więc 3,5%. W przygotowaniu znajduje się 150 000 KM.

Nie wszystkie przemysły jednakowo chętnie korzystają z energii elektrycznej pochodzenia wodnego. Przemysł elektrochemiczny, elektrometalurgiczny, papierowy, to największy jej odbiorcy, jeżeli nie liczyć kolei elektrycznych, które w przyszłości zapewne coraz obficiej będą z niej korzystały. Rolnictwo również zapowiada się jako poważny odbiorca.

Przy wielkim spadku wystarczą mniejsze ilości wody do uzyskania danej mocy, a więc mniejszy też będzie zakład.

W górzystych miejscowościach zakłady wodno-elektryczne, będą korzystniejsze. W Szwajcarii mamy na jeziorze Fully największy na świecie spadek, wynoszący około 1600 metrów! Przy wielkich spadkach wystarczy wodę odprowadzić otwartym kanałem z wysokiego poziomu do zbiornika na nieco niższym poziomie i stąd stromym rurociągiem puścić ją na turbiny (tabl. V^B).

Ale i przy małych spadkach można uzyskać wyniki nie gorsze i właściwie całkowita energia uzyskana z małych (12—15 m) spadków przewyższa energię pochodzącą z wielkich. Do wyzyskania bardzo często wybiera się rzeki górskie, kapryśne w biegu i poziomie wody, a groźne wiosennymi i jesiennymi powodziąmi, żeby za jednym zamachem obezwładnić szkodliwy żywioł i zaprząć go do służby. Buduje się w tym celu w dolinie rzeki, najczęściej w środkowym jej biegu tamę, czyli zaporę, tj. ścianę, dawniej z gliny, teraz najczęściej z betonu, tak wysoką i szeroką, żeby się przez nią nie przelała woda z góry płynąca, nawet przy swym najwyższym poziomie. W ten sposób nie dopuszcza się jej do dolnego biegu rzeki, w którym mogłaby wylać, a z drugiej strony tworzy się różnicę poziomów, czyli spadek, który właśnie można wyzyskać do napędu turbin. Przed tamą tworzy się zbiornik, a przy największych urządzeniach prawdziwe jezioro (do 13 km szerokości!). Przyrost wyzyskania energii wodnej w Polsce w ciągu trzech lat ostatnich jest właśnie zapowiedziany przez budowę tam w Porąbce (tabl. VII^B), Rożnowie i innych miejscowościach. Złagodzą one również na Podkarpaciu niebezpieczeństwa powodzi, które je co roku niemal nawiedzały.

W takim samym celu zbudowano w Stanach Zjednoczonych największą tamę na świecie na rzece Colorado (wpadającej do zatoki Kalifornijskiej) zwaną Boulder Dam, o wysokości 218, długości 385 metrów, na którą zużyto 3 300 000 m³ betonu. Po niej następuje (właśnie zakończony) Shasta Dam na rzece

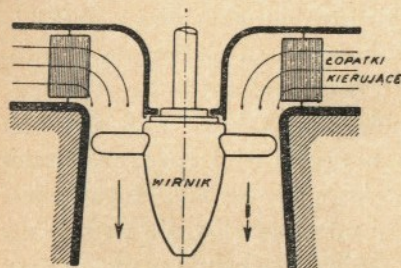
Sacramento w Kalifornii, wysokości 168 m, długości aż 930 m, na który zużyto 4,3 milionów m³ betonu. Grand Coulee Dam na rzece Columbia ma 166 m wysokości, za to 1260 m długości i 8,5 milionów m³ betonu. Czwarta z kolei pod względem wielkości jest tama Chambon we Francji, wysokości 135 m.

Zanim opiszemy urządzenie przeciętnego zakładu wodno-elektrycznego, musimy powiedzieć coś nie o jego sercu, turbinie wodnej. Dwa są typy takich turbin, akcyjna i reakcyjna.

W akcyjnej strumień wytryskujący pod ciśnieniem z rurociągu uderza w łopatki o starannie obmyślonym kształcie, umieszczone na obwodzie koła. Na tablicy IV^C widzimy turbinę typu Peltona, jedną z najbardziej rozpowszechnionych. Wydajność jej jest największa, gdy szybkość łopatek jest dwa razy mniejsza od szybkości uderzającej w nie wody. Turbina Peltona, łatwa do regulowania, jest chętnie używana przy spadkach wielkich, np. większych niż 200 m.

Działanie turbiny reakcyjnej jest oparte na zjawisku odrzutu: gdy rzucimy silnie ciężkim kamieniem, doznamy pchnięcia w przeciwnym kierunku; dlatego karabin „kopie“ po wystrzale. Jeżeli woda wypływa z wagonika otworem w jednej z jego ścian, wagonik porusza się w kierunku przeciwnym. W turbinie reakcyjnej w podobny nieco sposób woda wchodzi do koła i przepływa przez nie odpowiednio kierowana. Koło w każdej chwili jest popychane w kierunku przeciwnym do ruchu (ściślej: do przyśpieszenia) wody. We wczesnych typach woda przepływa przez koła od środka wzdłuż kanalików, opuszczając je w kierunku promienia. Później pojawiły się turbiny Francisca, w których na zewnątrz koła zastosowano łopatki kierujące, podczas gdy łopatki samego koła (robocze) są tak ustawione, że woda opuszcza koło zarazem wzdłuż osi i w kierunku promienia. Mieszany ten przepływ zapewnia równy bieg turbinie i łatwiejszą jej regulację. Używana jest najchętniej przy spadach mniejszych, do 75 metrów.

W dzisiejszych czasach zdobyła sobie wielkie uznanie turbina typu akcyjnego Kapłana, która — jak turbina Francisca — ma łopatki kierujące (rys. 22), ale na wirniku (tabl. VA) w kształcie wrzeciona ma tylko cztery łopatki robocze, których kąt z osią można zmieniać (nawet w czasie pracy) przy pomocy specjalnego motoru, nastawiając je



Rys. 22. PRZEPIY WODY PRZEZ TURBINĘ KAPŁANA

na największą sprawność. Wysoki współczynnik wydajności i wielka stosunkowo szybkość obrotowa (do 1000 obr/min) zdobyły jej pierwszeństwo dla spadów nie przenoszących 25 metrów. Wysokość ta uważana jest za górną granicę jej stosowności.

Wał turbiny może być pionowy albo poziomy, ale ostatnio częściej wybiera się pierwsze rozwiązanie, szczególnie w wielkich zakładach. Spotkamy turbinę Kapłana w układzie pionowym przy opisie zakładu „Żur“.

Już w roku 1879 lord Armstrong, pionier instalacji wodno-elektrycznych, oświetlił swój dom wiejski 45 żarówkami zasycanymi prądem z doświadczalnej elektrowni wodnej w jego posiadłości. Urządzenie jego widzieli i badali autorzy projektu wyzyskania wodospadu Niagara. Odegrało ono swą rolę w historii zakładów wodno-elektrycznych.

Jedna z najznamienniejszych kart tej historii jest właśnie związana z wodospadem Niagara. Przez 200 lat od chwili jego odkrycia ograniczano się do podziwiania go nie myśląc o ujarzmieniu tych mas wody. Dwa warunki są ważne dla zakładu wodno-elektrycznego: dobry spad i stały przepływ. Niagara spełnia oba: dwa odcinki wodospadu mają wysokości

49 i 50 m, a co sekunda około 6 000 m³ przetacza się przez jego wapienne zwały. Lecz całkowity użyteczny spad jest dwa razy większy, gdyż rzeka Niagara od jeziora Erie do Ontario spada o 100 metrów, co odpowiada energii mechanicznej 8 milionów KM.

Pierwszy projekt wyzyskania tej energii datuje się z r. 1842 i pochodził od Augusta Portera, który proponował odprowadzanie kanałami wody z górnego poziomu do szeregu wielkich kół wodnych. Po długich przygotowaniach zbudowano kanał szeroki na 10 m, głęboki na 2,4, a długi na 1320 m i w roku 1835 otrzymano już 10 000 KM. W roku następnym uzyskano koncesję na użytkowanie dalszych 20 000 KM, a nieco później rząd kanadyjski zezwolił na wyzyskanie 250 000 KM po swojej stronie wodospadu. W obecnej chwili użytkowuje się około 1/4 całego strumienia rzeki, mniej więcej 1 500 m³ na sekundę. Część uzyskanej energii zostaje zużyta na miejscu w wielkich zakładach przemysłowych, reszta zostaje przekazana na wielkie odległości po transformowaniu na wysokie napięcie.

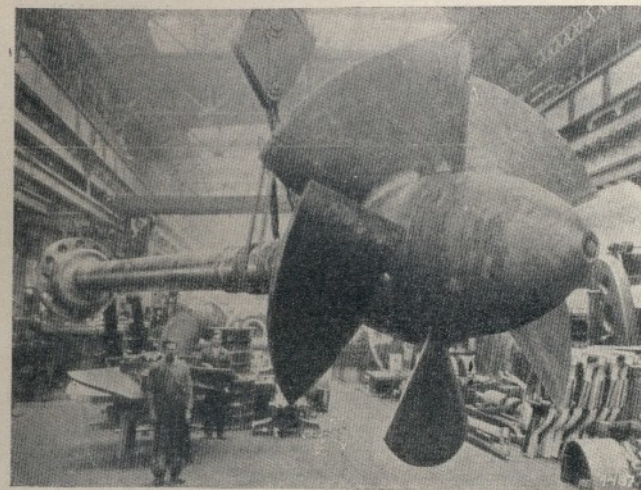
Trzy wielkie zakłady wodno-elektryczne produkują u stóp Niagary. Największy z nich (Queenston) odprowadza wodę z punktu powyżej wodospadu na 12 mil kanałem w dół rzeki i uzyskuje spadek 88 m, dwa razy niemal przenoszący spadek samego wodospadu. Z kanału przez 9 układów otworów potrójnych, osłoniętych kratami dla zatrzymania odłamków i gruzu, woda wpływa do stalowych rur cisnących (tabl. VB) o średnicy 5 m i długości 115 m, a z nich uderza o łopatki pionowych turbin. Zakład jest olbrzymim dziewięciopiętrowym budynkiem żelbetowym, a turbiny znajdują się oczywiście na samym jego spodzie. Każda jednostka (tabl. VIIA) składa się z turbiny, prądnicy i wzbudnicy. Szybkość obrotowa jej przy największej produkcji jest 187 1/2 na minutę. Moce turbin są od 55 000 do 63 000 KM, moc całkowita 550 000 KM. Ge-

neratory (tabl. VIIA, III^B) znajdują się nad turbinami, z którymi są oczywiście sprzężone bezpośrednio. Nad główny pokład wystają tylko wzbudnica i górne łożyska główne, które podtrzymują wirujące części turbiny, prądnicy i wzbudnicy, razem ok. 140 ton. Ciężar całkowity jednostki wynosi 1044 tony.

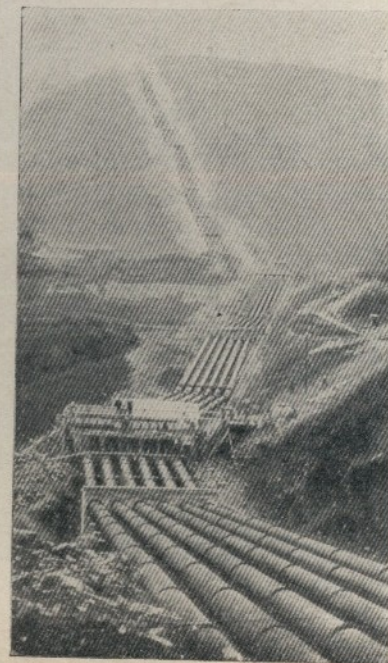
Odbierany z prądnicy prąd trójfazowy ma 12 000 woltów i 25 okresów na sekundę. Przechodzi on przez transformatornię, z której wychodzi z napięciem 110 000 woltów. Przewodniki aluminiowe prowadzą go dalej do szyn zbiorczych na dachu budynku, a stąd w górę do wież stalowych na górnej krawędzi stoku. Wreszcie z wież biegnie przewodami na obszar zasilany.

Z zakładów zbudowanych przy tamach największy jest przy tamie Boulder, która współdziałała przy regulacji rzeki Colorado, najbardziej może burzliwej na świecie. W środkowym jej biegu przedziera się ona przez kilka wąwozów, m. in. przez Grand Canyon długości 320 km i głębokości 1,6 km. Na ostatnim z nich, Black Canyon, zbudowano ścianę betonową, łukowatą, ciągnącą się między dwiema pionowymi niemal ścianami wąwozu. Podawaliśmy już, że wysokość jej jest 218, długość 385 m, a objętość 3,3 miliona m³. Spoczywa ona na skalistym gruncie, sięgając na 45 m pod łożysko rzeki. Olbrzymi zbiornik, który się przed tamą tworzy, może zmieścić dwuletni upływ wody w rzece. Spiętrzone wody tworzą jezioro ciągnące się w górę rzeki na 185 km, o szerokości dochodzącej do 13 km, a głębokości do 174 m.

Jezioro to nie tylko wyłącza możliwość powodzi w dolnym biegu rzeki, ale ponadto zapewnia irygację otaczającym polem uprawnym. Zakład znajduje się tuż pod tamą, a woda ze zbiornika spływa do niego kanałem o średnicy 17 m, do którego wpływa przez zamek wodny z 4 wież, po dwie z każdej strony wąwozu. Maszynownia zawiera 15 zespołów



A. WIRNIK TURBINY
KAPLANA W ŻURZE
(60 000 KM)



B. WIELKIE RURY CI-
SNĄCE ZAKŁADU WO-
DNO-ELEKTRYCZ-
NEGO
nad jeziorem Leven
w Szkocji

TABLICA VI



ZAKŁAD WODNO-ELEKTRYCZNY W ŻURZE Z LOTU PTAKA
 Widac Wdę, kanał, na pierwszym planie na prawo zamek wodny i elektrownia, na lewo rozdzielnia pod gołym niebem z tabl. IVA.

po 115 000 KM każdy i dwa pomocnicze o mocy 55 000 każdy.

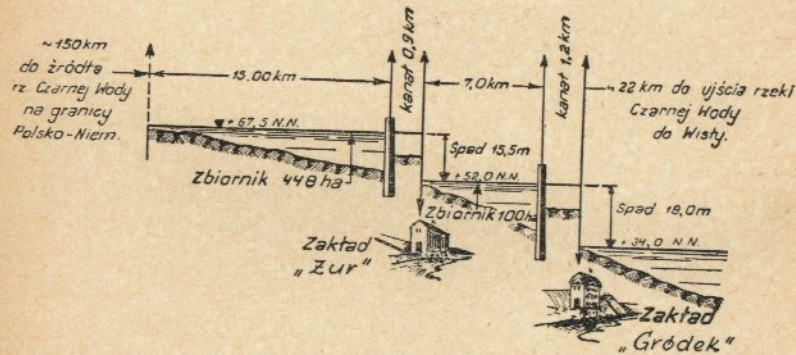
Na wielkich dorzeczach, gdzie istnieje sieć małych zakładów, urządza się je automatycznie, aby zaoszczędzić kosztów personelu. W roku 1917 zbudowano pierwszą taką stację w Stanach Zjednoczonych (Iowa). Zawiera ona 3 turbozespoły o 500 kW przy spadku 3 m. Zmiana poziomu wody za zaporą wywołuje dzięki specjalnym pływakom albo włączenie albo wyłączenie turbin. Prócz tego można zespoły uruchamiać na odległość z centrali przez zastosowanie elektromagnesów, które włącza się przez naciśnięcie guzika w centrali. Stosuje się również często kombinację zakładów wodnych z parowymi, żeby zapewnić w sieci jednostajność obsługi, niezależnie od poziomu wody. Tak u nas na Pomorzu elektrownia parowa „Gródka“, którą już opisywaliśmy, współpracuje z dwoma zakładami wodno-elektrycznymi „Żur“ i „Gródek“, które teraz krótko opiszemy.

5. POMORSKIE ELEKTROWNIE WODNE

O 25 km na zachód od Grudziądza znajduje się zakład wodno-elektryczny „Gródek“, a 7 km dalej w górę rzeki Wdy (Czarnej Wody), lewego dopływu Wisły, jego bratni zakład „Żur“ (tabl. VI). Oba te zakłady wspólnie ze znaną nam już elektrownią parową „Gródka“ w Gdyni elektryfikują większą część Pomorza.

Zapora wodna w Żurze (rys. 23) odcina od dawnego koryta rzeki utworzony za jej sprawą zbiornik o długości 15 km, powierzchni 448 hektarów i pojemności ponad 14 milionów m³. Wysokość tej zapory wynosi 18 m, szerokość na górze 20 m, a długość 160 m. Zapora jest ziemna i posiada przepusty do przepuszczania nieregularnego nadmiaru wody burzowej. Do zamku wodnego (tabl. VI) doprowadza wodę kanał wybetonowany o długości około 900 m, zaopatrzonej

w zasuwę. Z zamku wodnego woda biegnie do centrali przez dwie rury żelbetowe o średnicy 4 m i długości 50 m. Spad wynosi 15,5 m, zakład wyzyskuje jednak tylko 14,8. W rurociągach przyrządy mierzą szybkość wody. Woda jest następnie kierowana do dwu turbin pionowych systemu Kapłana (tabl. VA) o mocy 6 000 KM każda, sprzężonych z prądnicami po 6 000 KM i o napięciu 6 600 voltów. Sprawność ich wynosi około 85%. Zakład produkuje średnio 13,3 milio-



Rys. 23. SCHEMATYCZNY PROFIL ZBIORNIKÓW WODNYCH I SPADÓW ZAKŁADÓW WODNO-ELEKTRYCZNYCH W ŻURZE I GRÓDKU

na kWh rocznie. Po przejściu przez turbinę, woda wraca do dawnego łóżyska rzeki i płynie nim do zbiornika gródeckiego. Rozdzielnia w Żurze jest umieszczona pod gołym niebem (tabl. IVA) zgodnie z współczesnymi tendencjami. Transformuje ona prąd z 6 000 na 60 000 V.

Zbiornik w Gródku ma powierzchnię tylko 100 ha, a pojemność 6 milionów m³. Ze zbiornika woda płynie kanałem (rys. 23) o długości 1200 m, który spina cięciwą pętlę o długości 5 km, utworzoną tu przez Wdę. Szerokość zwierciadła kanału wynosi 13 m, głębokość 3. Spadek wynosi 18 m; jest to oczywiście spadek wody na długości 12 km (7 km od

zbiornika w Żurze, 5 km pętli). Biegące przez kanał dwa mosty są zaopatrzone w zasuwę do jego zamykania. W zaporze przelewy burzowe i przepusty pozwalają przepuścić niepożądany nadmiar wody. Woda z kanału przechodzi do szybów żelbetowych, w których są ustawione, jako zatopione, trzy turbiny bliźniacze systemu Francisa, 2 po 1 720 KM, jedna o mocy 2 130 KM. Turbiny są sprzężone bezpośrednio z prądnicami, z których dwie mają napięcie 3 150 V, a jedna 3 000 V. Zakład może produkować około 15,2 miliona kWh rocznie. Prąd zostaje transformowany na 15 000 V i na 60 000 V i przesyłany przewodami napowietrznymi. Dwa z nich łączą Gródek i Żur między sobą i przenoszą prąd o napięciu 60 000 V.

Współpraca trzech elektrowni, z którymi współdziałają jeszcze elektrownie parowe w Grudziądzu i Toruniu, ma na celu rozłożenie obciążenia na poszczególne zakłady z największą możliwą sprawnością. Zakład w Żurze służy do pokrywania szczytów obciążenia w razie wysokiego zapotrzebowania, natomiast zakład w Gródku pracuje stale, przez całą dobę. Zakłady parowe pracują również możliwie równomiernie.

W budowie znajduje się u nas obecnie kilka innych zakładów wodno-elektrycznych. Wybudowano już na Sole w Porąbce zaporę (tabl. VII^B), zamykającą jezioro o pojemności 32 milionów m³, stwarzającą spadek 19 m. Moc zainstalowana wyniesie 20 000 kW, a produkcja roczna 25 mil. kWh. W budowie znajduje się tama w Rożnowie na Dunajcu, która da spadek 31,5 m, a utworzy zbiornik o pojemności 228 mil. m³. Przewiduje się tam moc 50 000 kW i produkcję 145 mil. kWh rocznie. Również na Dunajcu, w Czchowie buduje się już zakład, który da zbiornik 14 mil. m³ i przy mocy 10 000 kW będzie produkował 48 mil. kWh rocznie. W Myczkowcach na Dunajcu powstanie zakład, wyzyskujący spadek 11,5 m, o mocy 4 000 kW i produkcji 22 mil. kWh rocznie. Wreszcie w Solinie

na Sanie, przy spadzie 45 m a zbiorniku 170 mil. m³, będziemy mieli 25 000 kW, z produkcją 70 mil. kWh rocznie.

6. PRZESYŁANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Z przekazywaniem energii elektrycznej łączą się liczne i wielkie trudności bardzo różnej natury. Niektóre z nich są związane ze skomplikowanymi fizycznie i matematycznie przebiegami w sieci i z warunkami jej równowagi elektrycznej i o tych tu mówić nie będziemy. Inne łatwiej możemy zrozumieć.

Poza sprawami mechanicznymi, jak odporność słupów i przewodów na wiatr i wpływy atmosferyczne, najważniejsza jest sprawa izolacji przewodów. Już wspominaliśmy, że ekonomiczne przesyłanie energii elektrycznej na wielkie odległości wymaga wysokiego napięcia (ok. 500 V na każdy km linii) i że przed opuszczeniem elektrowni prąd zostaje na to napięcie przekształcony. Z wysokim napięciem są jednak związane różne niebezpieczeństwa. Powstaje tzw. „korona“, rodzaj poświaty dokoła przewodników, powodująca straty energii. Prąd łatwo „ucieka“ do ziemi albo przedmiotów z nią połączonych (tabl. VIII^A), często rażąc śmiertelnie ludzi. Żeby temu zapobiec, stosuje się izolatory, których budowa została starannie obmyślona i wyprowadzona z licznych i pracowitych badań w pracowniach naukowych. Następnie „krótkie spięcie“, tj. zamknięcie się obwodu przez bardzo mały opór, które ściąga cały niemal prąd do obwodu tego zamknięcia, jest tu szczególnie niebezpieczne: poszukiwanie tego miejsca i mechaniczne rozłączanie pociągnęłoby za sobą olbrzymie straty. Konieczne jest więc urządzenie automatów, któreby wyłączały takie obwody. Automaty takie, często wielkie i skomplikowane konstrukcje, działają na rozmaitych zasadach: reagują na podwyższenie się temperatury, albo na zbyt wysokie lub zbyt niskie napięcie czy natężenie, mają

różne opóźnienia. Często pracują one w oleju, by zapobiec powstawaniu łuku elektrycznego, uniemożliwiającego przewrwanie obwodu (str. 49).

Niezmiernie ważna jest ochrona linii od piorunów i błyskawic. Polega ona na odprowadzeniu ładunku elektrycznego z atmosfery do ziemi przez dostatecznie odporne przewody. Odpowiednie urządzenia były opracowywane w laboratoriach badawczych wielkich zakładów elektrycznych. Ażeby naśladować rzeczywiste warunki możliwie dokładnie, tworzono sztuczne błyskawice. Nie jest to rzecz łatwa, bo wytwarzają one w przewodach napięcia do 100 milionów woltów, prąd do 100 tysięcy amperów i moce, rozwijane przy wyładowaniach niezmiernie przecie krótkich, dochodzą do 10 milionów kilowatów. Przy pomocy specjalnie zbudowanych prądnic i kondensatorów osiągnięto w General Electric Company olbrzymie napięcia, dochodzące do 3 milionów woltów, które wyładowano na model wioski (tabl. IX^A). W jednym z takich doświadczeń na krótką chwilę wyładowania stworzono moc 10 milionów KM, która z całą furią uderzyła w ów model (tabl. IX^B). Ściany pracowni były wyłożone stalą, ażeby uchronić wewnątrz od wszelkich wpływów elektrycznych z zewnątrz. W pracowni tej można było nawet wytworzyć sztuczny deszcz. Po nieskończonych ostrożnościach wykonano ów eksperyment, oczywiście przy zgaszonych światłach. Trzy potężne transformatory, na których było około 150 km uzwojenia, umieszczone w zbiorniku, zawierającym 200 000 litrów oleju, podniosły napięcie do 2 milionów woltów. Rozległo się osobliwe, wzmagające się dudnienie, przewody zaczęły się żarzyć i przy silnym syku ukazała się dokoła przewodników świecąca korona. Między prętami na wieżach dźwigających przewody wysokiego napięcia, ukazały się dziwaczne płomieniste języki, a za nimi oślepiające koronki światła (tabl. X^A) co chwila przeszywające powietrze. Wreszcie z ogłuszającym

hukiem i potężnym błyskiem energia milionów koni mechanicznych przebiła warstwę powietrza, grubości czterech i pół metra, uderzając w przygotowany dla niej cel (tabl. XB).

Zabezpieczenie przed piorunami uzyskuje się przez uziemienie słupów zapomocą przewodników z luką, której nie przebijają zwykłe napięcia w sieci. Napięcie wywołane przez ładunki chmur w przewodach rośnie niemal proporcjonalnie do wysokości przewodów i dochodzi do 150 000 V na każdy metr wysokości, a nawet do wartości dwukrotnie większej. Nie jest więc rzeczą bardzo trudną nastroić owe odgromniki na te napięcia.

W przewidywaniu coraz to wyższych napięć na liniach przesyłowych już w roku 1910 w General Electric Company badano doświadczalne linie na 250 000 woltów. Ale dopiero w 1921 r. użyto w Kalifornii napięcia 220 000 do przesyłania prądu. We wrześniu 1921 roku badano już przesyłanie pod napięciem miliona woltów i stwierdzono wielkie trudności. Ale wiedza nasza o zachowaniu się prądów najwyższego napięcia posuwa się stale i opisane doświadczenie z dwoma milionami woltów przyniosło cenne dane o niezbędnej wysokości wież, grubości przewodów itd.

220 000 woltów to do tej chwili największe zastosowane przy przesyłaniu napięcie. Warto zauważyć, że nie ma teraz trudności technicznych, któreby nie pozwalały na jego przekroczenie. Odgrywają tu rolę raczej względy ekonomiczne: zastosowanie 220 000 wolt opłaca się dopiero przy przesyłaniu mocy nie mniejszej niż 100 000 kilowatów.

W Polsce pierwsza linia przesyłowa bardzo wysokiego napięcia w wielkim stylu została zakończona z rokiem 1937. Obliczona na 150 000 woltów, biegnie od wielkiej elektrowni okręgowej zakładu elektrycznego w Mościcach pod Tarnowem (o mocy 24 000 kW) na 116 km do Starachowic. W budowie znajduje się obecnie przedłużenie tej linii do Warsza-

wy na 146 km. Przewiduje się również połączenie podobną linią Rożnowa wraz z Czchowem z Mościcami, po czym Warszawa będzie włączona w zasięg energii sił wodnych Podkarpacia. Linia ta między innymi będzie obsługiwała zelektryfikowany węzeł kolejowy warszawski.

Projekt jej został opracowany całkowicie o własnych siłach przez biuro techniczne ZEORKu (tj. Zjednoczenia Elektrowni Okręgu Radomsko-Kieleckiego). Budowa, której koszt wyniósł ponad 9 mil. złotych, tylko w 13% korzystała z materiałów importowanych. W szczególności w kraju zostały wykonane olbrzymie transformatory z 6 000 na 150 000 woltów (każdy o objętości 200 m³ i zawartości oleju 70 ton!). Warto zauważyć, że na ten poziom przemysł polski wznosił się skokiem, gdyż poprzednio największe (a tylko okolicznościowo) wykonane jednostki transformowały tylko na 60 000 V.

Energia elektryczna w Mościcach zostaje przetworzona z 6 000 na 150 000 woltów, a na stacji w Starachowicach — z 150 000 na 33 000, po czym biegnie do sieci okręgowej radomsko-kieleckiej. Stosowano m. in. izolatory porcelanowe o 11 ogniwach i średnicy talerza od 254 do 285 mm. Na tabl. VIII^B widzimy słup specjalnego kształtu, podtrzymujący długie przesło, biegnące przez Wisłę.

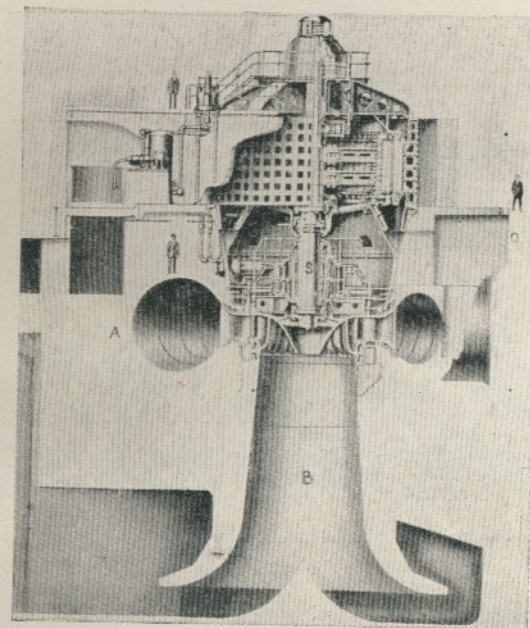
Ważniejsze manipulacje elektryczne są sterowane z odległości i z jednego miejsca można dokonać wszystkich możliwych włączeń i wyłączeń, a więc dzielić dowolnie energię dzięki odpowiednim kluczom i kołom. Każdy aparat sygnalizuje samoczynnie albo wykonanie rozkazu, albo też niemożność jego wykonania z powodu pomyłki nastawiającego. Dyżurny może również w każdej chwili sprawdzić, jakie aparaty pracują, a wszelką zmianę czy uszkodzenie sygnalizuje alarm. Przy większych uszkodzeniach aparat zostaje samoczynnie wyłączony, następuje alarm, a specjalny przyrząd wskazuje i notuje odległość od stacji do miejsca uszkodzenia, ażeby uła-

twić jego odnalezienie. Przewody sygnalizacyjne posiadają łączną długość około 60 km, a przy ich montażu wykonano około 10 000 łączy.

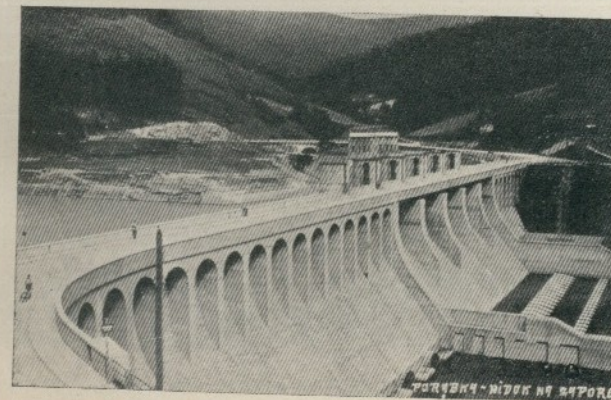
7. ELEKTRYFIKACJA POWSZECHNA

Co nam dotąd dała elektryczność, jest niczym w porównaniu z rolą, którą już w niedalekiej może przyszłości odegra w rozwoju ekonomicznym narodów i ludzkości, na drodze ku powszechnemu dobrobytowi. Dobrobyt wymaga taniego i łatwo dostępnego źródła energii w rolnictwie, przemyśle wielkim i drobnym, wreszcie w życiu domowym. Otóż mądra organizacja produkcji elektrycznej w ramach państwa, a nawet całego kontynentu, może zapewnić w najodleglejszych jego zakątkach energię elektryczną tańszą kilkadziesiąt razy niż obecnie. Nie trzeba się rozwodzić nad tym, jak zmieniałaby taka organizacja życie ubogiego teraz rolnika albo drobnego rzemieślnika.

Rzecz jasna, że w żadnej innej postaci niż elektryczna nie dałaby się energia rozprzewadzić po wszystkich osiedlach wielkiego obszaru. Ale nie od razu może widać, dlaczego jest tu potrzebna mądra organizacja, a nie wystarczy budowanie możliwie wielkiej ilości zakładów elektrycznych, korzystających z takiego źródła energii, jakie jest pod ręką. Żeby to zrozumieć, trzeba wiedzieć, że ześrodkowanie produkcji prądu w wielkich zakładach daje olbrzymie oszczędności. Przede wszystkim nie wiele jest miejsc, które nadają się w wysokim stopniu na siedlisko takiego zakładu; nie tylko bowiem bliskość węgla jest ważna, ale nie mniej bliskość wody do chłodzenia, bez której nie będzie nawet średniej wydajności. Wyposażenie wielkich jednostek jest stosunkowo tańsze niż mniejszych, bo pewne elementy są jednakowe we wszystkich. Podobnie personel jest w wielkim zakładzie, proporcjonalnie licząc, bez porównania mniejszy, niż w małym.

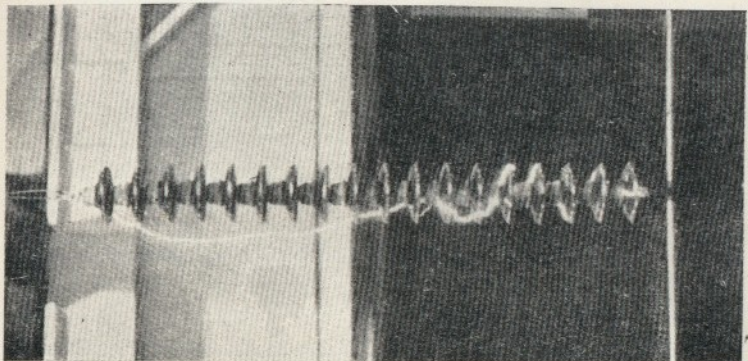


A. PRZEKRÓJ ZESPOŁU WODNO-ELEKTRYCZNEGO
Woda wchodzi przez otwór A, przepływa przez zężający się kanał, otaczający pierścieniem wał turbiny S i odplywa przez B. Prądnicą znajduje się u góry

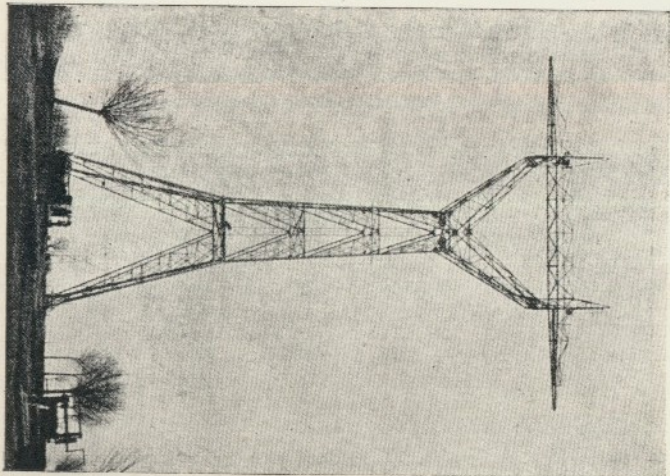


B. ZAPORA W PORABCE NA SÓLE
Długość 260 m, szerokość 84 m

TABLICA VIII



4. DZIAŁANIE BŁYSKAWICY NA NIE-
ZABEZPIECZONY IZOLATOR
Doświadczenie to wykazało, że izolator
może być uszkodzony przez błyskawicę

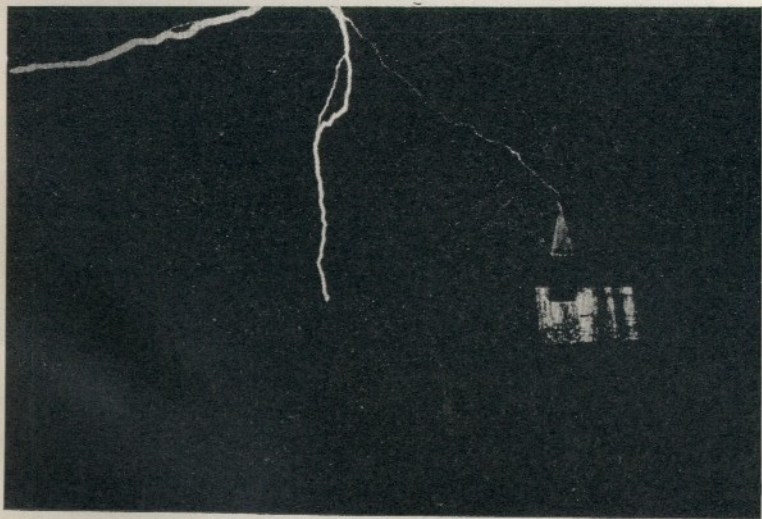


B. SŁUP SPECJALNY LINII PRZESYŁOWEJ MOŚCI-
CE-STARACHOWICE O NAPIĘCIU 150 000 WOLTÓW
Słup ten podtrzymał przez Wisłę o dużej
rozpiętości

TABLICA IX

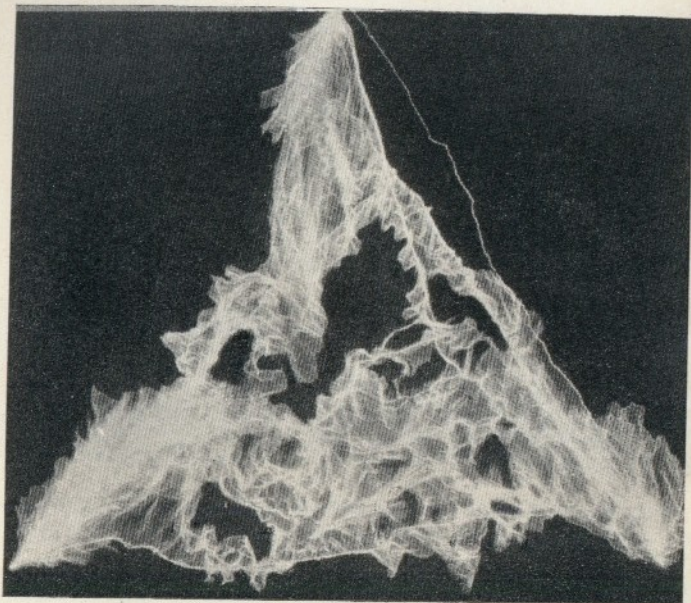


A. MINIATUROWE MIASTECZKO DO DOŚWIADCZEŃ Z SZTUCZNYMI BŁYSKAWICAMI
Zawiera on w odpowiedniej skali nawet elektryczną linię przesyłową i tor kolejowy

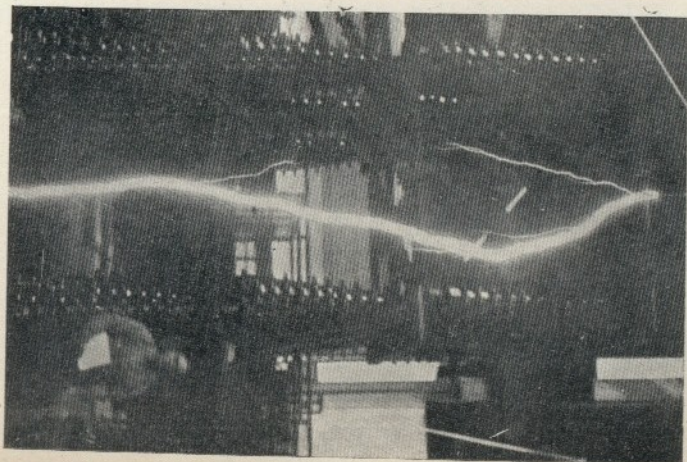


B. BŁYSKAWICA O NAPIĘCIU 2 MILIONÓW WOLTÓW UDERZAJĄCA W POWYŻSZY
MODEL

Doświadczenia nad najlepszą ochroną przed błyskawicami



A. PIĘKNE WYŁADOWANIE ELEKTRYCZNE PRZY NAPIĘCIU PRZESZŁO MILIONA WOLTÓW
Napięcie to jest przyłożone w trzech punktach odległych wzajemnie o 3 metry

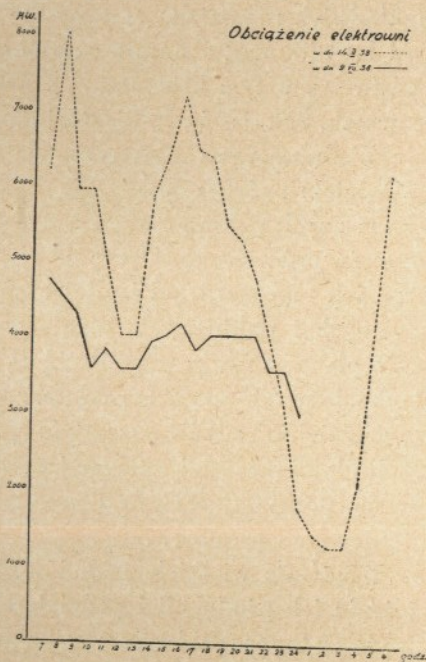


B. SZTUCZNA BŁYSKAWICA PRZY NAPIĘCIU PRZESZŁO 3 MILIONÓW WOLTÓW

A oto jeszcze jeden niezmiernie ważny powód, dla którego jest niezbędna organizacja. Mały czy wielki zakład, pracujący samodzielnie, musi być obliczony na największe, tzw. szczytowe obciążenie, chociaż to szczytowe obciążenie może być rzadkie (por. rys. 24,

przedstawiający wahania obciążenia dziennego elektrowni tramwajowej w Warszawie), wobec tego sam jeden pracowałby przeważnie w mniejszej skali niż to odpowiada jego urządzeniom. Łączna zdolność produkcyjna kilku niezależnych zakładów musi być tak wielka, jak suma szczytowych obciążeń wszystkich zasilanych obszarów. Tymczasem szczytowe obciążenie wszystkich tych obszarów łącznie będzie na ogół o wiele mniejsze niż ta suma, gdyż nie wszystkie będą jednocześnie pracowały z ma-

ksymalnym zapotrzebowaniem. Poza tym zorganizowanie współpracy między zakładami wodnymi i parowymi, jak to widzieliśmy na przykładzie elektrowni pomorskich, pozwala rozprowadzać obciążenie wygodnie między różne zakłady, zapewniając każdemu wielką jednostajność produkowanej mocy.



Rys. 24. WYKRES OBCIĄŻENIA ELEKTROWNI TRAMWAJOWEJ W WARSZAWIE W DNIACH 14.II I 9.VII. 1938 R.

Wreszcie współpraca zakładów daje obsługę zabezpieczoną przed unieruchomieniem jakiegoś zakładu na skutek wypadku: zakłady bratnie przejmują wtedy jego obciążenie. Ale współpraca taka wymaga oczywiście uzgodnienia produkcji pod względem napięcia, natężenia, częstotliwości prądu.

Jakkolwiek rozumiano to wszystko już przed wojną, dopiero od lat kilkunastu datuje energiczna inicjatywa publiczna i państwowa w tym kierunku. W Wielkiej Brytanii, Francji, Niemczech, Szwajcarii, Italii, Rosji Sowieckiej, Kanadzie i Stanach Zjednoczonych elektryfikacja pod nadzorem i przy współudziale państwa postępuje bardzo szybko. W Stanach Zjednoczonych połowa energii zużywanej w fabrykach jest pochodzenia publicznego. Oczywiście w różnych krajach, zależnie od ich topografii, od istniejących już przedtem zakładów prywatnych i publicznych, różnie ona przebiega, ale główne zasady planu rozwoju gospodarki są wszędzie następujące:

- 1) Budowa olbrzymich zakładów elektrycznych w sąsiedztwie wielkich ośrodków przemysłowych.
- 2) Budowa wielkiej, głównej sieci przewodów wysokiego napięcia, pokrywającej cały obszar państwa, z odgałęzieniami do mniejszych ośrodków.
- 3) Włączenie wielkich zakładów do tej sieci przy ujednostajnieniu ich produkcji i podziale obciążenia.

Czasem z topografii kraju wynika podział na kilka większych obszarów w pewnym stopniu przynajmniej od siebie niezależnych; tak jest we Francji, Stanach Zjednoczonych, Rosji Sowieckiej. U nas planowany przebieg elektryfikacji przewiduje przede wszystkim fazę elektryfikacji okręgowej, w której rozbudowuje się sieci średnio wysokiego napięcia na mniejszych, w naturalny sposób ograniczonych okręgach, a później zespolenie ich między sobą przy pomocy dalekosiężnych linii przemysłowych bardzo wysokiego napięcia. Budowę jednej takiej linii rozpoczęto już „na zapas“, a jeden jej odcinek — Mo-

ście-Starachowice — zakończony i czynny, opisaliśmy już wyżej. Linia ta będzie pierwszym odcinkiem tzw. podkarpaccich szyn zbiorczych, które będą biegły od złóż węglowych na Górnym Śląsku (tu największa obecnie w Polsce elektrownia w Łazickach Górnych na 87 000 kW) do Lwowa przez Kraków, Mościce, Rzeszów i Przemyśl. Te szyny zbiorcze będą zasilane przez elektrownie wodne Podkarpacia, a od nich będą biegły linie przesyłowe na północ po obu stronach Wisły. Schemat ten stanowi załączek przyszłej wielkiej państwowej sieci rozdzielczej bardzo wysokiego napięcia, która pozwoli połączyć z sobą źródła energii z miejscami, gdzie wiele jej potrzeba, i naprawić niemądry stan rzeczy, że są one tak daleko od siebie.

Zasada bliskości ośrodków przemysłowych od źródeł energii została zastosowana przy budowanym obecnie Centralnym Okręgu Przemysłowym w widłach Wisły i Sanu dokoła Sandomierza. Będzie to okrąg elektryfikacyjny, oparty o zakład wodny w Rożnowie i od samego początku planowo pomyślany. Z innych okręgów, w których elektryfikacja posunęła się już daleko, trzeba wymienić okrąg radomsko-kielecki (gdzie działa wspomniane już Zjednoczenie Elektrowni Okręgu Radomsko-Kieleckiego — „ZEORK“), w którym z końcem roku 1938 mają być zelektryfikowane wszystkie osiedla ponad 3 000 mieszkańców. O elektryfikacji okręgu pomorskiego mówiliśmy już szczegółowo przy opisie elektrowni Gródek, Żur i Gródka; przewiduje się tam w roku 1938 zelektryfikowanie znacznej części wybrzeża morskiego.

Zgoda buduje, niezgoda rujnuje: gdyby nie ciągle zatargi między narodami europejskimi, mógłby wreszcie zostać wykonany wspaniały plan międzynarodowej sieci europejskiej, przedstawiony na międzynarodowym kongresie energetycznym w Berlinie w roku 1930. Nie trzeba powtarzać, że jednostajność obciążenia na obszarze całego kontynentu jest bardzo

duża wskutek różnic klimatycznych i nawet astronomicznych: między skrajnymi punktami kontynentu różnica czasu wynosi przeszło 3 godziny, co zapewnia bardziej jednostajne i długotrwałe zużycie prądu do oświetlenia. Sieć miałaby się składać z trzech linii z północy na południe i dwóch z zachodu na wschód. Napięcie w sieci ma wynosić 400 000 voltów, moc przesyłana 450 000 kWh, koszt jednej kilowatgodziny na miejscu użytkowania 3,4 grosza, podczas gdy w Warszawie wynosi teraz od 45 do 12 groszy.

ROZDZIAŁ III

OŚWIETLENIE ELEKTRYCZNE

1. ODKRYCIE ŚWIATEŁA ŁUKOWEGO

Wkrótce po ogłoszeniu odkrycia Volty pewien skromny laborant w Bristolu, Humphry Davy¹³ zbudował sobie prymitywny stos voltaiczny. Zabawiając się nim odkrył, że przy przerywaniu obwodu powstają jasne iskry elektryczne, i to szczególnie jasne, gdy za elektrody w miejscu przerwy wziąć dobrze zwęglone drzewo. Był to początek pracy naukowej wielkiego uczonego angielskiego. W roku 1802 wykładając już chemię w Instytucie Królewskim, demonstrował owo światło węglowe przy pomocy baterii ze 150 ogniw. W sześć lat później bez trudu uzyskał z prywatnych darów sumę potrzebną do budowy baterii z 2 000 ogniw. Pozwoliła mu ona zademonstrować oślepiające, długotrwałe światło, łączące łukiem dwie płytki z węgla drzewnego. Rzecz jasna, że narzucała się myśl wyzyskania tego zjawiska do oświetlenia, ale w owych czasach jedynym możliwym źródłem prądu była bateria elektryczna, której koszt w odpowiednich rozmiarach pozbawiał ten pomysł wszelkiego znaczenia praktycznego. Nie pomogły tu żadne pomysły ulepszenia, lampa łukowa musiała czekać na odegranie swej roli aż do pojawienia się prądnic. Stało się to dopiero w roku 1850. Jednym z pierwszych miejsc, gdzie ją ustawiono z powodzeniem, był Place de la Concorde w Paryżu.

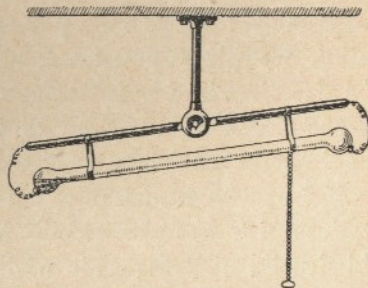
Łuk między palczkami węglowymi wywołuje iskra powstająca, gdy je z sobą zetknąć i rozłączyć. Drobnutkie cząstecz-

ki węgla, rozpylone przez tę iskrę, tworzą niejako most między obu węglami, gdy je oddalić od siebie. Do światła łukowego można stosować prąd stały albo zmienny, ale w każdym razie obie pałeczki węglowe ulegają zużyciu. Szybkość zużycia zmniejsza się znacznie, jeżeli zamknąć łuk w odpowiednim naczyniu: tlen wewnątrz naczynia spala się szybko, a rozgrzane gazy nie dopuszczają nowego tlenu z zewnątrz, dopóki lampa się pali. Przy prądzie stałym elektroda dodatnia zużywa się mniej więcej dwa razy szybciej niż ujemna, gdyż cząsteczki przebiegają od pierwszej do drugiej. Przy prądzie zmiennym obie pałeczki wciąż zmieniają swe role i zużywają się — rzecz jasna — w tym samym stopniu. W miarę zużycia elektrod długość łuku się powiększa i po przekroczeniu pewnej granicy łuk gaśnie. Żeby temu zapobiec, wprowadzono urządzenie automatyczne, zbliżające elektrody równoległe z ich zużyciem. Automatycznie zresztą odbywa się również zetknięcie i rozdzielenie elektrod w pierwszym momencie zapalania lampy łukowej.

W pierwszych latach bieżącego stulecia używano powszechnie lamp łukowych, gdy potrzebne było silne światło, a więc do oświetlenia ulic, dworców, przed teatrami, wielkimi sklepami itd. Lecz obecnie wyparły je zwykłe lampy żarowe o wielkiej sile, znacznie ulepszone w ciągu kilku ostatnich lat. Lamp łukowych używa się jeszcze do reflektorów na statkach wojennych, przy przejrzystym powietrzu sięgają one do 3 przeszło kilometrów, dając do 40 000 świec.

Pewną odmianę lampy łukowej zawdzięczamy inżynierowi amerykańskiemu, P. Cooper Hewittowi¹⁰ (1901). I ona posiada elektrody, ale światło nie od nich pochodzi, lecz całkowicie od rozżarzonej pary rtęci. Jest to tzw. lampa rtęciowa, dziś używana do celów specjalnych, gdyż światło jej jest szczególnie bogate w promienie pozafioletkowe. Składa się

ona z długiej szklanej rury próżniowej, zawierającej drobną ilość rtęci (rys. 25). Do każdego końca tej rury wtopiony jest drucik platynowy, połączony z jednym z biegunów źródła prądu. Lampa jest zawieszona w lekkiej armaturze metalowej, urządzonej tak, że można ją przechylać dowolnym końcem w dół przez pociągnięcie sznura. Normalne położenie lampy jest niecałkowicie poziome, jest ona lekko przechylona, tak że rtęć zbiera się w jednym jej końcu, stykając się z jednym z drucików platynowych. Zapalamy lampę przez przechylenie jej przeciwnym końcem w dół. Rtęć spływa wąskim strumieniem i w chwili, gdy dotyka drucika platynowego w drugim końcu, obwód się



Rys. 25. LAMPA RTĘCIOWA
W rurze rozżarzona para rtęci

zamyka. Wtedy przywracamy lampie jej pierwotne położenie. Gdy rtęć odrywa się od drugiego drucika, wracając do pierwszego końca rurki, prąd musi płynąć przez tworzącą się „próżnię“ tj. przestrzeń wypełnioną parą rtęci, powstałą na skutek ciepła, wytworzonego przez prąd początkowy. Para rozżarza się i świeci oślepiającym światłem. W zwykłym wykonaniu długość lampy wynosi około metra i zależnie od siły prądu daje 500 do 300 000 świec.

Inna znowu ciekawa lampa, w której również świeci para, zawiera w wysokiej próżni neon, dość rzadki gaz, odkryty przez Williama Ramsaya¹¹. Światło tej lampy nie zawiera wcale promieni niebieskich i jest uderzająco czerwone. Lamp neonowych używa się głównie do reklamy, a kolor ich służy temu celowi w doskonały sposób. Widzimy je bardzo często w wielkim mieście z nastaniem zmroku.

2. ŻARÓWKA ELEKTRYCZNA

Światło łukowe było zbyt silne do użytku domowego i dopiero z wynalezieniem przez Edisona żarówki elektrycznej palące zagadnienie wygodnego oświetlenia pokoju mieszkalnego doczekało się rozwiązania. W roku 1878 rozpoczął on próby zastąpienia gazu świetlnego powszechnie wówczas używanego, przez lampę zasilaną prądem elektrycznym. Punktem wyjścia był fakt, że opór, pokonywany przez prąd w przewodniku, wywołuje powstawanie ciepła. Jeżeli przewodnik jest bardzo cienki, opór ten może okazać się tak wielki, że wytworzone ciepło rozżarzy go do białości. Trudność polegała na znalezieniu materiału o tak wysokim punkcie topliwości, żeby zniósł wysoką temperaturę żarzenia nie rozpluwając się. Poza tym musi to być przewodnik, który daje się wyciągnąć w cienki drucik, o dostatecznie wielkiej powierzchni świecącej.

Edison zaczął od platyny, odpowiadającej pierwszemu wymaganiu i niepodatnej na działanie chemiczne gazów powietrza. Pierwsze jego lampy zawierały wtopiony w szklanej kulce, opróżnionej z powietrza, bardzo cienki drucik platynowy. Wybór platyny jeszcze tym się tłumaczy, że był to jedyny znany naówczas metal, który można było wtapiać w szkło na miękko: zimny drucik platynowy doskonale przylegał do stopionego szkła i łączył się z nim bez pęknięcia po zastygnięciu. Lecz okazało się, że w wysokiej temperaturze drucik nie topił się wprawdzie, lecz za to rozpylał się bardzo szybko, tak że lampy te nie miały znaczenia praktycznego. Nie przyniosły rozwiązania również dalsze próby stosowania stopów platyny z rzadkim metalem, irydem, zawiodły również krzem, bor i kilkanaście innych materiałów. Węgiel okazał się znacznie trwalszy i oczywiście znacznie tańszy niż platyna. Po wielu próbach udało się wykonać dobre włókno z całkowicie zwęglonej bawełny; włókno to paliło się już znacznie dłużej. Przez cały czas tej pierwszej próby Edison czuwał, obserwując ża-

rzającą się przez wiele godzin szklaną kulkę. Zaczęły się teraz liczne próby ze zwęglonymi materiałami i najlepsze wyniki uzyskano z włókna bambusu (odłamanego podobno ze starego wachlarza). Rozpoczęto teraz badania bambusu, którego znaleziono 1200 odmian. Edison rozesłał specjalnych badaczy po Ameryce i (po 6000 prób kosztem pół miliona złotych) zainteresował się szczególnie trzema odmianami południowo-amerykańskimi.

Węgiel jest pierwiastkiem bardzo rozpowszechnionym i istnieje w wielu postaciach. Sadza jest niemal czystym węglem, a grafit i diament — to inne postaci prawie czystego węgla. Włókna węglowe odpowiadają warunkom wysokiego oporu, nietopliwości w najwyższych temperaturach, są bardzo tanie. Lecz ponieważ węgiel łatwo się utlenia na dwutlenek węgla, musi być stosowany w kulkach szklanych, z których wypompowano powietrze. Żarówki z włóknem węglowym to pierwsza postać handlowa żarówek elektrycznych. Przez długie lata były one w ogólnym użytku.

Nieudane próby Edisona z drutem metalowym zostały jednak podjęte ponownie przez innych. W roku 1903 Auer von Welsbach, uczony, wynalazca koszulki żarowej do palników gazowych, zastosował z powodzeniem do żarówki włókno z metalu osmu: był to początek przewrotu w produkcji lamp żarowych. Po osmie nastąpił tantal, zastosowany przez Siemens'a i Halskego. Jest to ciężki metal o temperaturze topnienia około 2000 C°, bardzo ciągliwy — można go wyciągnąć we włókna o grubości $\frac{1}{20}$ mm, co właśnie dla lampy żarowej wystarcza. Powodzenie żarówek z włóknem żarowym szybko usunęło w cień żarówki węglowe; okazały się one znacznie wydajniejsze, gdyż metal rozżarzał się znacznie łatwiej i zużywał mniej prądu.

Po wielu dalszych próbach uzyskano żarówkę z włóknem z wolframu, która przy tym samym zużyciu prądu co żarówka

węglowa, dawała światło około czterech razy silniejsze. Wolfram, to metal bardzo kruchy, z którego zrazu nie umiano wyciągnąć włókna. Lecz trudność tę przewyżczyono przez sproszkowanie go, zmieszanie z kleistą masą i przeciskanie przez wąski otwór w postaci cienkich nici. Masa ta wypalała się szybko, po rozżarzeniu drucika prądem elektrycznym, i pozostawało włókno z czystego, krystalicznego wolframu, bardzo wydajne pod względem świetlności, lecz niestety, bardzo łamliwe. Wolfram bowiem twardy w zwykłej temperaturze, w wysokiej staje się miękki i ciągliwy. W laboratoriach fabryki Mazda wytworzono sposób nadawania wolframowi ciągliwości przez obróbkę w stanie rozgrzanym i obecnie wyciąga się włókna wprost z metalu. Przy tym sposobie proszek wolframowy prasuje się na sztabki ogrzewane, ściskane następnie przed ochłodzeniem, po którym metal okazuje się ciągliwy. Włókna wyciąga się potem w zwykły sposób przez diamentowe siteczka. Grubość ich sięga w dół do 0,375 mm, zależnie od jasności światła, które ma dawać.

Pierwsze lampy z włóknem wolframowym ukazały się w roku 1911. Włókno biegło zygzakami kolejno w dół i w górę między dwiema poziomymi gwiazdami z drutu, umocowanymi na pionowym szklanym pręciku. W ten sposób włókno pozostawało napięte, nawet gdy się rozszerzało po ogrzaniu. Dwa proste druczki, wprowadzone od strony oprawki, łączyły włókno z obwodem. Lampy te po dziś dzień są powszechnie używane, głównie w kształcie gruszki.

Lampa żarowa rozwijała się w dalszym ciągu. Przed rokiem 1913 włókno wolframowe żarzyło się w próżni. Lecz w tej samej fabryce Mazda odkryto, że drobne ilości obojętnego chemicznie gazu, wprowadzone po wypompowaniu powietrza, podnosiły jasność światła przy tym samym zużyciu prądu, czasem nawet ją podwajały. Wymagało to jeszcze zmiany kształtu włókna, które w dzisiejszych żarówkach zamiast bieć

zygzakami prostoliniowymi, jest skrzycone w linię śrubową, zgiętą następnie w kółko, umocowane poziomo na pionowym pręciku szklanym, przy pomocy gwiazdki. Umożliwia to zmniejszenie rozmiarów żarówki.

Wprowadzenie gazu do żarówki dało jeszcze tę korzyść, że ścianki jej nie pokrywały się czarnym osadem, który już przeskadzał Edisonowi (por. str. 193). Osad ten pochodził od rozpylonych cząsteczek włókna węglowego. Zaczernienie to zmniejszało stopniowo jasność światła, aż lampa stawała się zupełnie bezużyteczna. W żarówkach współczesnych gaz po ogrzaniu unosi się do góry, podobnie jak ciepłe powietrze, i wraz z sobą unosi rozpylone cząsteczki wolframu, które osadzają się w górnej części lampy, nie zatrzymując światła, przechodzącego przez ścianki.

Żarówki wypełnione gazem były na początku znane pod nazwą „półwatówek“. Oto skąd ta nazwa pochodzi: Jak wiemy, wat — jednostka dzielności elektrycznej — odpowiada dzielności prądu jednego ampera przy napięciu jednego wolta. Zwykła lampa wolframowa daje około jednej świecy za każdy zużyty wat: jest to lampa „jednowatowa“. Natomiast żarówka, wypełniona gazem, zużywa dwa razy mniej energii w tym samym czasie, a więc wymaga na jedną świecę tylko pół wata. Podwojenie wydajności osiągnięto tu dzięki podwyższeniu temperatury żarzenia od 400° do 600°. Żarówki wypełnione gazem są dziś najpospolitsze w użyciu, szczególnie gdy idzie o światło wielkiej jasności.

Żarówka elektryczna jest przystosowana do pewnego określonego napięcia w sieci i nie powinna być stosowana przy innym napięciu, niż to, które jest na niej wskazane. Przy wyższym napięciu lampa albo przepala się natychmiast, albo też pali się bardzo jasno przez czas bardzo krótki.

Największe dotąd lampy żarowe, wykonane przez General Electric Company w Stanach Zjednoczonych, mają około

30 cm średnicy i 47 cm długości. Na 60 000 świec jasności zużywają one 30 000 watów. Stosuje się je do zdjęć filmowych i podobno zbliżają się one do światła słonecznego bardziej, niż wszelkie znane dotąd światło sztuczne.

Widzieliśmy, że światło lampy elektrycznej pochodzi od włókna, rozżarzonego na skutek ogrzania przez prąd, napotykający na silny opór. Ciepło wydzielone w żarówce jest zbyt małe do zastosowania użytkowego, lecz ta sama zasada, stosowana na większą skalę, prowadzi do ogrzewania elektrycznego. Grzejniki elektryczne są najlepiej znane w postaci dwóch lub więcej węglowych lamp żarowych, osadzonych pionowo w armaturze metalowej. Inna, często spotykana postać nie daje światła, a ciepło pochodzi od drutu albo cienkich pasków metalu, osadzonych w oprawie wyłożonej azbestem. W innym znów wykonaniu grzejniki elektryczne służą do gotowania. Popularny imbryk elektryczny ma podwójne dno, w którym umieszczone są opory elektryczne, osłonięte zazwyczaj arkuszami miki, która posiada znakomite własności izolacyjne. Podobnie są zbudowane elektryczne żelazka do prasowania, często połączone z podstawą w ten sposób, że umieszczenie ich na niej automatycznie przerywa dopływ prądu. Na tych samych zasadach oparte są przeróżne odmiany piecyków elektrycznych, rusztów i ciepłarek, „nurków“ do ogrzewania wody przez zanurzenie, przyrządów do lutowania, poduszek elektrycznych, ogrzewaczy do łóżek itd.

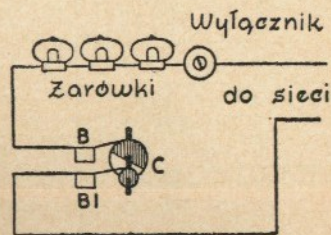
3. REKLAMY ELEKTRYCZNE

Zastosowanie światła elektrycznego i związane z nim możliwości techniczne zmieniły w uderzający sposób nocny wygląd współczesnego miasta. Pomijając już większą jasność światła i różnorodność jego barw, stało się możliwe operowanie zmieniającymi się lub ruchomymi znakami świetlnymi. W ostatnich latach pewne dowcipne pomysły

przyniosły reklamy tak efektowne, że warto przynajmniej niektóre z nich opisać.

Istnieją reklamy nieruchome, zapalane tylko i gaszone w określonym rytmie, i znaki „ruchome“, które — rzecz jasna — naprawdę się nie poruszają. Szyldy nieruchome są tak pospolite, że można je zobaczyć nawet w mniejszych miastach. Są to najprostsze znaki, najbardziej oszczędne zarówno w urządzeniu, jak w utrzymaniu. Przy mniejszych reklamach znaki składowe wycina się najprzód zazwyczaj z blachy metalowej i przykleja się do płyty szklanej mrożonej lub malowanej. Za nią umieszcza się szereg żarówek, po których włączeniu napis czy rysunek ukazuje się jasno na ciemnym tle otoczenia.

Ożywia się te znaki przez różne zastosowania wyłączników. Najprostsze jest zastosowanie mechanizmu, który okresowo na krótki czas przerywa prąd. Mechanizm ten oparty jest na zastosowaniu małego silnika elektrycznego, zasada jego jest przedstawiona na rys. 26. Szczotka metalowa B naciska sprężyste obwód koła przełącznikowego C, obracanego przez silnik (nie pokazany na rysunku). Obwód ten jest w połowie wykonany z mosiądzu albo miedzi,

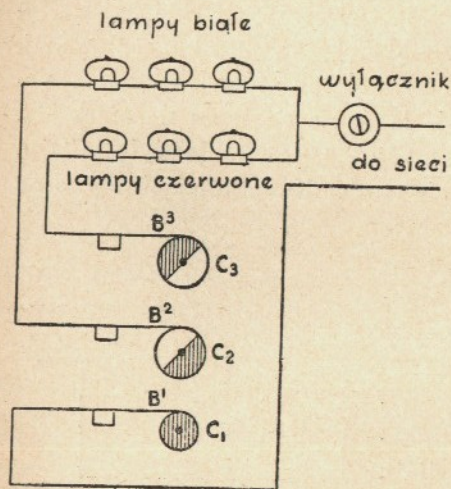


Rys. 26. ZASADA MIGAJĄCEJ REKLAMY ŚWIETLNEJ

a w połowie z gumy albo innego izolatora. Zakreskowane półkole oznacza część miedzianą, tworzącą przewodnik elektryczny z osią obrotu koła. Na tej samej osi osadzone jest inne kółko, zwykle całkowicie miedziane, stykające się ze szczotką B₁. Gdy szczotka B dotyka metalowej części koła C, łatwo widzieć, że obie szczotki, B i B₁, są połączone elektrycznie; lecz połączenie to jest przerwane, gdy B dotyka części gumowej. B₁ jest połączone z jednym przewodem sieci, ze

szczotki B prąd biegnie najprzód przez żarówki, potem przez wyłącznik i wchodzi wreszcie do drugiego przewodu sieci. Wyłącznik ten zazwyczaj jednocześnie pozwala uruchomić silnik i włączyć żarówki.

Inne urządzenie podobnego typu (rys. 27) pozwala na zmianę zapalać lampy dwóch różnych barw, np. białe i czerwone. Z sieci przewód biegnie przez szczotkę B_1 , która styka się

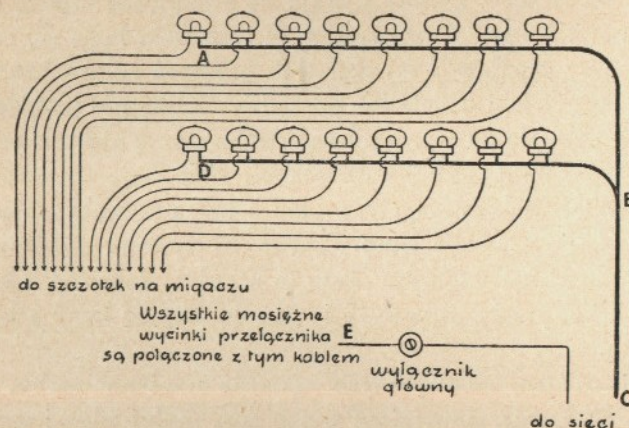


Rys. 27. URZĄDZENIE DWUBARWNEJ MIGAJĄCEJ REKLAMY ŚWIETLNEJ
Górne lampy są innej barwy niż dolne

z miedzianym kołem C_1 , połączonym przewodząco z osią, na której jest osadzone. Na tejże osi osadzone są koła przełącznikowe C_2 i C_3 , oddzielone na rysunku, by zwiększyć jego przejrzystość. Oś tę, jak wyżej obraca powoli silnik elektryczny. Obwody kół C_2 i C_3 są wykonane w połowie z miedzi, w połowie z gumy i są tak ustawione, że kiedy tak ustawione, że kiedy miedź na C_2 dotyka B_2 , na C_3 szczotki B_3 dotyka część gumowa.

Części miedziane kół C_2 i C_3 są przez oś połączone elektrycznie z kołem C_1 . Z B_2 biegnie przewód przez lampy białe, a potem przez wyłącznik z powrotem do sieci. Z B_3 biegnie inny przewód przez lampy czerwone, który potem przez ten sam wyłącznik łączy się z przewodem poprzednim. Przy obrocie osi kolejno i na przemian, prąd z B_1 biegnie przez B_2 , gdy miedziana część C_2 dotyka B_2 , a przez B_3 w przypadku przeciw-

nym. Zapalają się zatem na przemian lampy białe i czerwone, a dodanie większej liczby kół przełącznikowych na tej samej osi, odpowiedni dobór rozmiarów części miedzianej na każdym kole oraz właściwe ich ustawienie pozwalają w najróżniejszy sposób kojarzyć kolejność i czas trwania barw. Lampy jednej barwy mogą zapalać się na krótko przed zagaśnięciem innego koloru lub dokładnie z zagaśnięciem, albo też może być odstęp ciemności.



Rys. 28. SCHEMAT CZĘŚCI RUCHOMEJ REKLAMY

Desenie metalowe nadają się jedynie do znaków małych, przy większych operuje się świecącymi liniami, utworzonymi z żarówek. Jeżeli barwy mają być zmienne, linie tworzy się z lamp różnych barw, umieszczonych na przemian.

Znaki, zwane ruchomymi, wymagają znacznie bardziej skomplikowanych urządzeń przełącznikowych. Zasada pozostaje właściwie ta sama, ale musi być zastosowana do każdej lampy „ruchomej”. Na rys. 28 podane są połączenia dla małej czę-

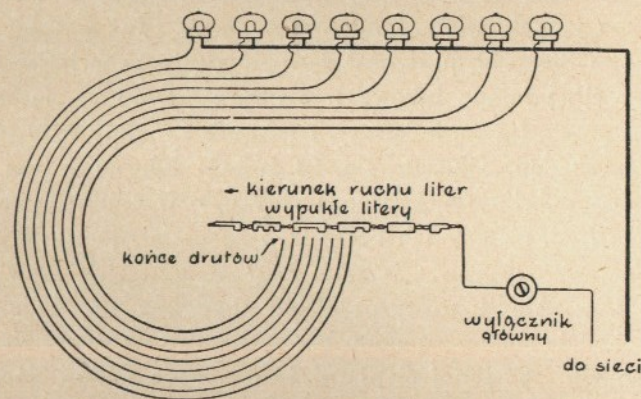
ści ruchomej reklamy. Jeden z biegunów każdej żarówki połączony jest bezpośrednio z jednym i tym samym przewodem sieci przy pomocy przewodników ABC, DBC, przedstawionych na rysunku linią grubą. Drugi biegun każdej z żarówek jest połączony oddzielnym przewodem z oddzielną szczotką wielkiego koła przełącznikowego, którego części mosiężne są przewodząco połączone z osią. Na tejże osi mamy całe mosiężne kółko, połączone z przewodem E, biegnącym przez wyłącznik do głównej żyły. Żarówki zapalają się, gdy odpowiadające im szczotki właśnie stykają się z mosiężną częścią koła przełącznikowego. W miarę obrotu tego koła będą się coraz inne lampy zapalały i od obranych połączeń zależy, które to będą lampy i jaki będzie ich porządek. Kilka kół przełącznikowych pozwala na wprowadzenie kilku następujących po sobie napisów na tej samej powierzchni. Gdy mają się zmieniać tylko jakieś większe zespoły, można z jedną szczotką połączyć wspólnie większą ilość lamp. Łatwo tu tworzyć najprzeróżniejsze odmiany, kojarząc dwie te zasady: dobierania kilku różnych kół przełącznikowych i łączenia zespołu lamp z jedną szczotką.

Wiele reklam elektrycznych sprawia wrażenie ruchu, ale jest to złudzenie, powstające w ten sam mniej więcej sposób jak w kinematografie. Jeżeli na przykład lampy, umieszczone na okręgu koła, zapalają się jedna po drugiej bardzo szybko, mamy wrażenie, że świecący punkt obiega ten okrąg, chociaż na prawdę widzimy w coraz to innym miejscu nieruchome światło. Na tej zasadzie oparte są najbardziej wymyślne reklamy.

Bardzo efektowną reklamę wystawiło w Londynie pewne angielskie towarzystwo kolejowe. Widać na niej było pociąg w biegu: z komina buchał dym, koła się obracały, tłoki i korbowody poruszały się tam i z powrotem. Trudno było uwierzyć, że pociąg był naprawdę nieruchomy, do tego stopnia

złudzenie, osiągnięte przez poruszanie toru w przeciwnym kierunku, było doskonałe. Pozorny ruch toru wydawał się zupełnie ciągły, gdyż regulacja przełączników była bardzo dokładna i jeden szereg lamp zapalał się ściśle w tej samej chwili, gdy gasł inny.

Inny interesujący rodzaj poruszających się znaków pozwala szybko zmieniać całe szeregi wyrazów i nadaje się do tzw. „kurierów świetlnych“, gdzie każdy wyraz pojawia się raz tylko. Na rys. 29 widzimy schemat połączeń dla ośmiu lamp



Rys. 29. SCHEMAT POŁĄCZEŃ DLA OSMIU LAMP JEDNEGO RZĘDU W „KURIERZE ŚWIETLNYM“

w jednym szeregu takiego urządzenia. Jak w poprzednich przypadkach jeden z biegunów każdej żarówki jest połączony stale z jedną żyłą sieci. Przewodniki od drugich biegunów każdej żarówki biegną oddzielnie, a wolne ich końce skierowane są w górę i ułożone w szeregi, w tym samym dokładnym porządku, jak odpowiadające im żarówki. Jeżeli np. znak składa się z pełnego prostokąta lamp, odpowiada mu na tabli-

cy kontaktów również pełny prostokąt. Jeżeli na tej tablicy położyć metalową literę, połączoną z drugą żyłą sieci, zapalą się oczywiście tylko żarówki ułożone w kształt tej litery. Jeżeli zaś szereg takich liter, połączonych z sobą elektrycznie, posuwać po tablicy, na reklamie ukaże się szereg posuwających się liter, wypływając jakby z prawej strony. Gdy litery przebiegły raz przez tablicę, mogą być rozłączone i połączone znowu w nowe wyrazy i zdania.

4. HODOWLA ROŚLIN PRZY POMOCY ELEKTRYCZNOŚCI

Lampa łukowa, która straciła na znaczeniu jako źródło światła, ma jednak wiele innych zastosowań. Już w roku 1880 Wilhelm Siemens próbował zastąpić roślinom światło, ustawiając silną lampę łukową w cieplarni. Pszenica, jęczmień, owies, groch, fasola, kalafiory, truskawki i maliny były przedmiotem badań. Okazało się, że światło łukowe w ten sam sposób jak światło słoneczne wytwarzało w roślinach cukier, chlorofil, tj. zielony ich barwnik, i że podobnie wywoływało dojrzewanie owoców. W roku 1907 w ogrodach Kew Gardens¹² w Anglii przeprowadzono podobne doświadczenia. O zachodzie słońca zapalano lampy łukowe na cztery do pięciu godzin. W innej cieplarni jednocześnie hodowano takie same rośliny w zwykłych warunkach. Po miesiącu okazało się, że pierwsze rośliny wyrosły niemal dwa razy wyżej niż drugie. Doświadczenia te powtarzano jeszcze wielokrotnie i wydaje się rzeczą pewną, że jeżeli światło sztuczne właściwie regulować w sile, można uzyskać zupełnie zadowalające wyniki, chociaż z drugiej strony, rośliny zbyt blisko światła umieszczane, umierają zbyt szybko.

Wspomniemy tutaj przy sposobności o jeszcze jednej próbie oddziaływania na wzrost roślin przy pomocy elektryczności, chociaż światło łukowe nie odgrywa w niej żadnej roli. Na gruntach Donalda Woodwarda¹³, w stanie Nowy Jork, zastosowano

pług elektryczny, który przesyłał przez ziemię prąd o napięciu około 100 000 woltów. Według wynalazcy, pług ten nie tylko niszczy chwasty i bakterie, lecz poprawia płodność roli i przyspiesza silnie wzrost plonów. Traktor z prądnicą ciągnie pług; prąd biegnie z prądnicy przez pług, wchodzi do ziemi przez kilka ostrzy i wraca przez ziemię do prądnicy. W próbie na polu, zasianym gryką, połowa przeorana pługiem elektrycznym była po raz pierwszy chyba w historii wolna od chwastów i kąkol. Nasiona poczęły kiełkować po 80 godzinach, a kłosa wyrosły dwa razy wyżej niż na drugiej połowie, chociaż została ona silnie użyźniona nawozem sztucznym. W próbach z pszenicą, fasolą i ziemniakami, nasiona kiełkowały po pięciu dniach, podczas gdy na połowie traktowanej tylko sztucznymi nawozami, kiełkowały dopiero po dniach szesnastu.

Istota działania elektryczności na wzrost roślin nie jest jeszcze jasno zrozumiała. Zresztą mało również wiemy o działaniu energii słonecznej i nie wiemy, w jaki sposób rośliny wyzyskują te właśnie promienie, które im są potrzebne. Na ogół przyjmuje się, że elektryczność w jakiś sposób wpływa na powstawanie azotu w ziemi, a użyźniające działanie azotu jest przecie dobrze znane. Elektryczność pomaga prócz tego roślinom przyswajać pokarm — ożywia jakby ich trawienie. Oto jak sobie to wyobrażamy: roślinom potrzebna jest woda i pobierają one ją z gruntu dzięki włoskowatości. Otóż, jeżeli wżmiemy rurkę zgiętą w kształcie litery U, o bardzo małym przekroju, wypełnimy ją wodą i nadamy jej położenie pionowe, woda w obu kolanach będzie na tej samej wysokości. Lecz jeżeli w jednym kolanie umieścimy ładunek elektryczny, woda się w nim podniesie. Prosty ten eksperyment pozwala nam wyobrazić sobie, że prąd elektryczny, płynący przez ziemię, może pomagać roślinom przy wysysaniu wody. W każdym razie w okresie podnoszenia się soków w roślinach stwierdzono

obecność słabych prądów elektrycznych. Nie jest rzeczą niemożliwą, że zastosowanie elektryczności sprzyja powstawaniu tych prądów, ożywia krążenie soków i przemianę materii. Wszystko tu jeszcze właściwie pozostaje do zrobienia, ale już teraz nie ulega wątpliwości, że w przyszłości elektryczność będzie odgrywała poważną rolę w rolnictwie.

ROZDZIAŁ IV

O TELEGRAFIE ZWYKŁYM

I. MARZENIA I FANTAZJE

O przesyłaniu wiadomości na odległość ludzie zapewne marzyli, odkąd im się w ogóle zdarzało z sobą rozstawać. Mówimy „na odległość“, chociaż mamy właściwie na myśli przesyłanie słów, gdy ani się widzieć, ani słyszeć nie można. Aż do czasów nowszych kroniki nie opowiadają o żadnych próbach przyobleczenia tych marzeń w formy inne niż baśni. Pierwszy pomysł, w zupełnie zresztą fantastyczny sposób związany ze spostrzeżeniem przyrodniczym, wytropić można dopiero w pewnym traktacie z roku 1558. Autor jego, Baptysta Porta, wierzył, że dwie igły namagnesowane przy pomocy tego samego magnesu naturalnego są z sobą związane w szczególnie sposób: Gdy jedna z nich wykona jakiś ruch, druga będzie go naśladować, choćby je dzieliła największa odległość. Igły takie nazywał Porta „sympatycznymi“, tzn. współczującymi. W późniejszym wydaniu swego traktatu pisze: „Nie mam wątpliwości, że z odległym przyjacielem, chociażby zamkniętym w murach więziennych, mogę się porozumieć przy pomocy dwóch igieł magnetycznych, dokoła osi których opisany jest alfabet“. Inni pisarze powtarzali te brednie za Portą i jego naśladowcami, nie podając ich w wątpliwość. Famianus Strada, jezuita, historyk włoski, pisze w roku 1617:

Niech będą dwie igły jednakowej długości i rozmiarów, dotknięte przez ten sam kawałek magnetytu. Umieść litery abecadła na kołach, po których igły te się poruszają, podobnie jak znaki stron

świata pod igłą kompasu. Niech przyjaciel twój, udający się w podróż, weźmie jedną z tych igieł z sobą ustaliwszy najprzód, w jakich dniach i godzinach będzie się z tobą porozumiewał. O tych porach, gdy jeden porusza igłą, druga przez związek sympatyczny poruszy się i zatrzyma nad tą samą literą, choćby je dzieliła największa odległość. I tak za pomocą wielu ruchów igły łatwo zestawiać słowa i sens, który sobie chcą podać.

„Aparat“ Porty zanotowano w historii pod nazwą „telegrafu sympatycznego“. „Tele“ znaczy po grecku „daleki“, „gra-fein“ — „pisać“, a zatem „telegraf“ — to „dalekopis“. Ale nazwę tę stosuje się dziś nie tylko do urządzeń piszących, ale do wszystkich, które przekazują słowa „na odległość“ przy pomocy dowolnych sygnałów. Telegraf sympatyczny Porty był nawet bezdrutowy. Tymczasem pierwsze rozsądne pomysły musiały się ograniczyć do przekazywania sygnałów tylko między miejscami, umyślnie przedtem połączonymi drutami metalowymi, a więc do wyniku znacznie skromniejszego. A pojawiły się one nagle z odkryciem prądu elektrycznego, które jak błyskawica rozświetliło na raz sto wyjść tam, gdzie przedtem panował beznadziejny mrok.

2. TELEGRAFOWANIE PRZEZ WYŁADOWANIE MASZINY ELEKTRYCZNEJ

Wszystkie dzisiejsze telegrafy przesyłają prąd elektryczny i korzystają z elektromagnesu, jako odbiornika sygnałów prądowych. Ale od pierwszych prób do tego rozwiązania upłynęło prawie sto lat. W roku 1746, a więc zanim jeszcze Galvani odkrył prąd elektryczny, angiłk Watson przesłał już po drucie wyładowanie elektryczne z maszyny na odległość 3 km, przy czym drut na odległym końcu był zakopany w ziemi, „uziemiony“. Doświadczenie to podsunęło anonimowi C.M. pomysł, wyłożony w roku 1751 w liście do pewnego czasopisma szkockiego: Z maszyny elektrycznej wyprowadzić tyle drutów, ile jest liter. Na końcu każdego przewodu zawiesić na dwóch

nitkach dwie kulki bżowe (są one bardzo lekkie i rozchylają się nawet, gdy słabo są naelektryzowane), i każdą parę oznaczyć jedną literą. Gdy na stacji nadawczej przyłożyć koniec drutu do maszyny elektrycznej i przepuścić wyładowanie, na drugim końcu rozchylą się naelektryzowane od tego kulki i wskażą literę. Możliwy też zastosować dzwonki. Projekt ten wykonał, w roku 1774, Le Sage w Genewie.

W roku 1787 Lomond w podobny sposób zastosował tylko dwa druty, wprowadzając po raz pierwszy „klucz“: różne układy znaków nadawanych kolejno, to przez jeden, to przez drugi drut, miały oznaczać według umowy różne litery. Pomysł Lomonda, tak bliski alfabetowi Morsa, nie został widać zauważony, gdyż w roku 1794 Reizen stosuje znów 72 druty, tworząc 36 obwodów. Każdy z tych obwodów miał malutką przerwę na stacji odbiorczej, nad każdą przerwą znajdowała się wycięta w papierze litera, a wszystko było przykryte szklaną taflą. Wyładowanie maszyny elektrycznej przez jeden z obwodów wywoływało iskrę w jego przerwie i oświetlało odpowiednią literę. Salva (z którego nazwiskiem jeszcze się spotkamy) zmniejszył liczbę tych przewodów do 6, przydzielając każdej literze pewien układ kolejnych sygnałów błyskowych. Ronald w roku 1823 — wciąż stosując maszynę elektryczną, gdy znane już było ogniwo! — obmyślił dowcipne urządzenie, którego zasadę odkryto ponownie kilkadziesiąt lat później: na obu stacjach obracają się dwa krążki: każdy z nich ma otworek, przez który widać coraz to inną z liter, umieszczonych na obwodzie tarczy, znajdującej się za dyskiem, na jednej z nimi osi. Krążki te, dzięki mechanizmom zegarowym, miały się obracać „synchronicznie“, tzn. w tej samej chwili otworki miały się na obu stacjach znajdować przed tą samą literą. Jeden tylko przewód przynosił sygnał z maszyny elektrycznej w chwili, gdy otworek na stacji nadawczej znajdował się przed przesyłaną literą. W tej samej niemal chwili

rozchylały się na stacji odbiorczej kulki bżowe zawieszona na końcu przewodu, i dawały znak do odczytania właśnie widocznej litery. Niestety, trudność izolacji, zawodność wyładowań pozbawiały pomysł Ronalda wartości praktycznej.

3. TELEGRAF ELEKTROCHEMICZNY

W roku 1801 odkryto elektrolizę i odkrycie to podsunęło kilka nowych pomysłów. Sömmering, w roku 1809, zastosował 35 drutów, które na stacji odbiorczej kończyły się w naczyniu z wodą, w którym był również zanurzony koniec przewodu, biegnącego od jednego bieguna ogniwa galwanicznego na stacji nadawczej. Gdy drugiego bieguna dotykano końcem jednego z 35 drutów, zamykał się obwód i na stacji odbiorczej pojawiały się pęcherzyki gazu wskazując, że przesyła się literę odpowiadającą temu drutowi.

Znacznie sprawniejsze było urządzenie Coxe'a z roku 1816: skorzystał on ze zmiany zabarwienia papierka lakmusowego pod działaniem prądu elektrycznego. Każdej literze odpowiadał obwód, który na stacji odbiorczej zamykał się przez papierek lakmusowy, na nadawczej — przez ogniwo. Zamknięcie obwodu wywoływało zaczerwienienie papierka przy jednym z drutów wskazując, jaką literę się przesyła. Dyer znacznie uprościł to urządzenie, znów uprzedzając pewne elementy współczesnej aparatury: zamiast 72, wziął jeden tylko przewód, dotykający z jednej strony przesuwającej się stałe taśmy lakmusowej, a z drugiej — bieguna maszyny elektrycznej. Wyładowanie maszyny dawało na taśmie czerwone znaki, których kombinacje, według umówionego klucza, oznaczały litery. Udało się w ten sposób przesyłać słowa na 10 km.

4. TELEGRAF IGŁOWY

Na początku XIX stulecia odkrycie elektromagnetyzmu zrodziło nową serię pomysłów. W różnych projektach impuls

prądowy do cewki na stacji odbiorczej wywoływał ruchy igły magnetycznej, wyzyskane do uderzenia w dzwonek. Kombinacje w różnych odstępach, według umówionego klucza, odpowiadały różnym literom. Zaroilo się od instrumentów igłowych, a między wynalzcami znajdujemy znakomite nazwiska: Gaussa, Webera, Wheatstone'a¹⁴, braci Highton¹⁵ (tych jeszcze spotkamy). Ampère wprowadził zrazu 26 obwodów i tyleż igieł, po jednej dla każdej litery, ale Gauss korzystał już z 5 tylko znaków, podobnie jak Cooke i Wheatstone. Ten ostatni zresztą wkrótce ograniczył się do dwóch znaków, polegających na odchyleniach igły na prawo i na lewo ze zmianą kierunku prądu; z zestawień tych znaków był utworzony klucz. Wszystkie te pomysły, jakkolwiek zawierały elementy spotykane do dziś dnia, ustąpiły szybko z placu, gdy pojawił się telegraf Morse'a.

5. SAMUEL FINDLEY MORSE

Wynalazek prądu elektrycznego stworzył szeroko skarbnicę różnych zjawisk i możliwości, i na początku nie trzeba było głęboko w nią sięgać, by znaleźć coś cennego. Dlatego też ludzie bez żadnej niemal fachowej wiedzy, ale za to pomysłowi i wytrwali, mogli dokonywać wielkich wynalazków. Wynalazca telegrafu był malarzem, telegrafu drukującego — muzykiem, telefonu — nauczycielem głuchoniemych. Edison zaczął swą karierę wynalazcy jako telegrafista, pierwszy kabel przez Atlantyk położył kupiec. Dziś sama pomysłowość nie wystarczy: proste wynalazki, do których niewiele trzeba umieć, dawno już zostały zrobione.

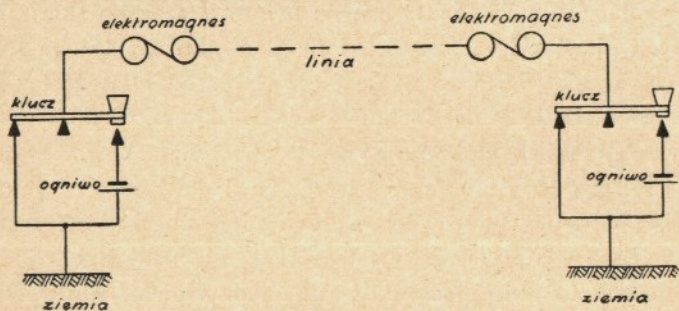
Morse urodził się w roku 1791 niedaleko Bostonu, jako syn posła do parlamentu Stanów Zjednoczonych. Wcześniej zaczął malować, w roku 1811 studiował w londyńskiej akademii, a w roku 1813 uzyskał nawet nagrodę za rzeźbę. W 1815 wrócił do Ameryki i rozwinął energiczną działalność jako malarz

i organizator życia artystycznego i nauczania. Za jego to współdziałaniem powstała w roku 1826 Akademia Sztuk Plastycznych w Nowym Jorku. W roku 1829, po stracie ojca, matki i żony, udał się znowu do Europy, gdzie spędził cztery lata.

Gdy w październiku roku 1832 wracał na statku „Sully“, zetknął się z pewnym rodakiem, który interesował się elektrycznością i miał pewne wiadomości z tej dziedziny. Rozmowy z nim rozbudziły w artyście nowe zainteresowania; gdy dnia 13 października 1832 roku okręt zawinął do Nowego Jorku, Morse powiedział na pożegnanie kapitanowi: „Usłysz Pan niebawem o wielkim wynalazku: został on dokonany na Pana okręcie“.

6. TELEGRAF MORSE' A

Układ Morse'a przynosił dwie nowe myśli: zamiast igły w cewce, zastosował elektromagnes, przed którego biegunami znajdowała się sztabka żelazna, tzw. „kotwiczka“; na niej był



Rys. 30. SCHEMAT POŁĄCZEŃ MORSE'A

Przy położeniu kluczy jak na rysunku prąd nie płynie. Po naciśnięciu klucza na jednej stacji prąd płynie przez elektromagnesy obu stacji i depesza zostaje zapisana również na nadającej.

osadzony ołówek. Po wtóre wprowadził taśmę papierową, przesuwającą się pod ołówkiem, który na niej kreślił kreski i kropki, składające się na litery teraz już dobrze wszystkim znanego

„morsa“. Na stacji nadawczej znajdował się „klucz“ i bateria, na odbiorczej elektromagnes z kotwiczką i ołówkiem oraz taśmą, przesuwającą się dzięki mechanizmowi zegarowemu. Po naciśnięciu klucza, prąd biegł (rys. 30) z baterii do elektromagnesu, zmuszając go do przyciągnięcia kotwiczki, w położeniu spoczynku odpychanej przez sprężynę. Kotwiczka w położeniu „roboczym“ przyciskała ołówek do papieru. Dłuższe naciśnięcie klucza dawało kreskę, krótkie — kropkę. Gdy klucz był w położeniu spoczynku, prąd przestawał płynąć i na papierze powstawały odstępy.

Morse walczył z wielkimi trudnościami: elementy, które teraz można nabyć za grosze, jak drut izolowany, musiał sam sporządzać w pocie czoła. Prócz tego brak mu było podstawowych wiadomości. Na szczęście miał się kogo poradzić: sławny Henry, odkrywca samoindukcji, był profesorem na uniwersytecie nowojorskim, gdzie i Morse'a powołano na profesora ... literatury. Pomagał mu też profesor chemii Gale¹⁷.

Trzecim ważnym pomysłem Morse'a był „przekaznik“ (tabl. XI^B). Przy powiększaniu odległości do 36 km okazało się niebawem, że impulsy prądowe do elektromagnesu przychodziły zbyt osłabione, by go wzbudzić. Trzeba było impulsy te odnowić, zastrzyknąć im nową dawkę energii. Henry i Gale pomogli mu opracować następujące urządzenie: zamiast ciężkiej kotwiczki z ołówkiem, podstawia się leciutką sprężynkę, na którą jeszcze starczy siły. Gdy ją elektromagnes przyciągnie, zamyka ona obwód „miejscowy“, tj. obwód, w który włączona jest bateria elektryczna na stacji odbiorczej oraz elektromagnes ze zwykłą kotwiczką i ołówkiem. W ten sposób impuls prądowy służy tylko do wyzwolenia energii, drzemiącej już na miejscu, budując jej drogę. Jest to zupełnie podobne do przekręcenia kranu: leciutki wysiłek wystarczy do wyzwolenia wielkiej energii wytryskującej wody.

Przy przesyłaniu na jeszcze większe odległości stosował zatem Morse „stację przekaźnikową“ mniej więcej co 36 km; przy większych odległościach prąd mógł się okazać zbyt słaby nawet dla uruchomienia przekaźnika. Takie pośrednie stacje i teraz się stosuje.

W roku 1837 Morse sprzymierzył się technicznie i finansowo z Alfredem Vailem, który wprowadził szereg drobnych, ale cennych ulepszeń: współczesną postać klucza (tabl. XIA; u Morse'a obwód zamykał się przez niewygodne miseczki z rtęcią), pióro ze zbiornikiem atramentu zamiast ołówka, a później współczesną postać obrotowego kółka do pisania, z jednej strony zanurzonego w kałamarzu, a piszącego drugą. W roku 1833 aparat posiadał sprawność, wystarczającą do użytku praktycznego: skończyły się ciężkie zapasy z krapkowanym żywiółem; zaczęły się cięższe z ludźmi.

7. WALKA O UZNANIE

Pierwszy pokaz publiczny telegrafu odbył się jeszcze w 1835 roku na uniwersytecie nowojorskim. 21 lutego 1838 roku demonstracja u prezydenta Stanów Zjednoczonych zdobyła Morse'owi subsydium 30 000 dolarów. W roku 1839 udało się transmisja na odległość przeszło 70 km, była to pierwsza linia oddana do użytku publicznego.

Po tych pierwszych sukcesach nastąpiło pasmo niepowodzeń: wyjazd do Europy nie zdobył mu żadnych zwolenników, zakwestionowano w Ameryce jego podanie o patent, nie było pieniędzy na budowę dalszych linii, opuścili go przyjaciele, zniechęceni wyczekiwaniem na zyski. Kongres był obojętny. Upłynęło kilka ciężkich lat, zanim mu Kongres i Senat, na pół przez nieporozumienie, przyznały ponownie 30 000 dolarów. Zbudowano po wielu trudach linię Nowy Jork — Baltimore — Waszyngton. Przewody układano najpierw w ziemi i po ułożeniu ich na $\frac{2}{3}$ całej trasy, trzeba było je wyjmować

z powrotem, gdyż zawiodła izolacja. Zdecydowano się na wbijanie słupów i zawieszanie przewodów na butelkach, w braku innych izolatorów. 24 maja 1844 roku linia była gotowa; przeszło to bez wrażenia. Na krótko obudziło zainteresowanie przetelegrafowanie ważnej wiadomości politycznej, ale nie o tyle, żeby zapewnić Morse'owi 100 000 dolarów, za które gotów był odstąpić rządowi swój wynalazek. Otrzymał tylko subsydium 8 000 dolarów na utrzymanie w ruchu zbudowanej linii. W roku 1851 było już jednak w Stanach 50 towarzystw telegraficznych, a między nimi zapewne tyleż zatargów patentowych; odbierały one przedsiębiorstwom szczupłutkie zyski, jeżeli je które miało. Dopiero w roku 1856 połączyły się wszystkie te towarzystwa w sławną Western Union Telegraph Company¹⁸, potężne teraz przedsiębiorstwo. Trudno nam zrozumieć, jak przez 20 lat nie mogli ludzie ocenić znaczenia epokowego wynalazku, nie mniej jednak dopiero w roku 1861 „Mors“ pojawił się w Europie. W roku 1872 twórca jego zmarł, doczekawszy się jeszcze przed śmiercią majątku i sławy.

8. MORS WSPÓLCZESNY

Przyjęto u nas teraz nazywać aparat nadawczo-odbiorczy Morse'a po prostu „morsem“. Na tabl. XIC widzimy schemat współczesnego urządzenia, przy czym nadajnik i odbiornik zmontowane są na wspólnym cokole. Dzisiejsza szybkość nadawania przy wprawnej obsłudze wynosi około 60 znaków na minutę.

Często odbiera się alfabet Morsa na słuch, stosując zamiast piszącego odbiornika tzw. stukawkę, wprowadzoną przez samego Morse'a w roku 1844. Tu kotwiczka, przyciągnięta przez elektromagnes, uderza w jeden oporek, a wracając do położenia spoczynku, dzięki sprężynie odciągającej, uderza w drugi: Każdemu impulsowi prądu odpowiadają więc dwa ude-

zenia, a krótszy odstęp między nimi oznacza kropkę, dłuższy kreskę. Na stukawce odbiera się do 90 znaków na minutę.

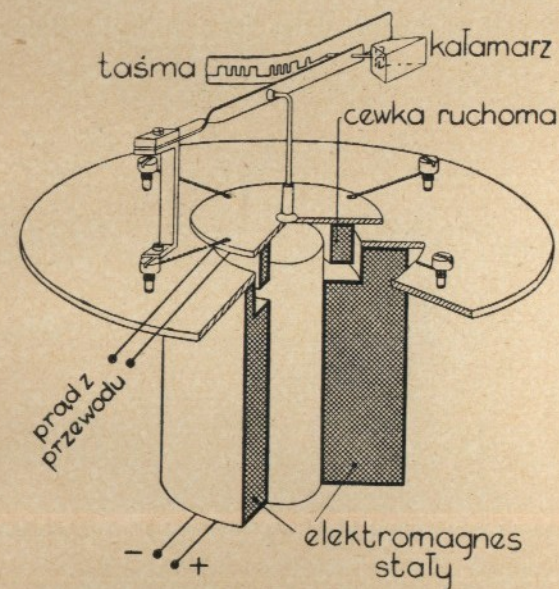
Mors pracuje na prądzie roboczym albo na ciągłym. Prąd roboczy opisaliśmy właśnie: płynie on tylko na kreskę lub kropkę, nie płynie w przerwie, w położeniu spoczynku obwód jest przerwany. Przy prądzie ciągłym jest przeciwnie, w położeniu spoczynku prąd płynie, a przerywa się go na znaki. W układzie na prąd roboczy prąd nie przechodzi wcale przez elektromagnes odbiornika stacji nadawczej, nie ma więc odpisu nadawanych telegramów. Natomiast w układzie na prąd ciągły, za cenę większego zużycia prądu, możemy te odpisy uzyskać.

9. INNE ODBIORNIKI

Zwykły mors wymaga około 0,01 ampera prądu „działania“ i odczuwa się często (przy kablach podmorskich, przy radiotelegrafii itd.) potrzebę odbiornika szybszego w działaniu i odpowiedniego na słabszy prąd. Istnieje kilka takich odbiorników, opartych wciąż na zastosowaniu elektromagnesu. Nazywają je „ondulatorami“ („onde“ po francusku znaczy „fala“), gdyż przyrząd piszący kreśli w nich linię falistą (rys. 32), której grzbiety odpowiadają kreskom lub kropkom, zależnie od swej długości, chociaż może być inaczej: np. grzbiety fal mogą oznaczać kreski, doliny — kropki.

Ondulator Lauritza zawiera między dwoma pionowymi wałkami elektromagnesu odbiorczego układ dwóch magnesów liniowych stałych, również pionowych, przy czym są one względem siebie odwrócone biegunami. Impuls prądowy wywołuje pionowe przesunięcie magnesów stałych, które pociągają wtedy za sobą, umocowaną na nich u góry, rurkę piszącą, o drugim końcu zanurzoną w kałamarzu, opartą o przesuwającą się taśmę papieru. Pionowe drgania końca rurki, złożone z przesuwem taśmy, dają wspomnianą linię falistą. Prąd działania

wynosi 0,0005 ampera, a wydajność do 400 liter na minutę. Podobnie działają ondulatory Creeda i Siemens-Halske. Bardzo rozpowszechniony jest „zapisywacz syfonowy“ (rys. 31) Kelvina (siphon-recorder^{18a}), stanowiący właściwie odmianę

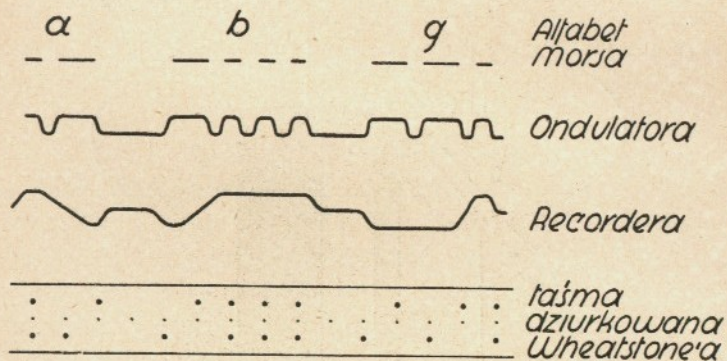


Rys. 31. ZAPISYWACZ SYFONOWY KELVINA
(siphon recorder)

Na taśmie widać napisane w kluczu morsa litery x, v, e

galwanometru i blisko spokrewniony z dawnymi przyrządami igłowymi. Prąd wstępujący przechodzi przez cewkę, zawieszoną w polu magnetycznym stałym, które ją odpycha do góry. Umocowana na niej pozioma rurka włoskowata (z drugim końcem w kałamarzu) kreśli jak zwykle falistą linię na posuwającej się taśmie. Odbiera ona 750 liter na minutę przy

prądzie działania do 0,002 ampera. W pewnej udoskonalonej odmianie prąd działania jest aż 100 razy mniejszy, ale wydajność wynosi tylko 400 liter na minutę: stosuje się w niej prąd dwukierunkowy i tzw. alfabet „recordera“ (rys. 32). Różnym kierunkom prądu odpowiadają tu przesunięcia cewki w górę i w dół, a więc grzbiety i doliny fali. Pierwsze uważa się za kropki, drugie za kreski, dając im jednakową długość. Od-

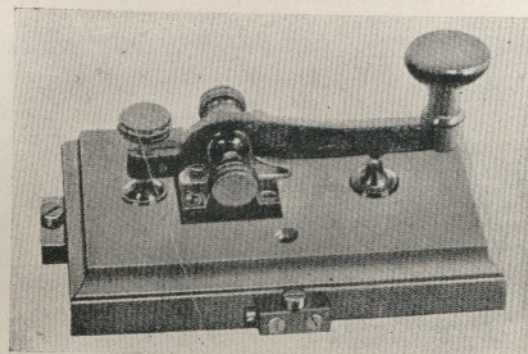


Rys. 32. ZESTAWIENIE KILKU ALFABETÓW TELEGRAFICZNYCH

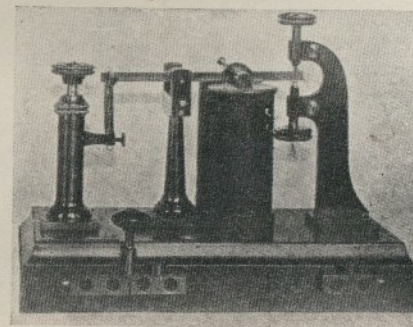
stępom odpowiadają pionowe kreski linii falistej; przy kolejnych kreskach (czy kropkach) w tej samej literze nie robi się odstępów, gdyż liczba kresek wynika wtedy z długości grzbietu.

10. UKŁAD PRZECIWSOBNY

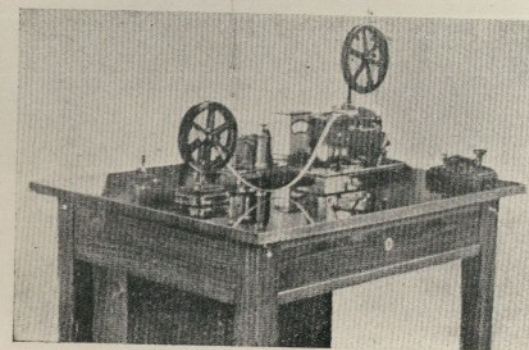
Przewody są kosztowne, stanowią najslabszą stronę telegrafu, toteż wysilano się na wiele sposobów, by je wyzyskać dla przesyłania kilku depech na raz, by wyzyskać dla telegrafii przewody telefoniczne itd. Pierwsza myśl układu, w którym



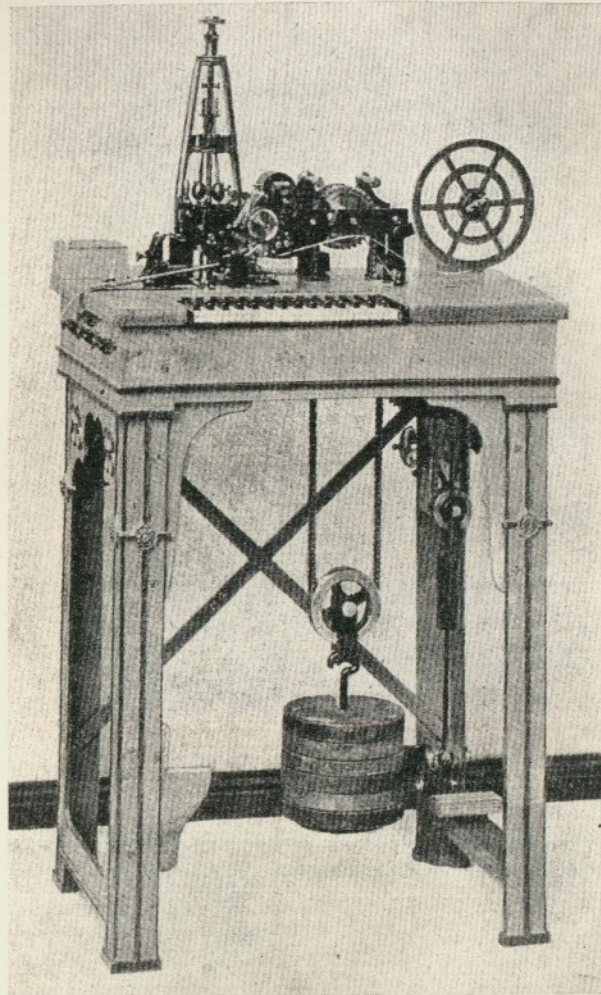
A. WSPÓLCZESNY KLUCZ MORSA



B. PRZEKAŹNIK TELEGRAFICZNY DO WZMACNIANIA SYGNAŁÓW PRĄDOWYCH NA DŁUGICH LINIACH

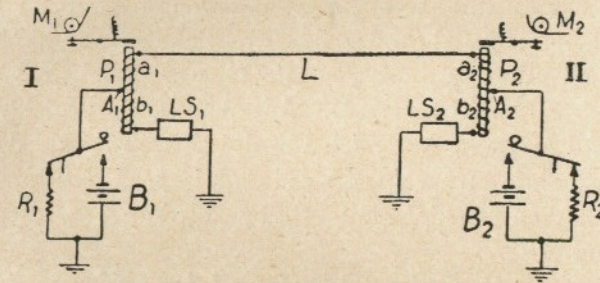


C. PEŁNY APARAT TELEGRAFICZNY MORSA



APARAT TELEGRAFICZNY DRUKUJĄCY, NADAWCZO-ODBIORCZY
HUGHESA (JUŻ)

można by przesyłać jednocześnie dwie depesze w przeciwnych kierunkach („przeciw sobie“), pochodzi od Gintla w Wiedniu (1853) i Edisona (1858), ale rozwinięcie jej trwało do roku 1872. Na czym tu trudność polega? Odbiornik I musi być włączony w linię, skoro ma odebrać sygnał ze stacji II; ale w linii równocześnie płynie sygnał samej stacji I, który zatem również dostanie się do zbiornika I i zmieszawszy się z sygnałem stacji II „wszystko zamaże“. Trzeba zatem urządzić tak, żeby własny impuls został we własnym elektromagniesie skasowany, trzeba go odjąć. Kilka jest do tego ukła-



Rys. 33. SCHEMAT UKŁADU PRZECIWSOBNEGO (DUPLEX)
DO PRZESYŁANIA PO JEDNYM PRZEWODZIE DWÓCH
DEPESZ W PRZECIWNYM KIERUNKACH

B — bateria, P — elektromagnes, M — taśma papieru i kotwiczka,
A — punkt rozgałęzienia

dów, z tych najprostszy „różnicowy“ (rys. 33): z klucza I prowadzi się przewód do własnego elektromagnesu, rozgałęziając go na dwa przewody: jeden a_1 owija się dokoła elektromagnesu i biegnie po linii L do stacji II, drugi b_1 owija się w przeciwnym kierunku i z magnesu wchodzi do „sztucznej linii“ LS_1 na stacji I, która naśladuje swym oporem i pojemnością dokładnie linię zewnętrzną. Wskutek tego w obu uzwojeniach elektromagnesu impuls ze stacji I wywoła prądy równe, ale

przeciwnie skierowane: działanie ich na kotwiczkę zostanie skompensowane, a podziała jedynie prąd, który do uzwojenia przyjdzie ze stacji II.

W roku 1847 Edison podał, jak przysyłać jednocześnie po dwie depesze w obu kierunkach, a więc cztery razem. Zastosował on dwa sposoby: opisaną przed chwilę kompensację i prąd dwukierunkowy (bez przerw) tak, że kreskom odpowiada jeden kierunek, kropkom przeciwny. Bliższe szczegóły musimy pominąć.

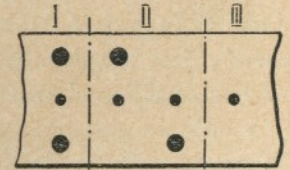
11. ZASADY AUTOMATÓW TELEGRAFICZNYCH

Lecz zagadnienie wyzyskania przewodów znalazło lepsze rozwiązanie na innej drodze, przez powiększenie szybkości nadawania i odbierania. Wymagało to oczywiście powierzenia obu tych czynności maszynie. Automaty takie projektowano już przed Morsem, który ich również próbował, ale dopiero od lat 50 służą one w sposób zadowalający. Prócz szybkości dają znaczne zmniejszenie liczby błędów i oszczędności w obsłudze.

Lecz szybkość służby telegraficznej jest związana z jednym jeszcze zadaniem: z przepisywaniem telegramu z alfabetu morsa na zwykle litery, tzw. „odszyfrowaniem“. Istnieją automaty, które dają tylko większą szybkość nadawania czy odbioru, takie które osiągają tylko drugi cel — odszyfrowanie i wreszcie takie, które rozwiązują jednocześnie oba zagadnienia.

Wyłączamy tu urządzenia, służące do przekazywania „facsimile“, tj. dokładnej odbitki nadawanego oryginału (może to być rękopis, druk albo rysunek), bo będą one opisane w rozdziale o fototelegrafii. Zostaną nam automaty drukujące i szyfrujące. Stosują one kilka zasadniczych sposobów: taśmę dziurkowaną do nadawania, bieg synchroniczny i alfabet pięcioimpulsowy.

Zamiast kresek i kropek na taśmie dziurkuje się układy otworków, wskazane na rys. 34. Przy stosowaniu alfabetu innego, „pięcioimpulsowego“, każdej literze odpowiada pewien układ pięciu otworków w poprzek taśmy. W nadajniku taśma biegnie z wielką szybkością, a układy otworów zostają przekształcone na impulsy prądów. W środku taśmy znajdują się „dziurki przewodnikowe“ do jej posuwania.

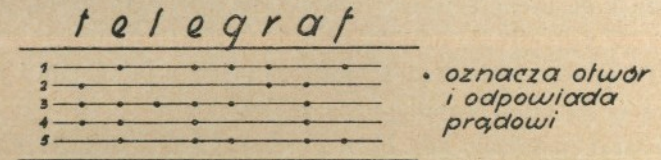


KROPKA KRESKA PRZERWA

Rys. 34. ALFABET DZIURKOWY WHEATSTONE'A ZASTĘPUJĄCY MORSA

Na stacji nadawczej i odbiorczej znajdują się składniki mechanicznego, koła lub drążki, które obracają się po obu stronach z tą samą szybkością, tak że zawsze w tej samej chwili wracają do tych samych położeń.

Alfabet pięcioimpulsowy (rys. 35) przydziela każdej literze kombinację z pięciu równych i następujących po sobie od-



Rys. 35. PRÓBKA ALFABETU PIĘCIOIMPULSOWEGO NA TAŚMIE DZIURKOWANEJ. KAŻDY OTWÓR DAJE IMPULS PRĄDOWY Np. literze „e“ odpowiada układ: impuls, przerwa, trzy impulsy; literze l: dwie przerwy, impuls dwie przerwy; literze f: impuls, trzy przerwy, impuls

cinków, które są albo przerwami, albo impulsami prądowymi. Przy stosowaniu prądu dwukierunkowego mamy kombinacje impulsów prądu w jedną albo drugą stronę. Np. w przyjętym u nas alfabcie, literze „a“ odpowiada przerwa i potem 4 im-

pulsy. Mniejsza liczba impulsów nie wystarczy do objęcia 32 liter. Przy dziurkowaniu taśmy otwórki przypadają na pięciu poziomach, impulsowi prądowemu odpowiada dziurka na właściwym poziomie.

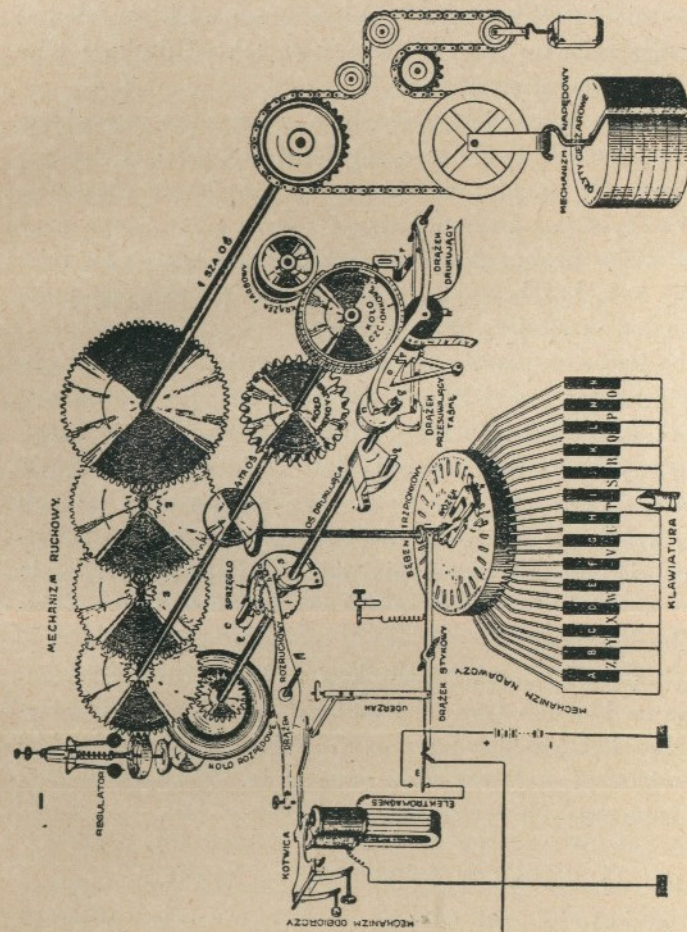
12. APARAT DRUKUJĄCY HUGHESA

Aparat Hughesa¹⁹ (tabl. XII), zwany w naszej praktyce „juzem“, jest urządzeniem, drukującym wprost telegram zarówno na stacji nadawczej, jak odbiorczej, przy czym nadawanie odbywa się przez naciskanie klawiszów, odpowiadających poszczególnym literom, a ułożonym jak na fortepianie. Szybkość jego jest stosunkowo niewielka, bo tylko około 4 liter na sekundę.

Zasadą działania juza jest zsynchronizowanie obrotu koła czcionkowego (rys. 36) na stacji odbiorczej i wózka na stacji nadawczej. Na obwodzie koła znajdują się wszystkie używane znaki w postaci wypukłej (i odwróconej). Obraca się ono nad taśmą, ocierając się stale o krążek farbowy. Gdy przychodzi impuls prądowy, drążek drukujący podnosi taśmę i przyciska ją do koła czcionkowego. Odbija się wtedy ta litera, która była „w pozycji“ do odbicia właśnie w chwili nadejścia sygnału. Po odbiciu inny drążek opuszcza taśmę z powrotem i przesuwają ją do odbicia następnego znaku.

Aparat nadający, gdy chce przekazać np. literę A, wysyła sygnał właśnie w chwili, gdy litera A jest w pozycji. Ale jak to poznaje? Ma on wózek, obracający się dokoła osi pionowej synchronicznie z kołem czcionkowym odbiorczym. Wózek ten obraca się nad bębniem trzpionkowym, dokoła osi tegoż; każdy trzpien odpowiada określonej literze. Danemu położeniu koła czcionkowego odpowiada położenie wózka nad trzpionkiem zawsze tej samej litery. Naciśnięcie klawisza A powoduje wysunięcie się trzpiotka w górę i zamknięcie obwodu, właśnie w chwili, gdy wałek jest nad trzpionkiem A, a więc

koło czcionkowe również w pozycji A. Po nadaniu impulsu trzpionek opada i można nacisnąć inny klawisz. Rzecz jasna



Rys. 36. SCHEMAT TELEGRAFU DRUKUJĄCEGO HUGHESA (JUZA)

wobec tego, że nie w każdej chwili można każdą literę nadać: trzeba czekać aż wózek nadejdzie nad trzpionek tej litery.

Na szczęście, wózek robi dwa obroty na sekundę i nie trzeba czekać zbyt długo. Ale więcej niż dwa razy tej samej litery w ciągu sekundy nie możemy, rzecz jasna, nadać.

Koło czcionkowe jest zsynchronizowane z wózkiem własnej stacji i włączone do obwodu roboczego, tak że drukuje telegramy swej własnej stacji.

Uzgodnienie biegu jest oczywiście pierwszym warunkiem działania juza. Służy do tego regulator szybkości, który pozwala nastawić urządzenia na ustaloną szybkość obrotową. Drobne uchylecia od synchronizmu zostają poprawione przy każdym znaku przez ząb korekcyjny q , który wsuwa się między zęby koła korekcyjnego, ustawiając je na to samo położenie względem miejsca odbicia litery.

Trzeba jeszcze zapewnić, aby oba koła czcionkowe jednocześnie były na tej samej literze. W tym celu po otrzymaniu wezwania dzwonkiem na stacji odbiorczej naciska się nastawiak zerowy, który unieruchamia koło czcionkowe i nastawia je zarazem na umówiony raz na zawsze specjalny znak („blank literowy“). Stacja nadawcza rozpoczyna nadawanie tym właśnie umówionym znakiem i pierwszy jej impuls uruchamia sam aparat odbiorczy, przy jednakowych wobec tego położeniach obu kół.

Napęd aparatów jest albo silnikowy, albo przez ciężary zawieszane na blokach (rys. 36 i tabl. XII). Już pozwala przesyłać tylko jedną depezę po przewodzie i ma na dzisiejsze wymagania zbyt małą szybkość nadawania. Został też w Stanach Zjednoczonych zarzucony całkowicie.

13. NADAWANIE POŚPIESZNE Z TAŚMY

Nadawanie pośpieszne odbywa się zawsze z taśmy nadziurkowanej w oddzielnej dziurkarce. Dziurkowanie odbywa się oczywiście znacznie wolniej niż nadawanie, ale kilka dziurkarek może jednocześnie pracować dla tego samego nadajnika.

W dziurkarce Wheatstone'a¹⁴ mamy trzy klawisze: lewy daje układ odpowiadający kropce (rys. 34,I), tj. trzy otworki na jednej prostej (środkowy, mniejszy, służy do posuwu taśmy) i przesuwa taśmę o jeden odstęp. Drugi daje układ kreski (rys. 34,II) i przesuwa o dwa odstępy, trzeci daje samą tylko dziurkę przewodnikową. Istnieją zresztą maszyny o klawiaturze maszyny do pisania, dziurkujące za jednym naciśnięciem wszystkie otworki, wchodzące w skład jednej litery!

Nadajnik Wheatstone'a (tabl. XIII^B), przez który przepuszcza się taśmę, napędzany ciężarem, sprężyną albo silnikiem, zawiera obracającą się dokoła osi poziomej gwiazdkę, której promienie wchodzą w otworki przewodnikowe taśmy i posuwają ją stale w kierunku poziomym. Dwa cienkie, metalowe, pionowe pręty, po jednym z każdej strony gwiazdki, wahają się w dół i w górę w takim rytmie, że trafiają właśnie jeden w górne, drugi w dolne otworki taśmy (według rys. 34; taśma ma płaszczyznę poziomą i oba otworki są na tym samym poziomie). Trafienie w górny powoduje wysłanie impulsu w jednym, trafienie w dolny — w przeciwnym kierunku. Odstęp między kolejnymi trafieniami będzie dwa razy większy dla kreski niż dla kropki, gdyż dla kreski dolny otwór jest odsunięty dalej w kierunku ruchu taśmy. Szybkość nadawania wynosi do 12 liter na sekundę. Odbierać można na każdym odbiorniku prądu dwukierunkowego. Istnieje też odbiornik (Creeda²⁰, tabl. XIII^A), który dziurkuje taśmę, i deszyfrator, który z biegnącej w nim taśmy drukuje literami.

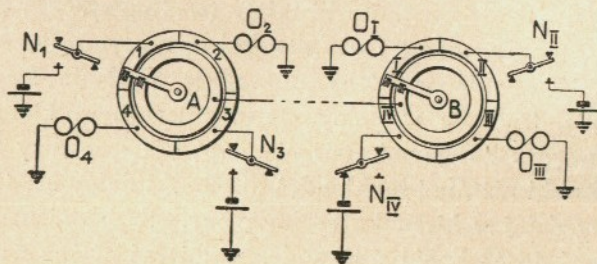
14. APARATY WIELOKROTNE, POŚPIESZNE I DRUKUJĄCE

Jesteśmy dziś kapryśni: od współczesnego aparatu telegraficznego wymagamy szybkości (do 12 liter na sekundę), dobrego wyzyskania przewodów i drukowania literami. Nic więc dziwnego, że telegrafy dzisiejsze to bardzo skomplikowane urządzenia. Spróbujemy dać o nich wyobrażenie, zatrzymu-

jąc się tylko na głównych elementach konstrukcji. Najdawniejszym aparatem wielokrotnym, tj. przesyłającym kilka depesz po tym samym przewodzie, jest tzw. u nas „bodo“ od nazwiska wynalazcy Emila Baudot²¹ (1874). Znajdujemy w nim wszystkie zasadnicze elementy aparatów współczesnych.

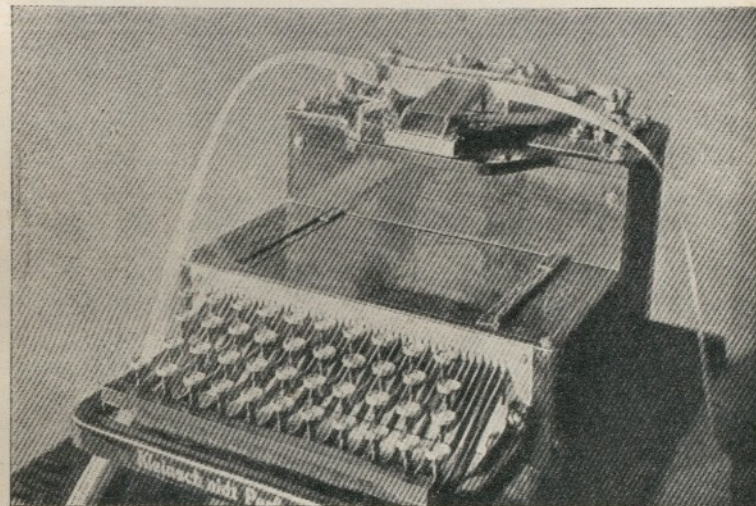
Wszystkie one korzystają z alfabetu pięcioimpulsowego. Pięć impulsów przebywających (z szybkością około 50 na sekundę) ustawia pięć jednakowych elementów odbiornika (np. kotwiczki elektromagnesów), każdą w jednym z dwóch możliwych położań. Ustawienie to powoduje wydrukowanie odpowiadającej tej kombinacji litery, naturalnie po różnych skomplikowanych perypetiach.

Wielokrotność osiąga się w następujący sposób (rys. 37): pierścień jednolity A osadzony jest na jednej osi z pierście-

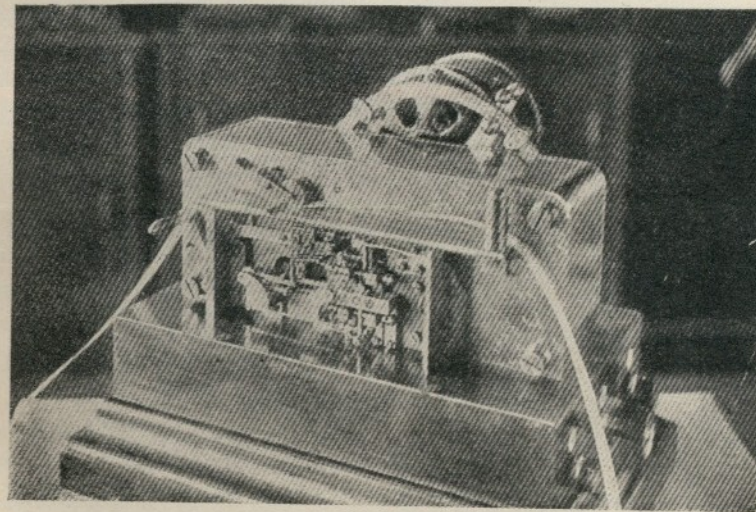


Rys. 37. SCHEMAT TELEGRAFU POŚPIESZNEGO WIELOKROTNEGO (CZTERY DEPESE PO JEDNYM PRZEWODZIE)
N — aparaty nadające, O — aparaty odbierające

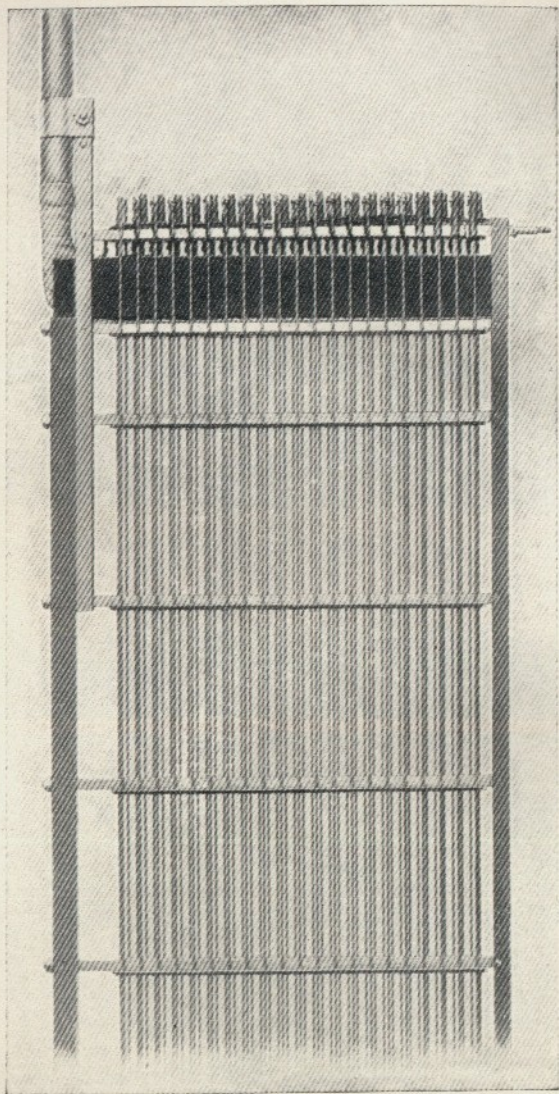
niem, podzielonym na wycinki (cztery na rysunku, ale bywa ich i 6). Każdy wycinek pierścienia jest podzielony na pięć mniejszych odcinków (nie pokazanych na rysunku). Dwie szczotki na drążku, wirującym dokoła wspólnej osi pierścieni, zwierają coraz to inny odcinek z pierścieniem jednolitym, od którego biegnie przewód do drugiej stacji. Każdy większy wycinek odpowiada jednemu nadajnikowi albo odbiorniko-



A. APARAT CREEDA DZIURKUJĄCY TAŚMĘ DO POŚPIESZNEGO NADAWANIA TELEGRAMÓW



B. POŚPIESZNY NADAJNIK TELEGRAFICZNY WHEATSTONE'A



RAMKA WIELOKROCIA W CENTRALI AUTOMATYCZNEJ
ERICSSONA

Zawiera ona 60 gołych drutów, po 3 dla każdego abonenta

wi; każdy z pięciu małych odcinków jest połączony z odpowiednim elementem nadajnika (lub odbiornika) i przepuszcza jeden z pięciu impulsów, składających się na literę. Gdy szczotki wirują, a nadajniki pracują, przez przewód będą biegly stale piątki impulsów, na przemian z każdego nadajnika (lub do każdego odbiornika). W ten sposób z każdej z biegnących depesz kolejno idzie jeden tylko znak; ale przerwa między dwoma znakami tej samej depeszy jest konieczna dla ustawienia elementów odbiornika. Na drugiej stacji znajdują się oczywiście podobne pierścienie i synchronicznie z pierwszą wirujące szczotki. Tylko wycinkom nadajnikowym pierwszej odpowiadają wycinki odbiornikowe drugiej.

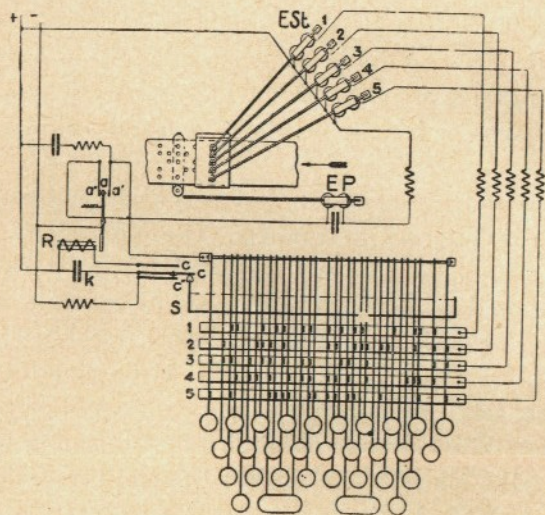
Zsynchronizowanie aparatów jest oczywiście najtrudniejszą sprawą i różne są na to sposoby. Oto pomysłowy sposób Baudota: z gruba regulujemy szybkości tak, żeby na jednej stacji II (tzw. korygowanej) była ona nieznacznie większa. Ze stacji I wysyła się w równych odstępach specjalne impulsy korygujące, które przechodzą na stacji II do elektromagnesu hamującego, jeżeli zastaną tam szczotki w prawidłowym położeniu. Szczotki wtedy zostają nieco zahamowane, a więc dopóki nadwyżka ich szybkości będzie istniała, przesunięcie ich względem szczotek I nie będzie mogło wzrosnąć do szkodliwych rozmiarów.

Deszyfrowanie, tj. przerabianie piątek na impulsy, po ustawieniu elektromagnesów we właściwym układzie, odbywa się przez przebiegi czysto mechaniczne, z których opisu rezygnujemy; kończą się one wybraniem odpowiedniej litery na kole czcionkowym i dociśnięciem do niej taśmy.

Nadawanie może się zawsze odbywać za pomocą taśmy, a w niektórych aparatach również ręcznie. Bardzo jest rozpowszechnione połączenie zarówno dziurkarek, jak aparatów odbiorczych i nadawczych ręcznych z maszyną do pisania. Po-

zwała to obsługiwać aparaty ludziom niewyszkolonym. Urządzenia te są bardzo skomplikowane mechanicznie i nie możemy ich opisać. Powiemy tylko słówko o zasadniczej, wspólnej myśli łączenia pięcioimpulsowego alfabetu z klawiaturą maszyny do pisania.

Pod drążkami metalowymi, na których siedzą klawisze, znajduje się pięć poprzecznych szyn, prostopadłych do drążków

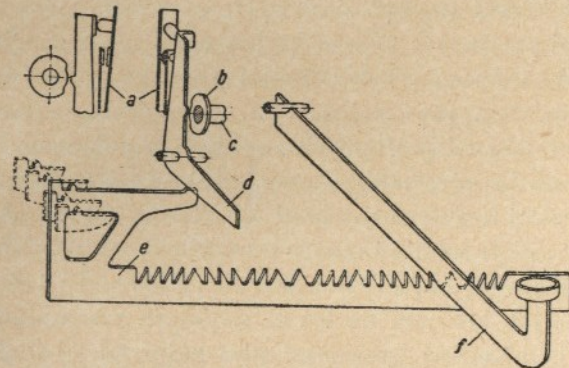


Rys. 38. SCHEMAT DZIURKARKI TELEGRAFU POSPIESZNEGO SYSTEMU SIEMENSA

i ułożonych na jednym poziomie (rys. 38). W dziurkarcie Siemens'a drążki mają u spodu występy, inne na każdym, tak że po naciśnięciu drążek zetknie się z pewnymi szynami. Każdy styk odpowiada impulsowi prądu w alfabecie pięcioimpulsowym, a występy są dobrane zgodnie z układem impulsów danej litery. Szyny są połączone z elektromagnesami ESt. Po głębszym wciśnięciu klawisza, przez elektromagnes, odpo-

wiadające dotkniętym szynom, przejdą impulsy i przyciągnięcie kotwiczek wywoła przebicie w taśmie odpowiednich otworów.

W innych aparatach (dalekopisach, do których zaraz przejdziemy) szyny te noszą nazwę „wybierakowych“ i są na górnej swej krawędzi zazębiane jak piły (rys. 39), ale w sposób



Rys. 39. SZYNA WYBIERAKOWA DALEKOPISU MECHANICZNEGO „SIEMENS-HALSKE“

różnorodny, a związany z odpowiednikiem pięcioimpulsowym litery danego drążka. Niektóre zęby są ścięte w lewo, inne w prawo. Naciśnięcie drążka w dół wpycha go między zęby szyn i rozsuwa je na prawo i na lewo, zależnie od wycięcia. Przesunięcie szyny na prawo spowoduje w dalszym biegu maszyny wysłanie impulsu prądowego: w ten sposób zaszyfrowaliśmy literę. W odbiornikach tego typu sygnały prądowe ustawiają szyny wybierakowe na położenie odpowiadające przesyłanej literze, a mechanizm zajmuje się jej wydrukowaniem.

15. DALEKOPISY

Dalekopisy, to telegrafy „domowe“, drukujące za pośrednictwem maszyn do pisania i przeznaczone do indywidualnego

użytku jak telefony, ale zastępujące je tam, gdzie jest potrzebne utrwalenie komunikatu. Nie są one synchronizowane, lecz mają działanie tzw. „start-stop“, tzn. mechanizmy nadawcze i odbiorcze ruszają dla nadania litery i zatrzymują się po jej nadaniu. Pracują one metodą pięcioimpulsową na prądzie ciągłym jednokierunkowym. Mechanizm jest napędzany przez silnik elektryczny prądem sieciowym.

Dalekopisy są u nas jeszcze bardzo mało używane. Stosuje je już Polska Agencja Telegraficzna przy przesyłaniu wiadomości oddziałom prowincjonalnym. Do połączenia korzysta się z przewodów telegraficznych zwykłych, a połączenie odbywa się przez łącznice telegraficzne. Istnieją też w Niemczech specjalne sieci z automatycznymi łącznicami, tak że abonent „nakręca“ numer miasta i numer wzywanego, jak w telefonach automatycznych (rozdz. VI). W Anglii, Holandii i Stanach Zjednoczonych korzysta się też ze zwykłych przewodów telefonicznych: abonenci łączą się z sobą najprzód telefonicznie, a potem włączają dalekopisy. Rzecz jasna, że są one przeznaczone tylko dla większych zakładów handlowych, przemysłowych itd.

16. TELEGRAFIA NA PRĄDACH NOŚNYCH

Istnieje jeszcze jeden bardzo ciekawy sposób telegrafowania wielokrotnego, tj. przesyłania jednoczesnego wielu depech po tym samym przewodzie. Pozwala on również wyzyskać dla telegrafii przewody telefoniczne zajęte rozmową, a nawet sieci wysokiego napięcia, po których biegnie prąd. Warto poznać przynajmniej jego zasadę.

Wiemy, że prądy zmienne mają różne częstotliwości. W prądach tych jest wiele głębokiego podobieństwa do światła różnych barw. Możemy łatwo mieszać z sobą światło czerwone, niebieskie i żółte; otrzymamy wtedy zupełnie jednolite światło białe. Ale pomimo tej jednolitości i zupełnego mieszania,

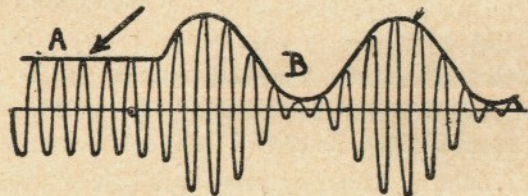
możemy wszystkie składniki oddzielić z powrotem, jeżeli będziemy mieszać światło przepuszczali przez odpowiednio zabarwione szkła: czerwone, niebieskie i żółte. Możemy więc przy pomocy jednego promienia świetlnego przesłać trzy sygnały optyczne, jeżeli będziemy migali promieniami składowymi w różny sposób. Adresat jednego sygnału będzie obserwował przez okulary czerwone, drugiego przez niebieskie, trzeciego przez żółte, i każdy będzie widział inne miganie; szkła te nazywają się filtrami, bo odfiltrowują pozostałe promienie.

Zupełnie podobnie prądy zmienne różnej częstotliwości, wpuszczone do tego samego obwodu, mieszają albo sumują się, jak mówimy, w zupełnie jednolity prąd zmienny, po którym na razie nie można poznać, że powstał przez zmieszanie. Ale istnieją filtry elektryczne, które na stacji odbiorczej przepuszczają do każdego aparatu tylko przeznaczony dla niego składnik.

Filtr to układ cewek i kondensatorów, czasem zupełnie prosty, częściej bardzo skomplikowany, w zależności od tego, czego się od niego wymaga. Filtr ma dwa zaciski wejściowe i dwa zaciski wyjściowe, a więc razem cztery. Do zacisków wejściowych załącza się przewód, którym prąd przyszedł, i przewód, którym ma wrócić. Prąd przechodzi wewnątrz filtru przez pierwszy jego obwód (a może ich być kilka) i wraca do swego źródła, wywoławszy przez indukcję w drugim obwodzie filtru inny prąd. Obwody wewnątrz filtru oddziałują na siebie indukcyjnie, aż wreszcie w ostatnim powstaje prąd „przefiltrowany“, który odprowadzamy przez parę zacisków wyjściowych. Prąd ten będzie właściwie wciąż jeszcze mieszaniną prądów o tych samych częstotliwościach, które były w wejściowym: ale niektóre składniki będą miały tak małe natężenie, że można ich nie liczyć: zostały one stłumione, odfiltrowane. Filtr jest zatem urządzeniem tłumiącym silnie wchodzące doń prądy o pewnych częstotliwościach. Jeżeli

tlumi on silnie wszystkie prądy od pewnej częstotliwości w dół, mówimy że jest filtrem przepustowym wyższej częstotliwości, jeżeli od pewnej częstotliwości w górę — że jest filtrem przepustowym niższej częstotliwości. Bywają filtry, które przepuszczają tylko pewne „pasmo“ częstotliwości (np. od 100 do 150 okr/sek); są to filtry przepustowe pasmowe. Inne znów zatrzymują pewne pasmo częstotliwości: filtry zaporowe pasmowe. Jeżeli na przykład na jednym przewodzie jednocześnie telefonujemy (częstotliwość przeszło 300 okr/sek) i telegrafujemy (częstotliwość poniżej 50 okr/sek), to na stacji odbiorczej wystarczy umieścić przed odbiornikiem telefonicznym filtr przepustowy wyższej (niż 300) częstotliwości, a przed telegraficznym — przepustowy niższej częstotliwości. Chociaż powstają pewne trudności, taka sama jest zasada przy jednoczesnym telegrafowaniu z kilku nadajników.

Ale jak odbywa się przesyłanie znaków morsa przy pomocy prądu zmiennego? Używa się do tego tzw. „prądów sinusoi-



Rys. 40. PRĄD NOŚNY SINUSOIDALNY (A)
I MODULOWANY (B)
W kierunku poziomym odkładany czas, w kierunku
pionowym natężenie prądu elektrycznego

dalnych“, które odpowiadają barwom czystym, nie rozszczepiającym się w pryzmacie, jak czerwona, niebieska, żółta itd. Jeżeli w kierunku poziomym będziemy odkładali czas, a w kierunku pionowym natężenie prądu sinusoidalnego, otrzymamy mniej więcej rysunek 40. Wyobraźmy sobie teraz, że ktoś

miga czerwonym światłem, albo też je kolejno osłabia i wzmacnia. Może w ten sposób sygnalizować znakami morsa umówiwszy się, że słabe światła oznaczają przerwę, a silne kreskę albo kropkę. Istnieją urządzenia elektryczne, które pozwalają zmieniać największą wartość prądu od okresu do okresu, podobnie jak można zmieniać szybko natężenie światła. Przebieg zmian prądu będzie wtedy np. taki jak na rys. 40. Prąd pierwotny nazywamy wtedy „nośnym“, a prąd zmieniony „modulowanym“. Możemy modulować prąd nośny za pomocą impulsów i przerw; wtedy będziemy mieli odpowiedniki kreski i kropki w przebiegu jego wahań.

Nie możemy tu opisać przyrządów do modulowania prądu w dowolny sposób, gdyż posługują się one lampą katodową, z którą się czytelnik spotka dopiero w rozdziale VIII, jeżeli jej dotąd nie zobaczył w swym odbiorniku radiowym. Prócz tego zawierają one baterie elektryczne, transformatory, kondensatory.

Zupełnie podobnie do nich zbudowane są „demodulatory“; prąd modulowany wchodzi do nich, żeby wyjść z nich już nie jako prąd szybkozmienny, lecz jako prąd jednokierunkowy o zmianach, odtwarzających dokładnie zarys modulacji. W przypadku telegrafowania będzie to prąd z impulsów i przerw, który wejdzie już wprost do jakiegokolwiek odbiornika telegraficznego.

Przy wielokrotnej telegrafii nośnej każdy nadajnik pracuje na innej częstotliwości, dostatecznie różniącej się od sąsiednich, i wysyła swe impulsy i przerwy do modulatora. Prądy różnych nadajników łączą się we wspólnym przewodzie dopiero po zmodulowaniu. Po przybyciu na stację nadawczą najprzód każdy przechodzi przez ten filtr, który go przepuści, dzięki czemu prądy te okażą się rozdzielone. Z filtru przejdzie do demodulatora, a potem już jako zwykły sygnał telegraficzny do odbiornika.

17. LINIE TELEGRAFICZNE

Zajmowaliśmy się dotąd głównie tym, co się dzieje na stacjach telegraficznych. Tymczasem zanim sygnał dostanie się z jednej do drugiej, dzieją się z nim w przewodzie różne rzeczy, które stawiają przed „teletechnikami“ mnóstwo trudnych zagadnień. Tak np. gdy linia jest zbyt długa, sygnał przybywa na jej koniec silnie zniekształcony: zmiany prądu na końcu linii nie naśladują dokładnie zmian na jej początku, prąd przeciąga się na przerwę między kropką i kreską, zmienia się w czasie nadawania jednej kreski itd. Trzeba wprowadzać specjalne przekaźniki, rozcinające linię na krótsze odcinki i „odświeżające“ sygnał. Innym przykładem występujących tu trudności jest tłumienie sygnału przy telegrafowaniu prądami zmiennymi: sygnał przychodzi na koniec linii znacznie osłabiony. Zmniejsza się tłumienie przez „pupinizację“, która polega na umieszczaniu na linii w równych odstępach cewek dobranych do częstotliwości prądu telegrafowania. Zakłócenia atmosferyczne, czy od przewodów tramwajowych, czy innych telegraficznych, wpływ ładunków elektrycznych ziemskich — to dalsze trudności.

Osobny rozdział stanowi urządzenie central telegraficznych, które mają za zadanie łączyć z sobą miejscowości bez stałego połączenia telegraficznego, albo też przesyłają dalej odbierane depesze. O komplikacjach w urządzeniu takiej centrali daje wyobrażenie następujący szczegół: do przesyłania odebranych depesz z jednego końca sali na drugi celem dalszego nadania, używa się na wielkich centralach taśm ruchomych o szybkości do 120 metrów na minutę!

Pięknym rozdziałem historii cywilizacji jest połączenie Europy z Ameryką kablem podoceanicznym. O kablach podmorskich myślał już w roku 1798 wspomniany przez nas Hiszpan, Salva, planowali ich ułożenie Morse i Wheatstone. Lecz dopiero w roku 1850 przeciągnięto pierwszy kabel między

Anglią i Francją od Duwru do Calais. Był on izolowany kauczukiem i zawiódł niebawem po silniejszej burzy. W następnym roku wzmocniono go i potem służył już dobrze.

W roku 1857 spróbowano po raz pierwszy przeciągnąć kabel przez Atlantyk, ale urwał się on szybko przy rozwijaniu i końców jego nie udało się wyłowić. W roku następnym wyciągnięto go wprawdzie szczęśliwie między portem irlandzkim Valentia a Nową Fundlandią, lecz zawiódł beznadziejnie po trzech miesiącach. Osiem lat upłynęło zanim w roku 1865 ponowiono próbę, ale i tym razem urwał się on po rozwinięciu dwóch trzecich. W roku następnym przeciągnięto jednak szczęśliwie nowy kabel, a nawet wyłowiono zeszlóroczny, tak że były do dyspozycji już dwa połączenia transatlantyckie. Kupiec amerykański, Cyrus Field, położył przy tym olbrzymie zasługi, okazując niewyczerpaną energię i wiarę w powodzenie dzieła. Następny kabel ułożyło już w roku 1869 towarzystwo francuskie i odtąd przybywało ich stale. W roku 1929 było ich już 21. Długość kabla wynosiła około 7 000 km, chociaż odległość tylko około 3 000 km.

Rzecz jasna, że na stację odbiorczą prąd przybywa tak słaby, że przyrząd odbiorczy musi być niezmiernie czuły. Do tego celu właśnie skonstruował lord Kelvin znany nam „siphon recorder“ (rys. 31), wprowadzony w roku 1867 i jeszcze używany. Przedtem pracował jako odbiornik czuły galwanometr zwierciadłowy, również konstrukcji Kelvina. W roku 1871 wprowadzono już system duplexowy Edisona, który pozwalał na jednoczesne telegrafowanie w przeciwnych kierunkach i podwoił wyzyskanie kabla. Szybkość telegrafowania od 15 znaków na minutę w roku 1858 wzrosła do obecnej wartości 2 500 na minutę, a opłata od 100 dolarów za depeszę spadła do 2 złotych za wyraz. Ostatnio wprowadzono nawet odbiorniki drukujące.

W chwili obecnej istnieje na świecie około 3 500 kabli pod-

morskich, o łącznej długości około 650 000 km. Najdłuższy z nich ma 17 000 km długości i biegnie między San Francisco a Szanghajem. Najstarszy, założony w 1851 roku, łączy Dover z Calais. Europę łączy 37 kabli z innymi kontynentami.

Powiemy kilka słów o współczesnych metodach budowy kabli morskich. Nie trzeba pewnie podkreślać, że konstrukcja, która musi przez dziesiątki lat spoczywać na dnie morza, narażona na działania mechaniczne i chemiczne, musi być starannie obmyślona i łatwo zrozumieć, że kabel podmorski, to dość skomplikowana budowa, oparta na bogatym doświadczeniu. Jądro kabla stanowi przewodnik miedziany, owinięty cienką wstęgą, albo nicią ze stopu niklu z żelazem, co pozwala znacznie zwiększyć szybkość telegrafowania. Dokoła tego najpierw mamy mosiężną osłonę, potem warstwę juty i pancierz z drutu. Ażeby zapobiec rdzewieniu, pancierz jest jeszcze owinięty przesmoloną taśmą, albo drugą warstwą juty, a na pełnym morzu stosuje się nawet oddzielne owinięcie dla każdego drutu pancierza. W chwili obecnej kable założone przed 40 laty, znajdują się jeszcze w doskonałym stanie. Średnica kabla wynosi przeciętnie 25 mm, a w pobliżu brzegu, gdzie musi on być odporniejszy mechanicznie, dochodzi do 76 mm. Co pewien odcinek kabla włącza się automatycznie przekaźniki dla odnowienia sygnału.

Do zakładania kabli służą teraz specjalnie budowane okręty, z których obecnie największy nosi nazwę „Dominia“. Ma on cztery tanki do kabla i może go zabrać w ilości 5 500 km. Przed układaniem kabel jest próbowany w całości w tanku; stąd biegnie do mechanizmu układającego, w którym odbywa się stały pomiar naprężenia kabla. Jednocześnie rozwija się cienki drut, który pozostaje napięty i którego długość odjęta od długości rozwiniętego kabla pozwala wyznaczyć jego zwis. Koniec nadbrzeżny zanurza się jaknajgłębiej, żeby go nie uszkodziły przepływające statki. Zadanie to porucza się spe-

cialnemu okrętowi. W razie uszkodzenia próby elektryczne pozwalają wyznaczyć odległość odpowiedniego miejsca od okrętu. Specjalne urządzenia pozwalają wtedy przeciąć kabel wewnątrz wody, wyciągnąć go na powierzchnię, po czym zostaje połączony z innym bębniem. Gdy kabel już dawniej ułożony przestaje służyć, pomiary oporu i pojemności pozwalają ustalić miejsce uszkodzenia na kablu, a w połączeniu z dokładnym jego wykresem na mapie prowadzą do szerokości i długości geograficznej odpowiedniego miejsca na oceanie.

Koszt kabla transatlantyckiego, długości około 2 000 km, wynosi mniej więcej 4 miliony dolarów, a koszt roczny utrzymania i konserwacji około 600 000 dolarów.

ROZDZIAŁ V
T E L E F O N

1. PIERWSZE PRÓBY

Johann Philip Reis²², nauczyciel w małej miejscowości niemieckiej, Friedrichsdorf, był twórcą pierwszego urządzenia do przekazywania dźwięku na wielką odległość. W roku 1861 zbudował on przyrząd, w którym głos, działając na miejsce luźnego styku w obwodzie elektrycznym, wzmacniał ten styk lub osłabiał i zmieniał w ten sposób opór elektryczny obwodu. Odkrycie swe zrobił Reis przy powtarzaniu o 24 lata wcześniej doświadczenia C. G. Page'a²³, w których miękki walec żelazny, szybko magnesowany i odmagnesowywany, dawał pewne trzaski. Podobne były doświadczenia Gassiot'a, de la Rive'a i innych, oparte na szybkim przerywaniu prądu, płynącego przez uzwojenie elektromagnesu. Bourseul²⁴, pomysły wynalazca francuski, już w roku 1854 proponował zastosowanie sprężystego krążka do przerywania obwodu elektrycznego pod działaniem drgań powietrza, wywołanych przez głos ludzki. Doświadczenia te były bez wątpienia znane Reissowi, który stosował w swym aparacie pudełko z otworem zakrytym silnie napiętą błoną, do której był umocowany pasek platynowy. Gdy błona drgała pod działaniem dźwięków, pasek platynowy, dotykający metalowego ostrza i zamykający przez styk ten obwód elektryczny, wykonywał drgania w tym samym rytmie. Urządzenie odbiorcze składało się z miękkiej igły żelaznej, umocowanej do pudła rezonansowego i otoczonej cewką izolowanego drutu. Drgania błony aparatu nada-

jącego szybko przerywały i zamykały obwód, a szybkie magnetyzowanie i odmagnetyzowanie igły dawało ton o tej samej wysokości, co ton pierwotny, który cały proces wywołał.

Urządzenie to przekazywało dość dokładnie dźwięki muzyczne i melodie, ale podzielone są zdania, czy mogło ono również przekazywać mowę. Zachodziło to zapewne, ale w stopniu tak niedoskonałym, że praktycznie aparat był bez wartości. Sam Reis w odczycie, wygłoszonym w roku 1861 na posiedzeniu Towarzystwa Fizycznego w Frankfurcie, powiedział: „jak dotąd, odtwarzanie mowy ludzkiej jest wadliwe: spółgłoski są na ogół wyraźne, ale nie można tego powiedzieć o samogłoskach“.

Urządzenie telefoniczne o wartości praktycznej zbudował dopiero Aleksander Graham Bell²⁵ w roku 1876. Bell urodził się w Edynburgu 3 marca 1847 roku. I dziad jego, i ojciec zajmowali się z zapalem nauczaniem głuchoniemych. Dziad był zresztą wynalazcą systemu „widzialnej mowy“ dla głuchoniemych, który polegał na „czytaniu z warg“. We wspomnieniach ojca Bella znajdujemy następujący urywek:

Kiedy trzech synowie moi byli jeszcze dziećmi, zabrałem ich z sobą, by im pokazać mówiącą maszynę niejakiego pana Fabera, która nas wszystkich interesowała zawodowo. Aby zbadać ich wiedzę teoretyczną i pomysłowość mechaniczną, wyznaczyłem nagrodę dla tego, który uzyska najlepsze wyniki w naśladowaniu mowy ludzkiej środkami mechanicznymi. Wszyscy zabrali się do roboty, oczywiście nie osiągając sensacyjnych wyników. Jednakże pomysł średniego, naówczas piętnastoletniego A. G. Bella, był najlepszy. Zbudował on sztuczną czaszkę gumową, która wydawała słaby głos, gdy się w nią dmuchało przy pomocy ręcznego mieszka.

Młody Bell studiował na uniwersytecie w Edynburgu i Londynie, towarzyszył swemu ojcu do Ameryki w roku 1879, a w roku następnym został mianowany profesorem fizjologii mowy na uniwersytecie bostońskim. Później założył własną szkołę, gdzie nauczał systemu „widzialnej mowy“ swego ojca.

Mieszkał u niejakiego Sandersa, z którym się jeszcze spotkamy. W wolnych chwilach wykonywał w piwnicy różne doświadczenia z kamertonami, magnesami i bateriami elektrycznymi.

Jeszcze w Londynie dowiedział się, że fizyk niemiecki, Helmholtz, naśladował samogłoski najzupełniej wyraźnie przy pomocy widełek strojowych, uruchamianych przez elektromagnesy. Podsunęło to Bellowi myśl telegrafu muzycznego. Piszze on:

Wyobraziłem sobie szereg kamertonów o różnej wysokości, ...przy czym każdy z nich za każdym drgnieniem przerywa prąd elektryczny. Narzucała się myśl, by przez naciśnięcie klawisza, jak na fortepianie, skierować przerywany ten prąd przez drut telegraficzny do elektromagnesów, działających na struny fortepianu lub innego instrumentu muzycznego. Wtedy grając w jednym mieście na owym fortepianie z kamertonów, możnaby wywołać muzykę z owych elektromagnesów w innym mieście. ... Nie widziałem żadnej przeszkody, by naciśnięcie kilku klawiszów po stronie kamertonów miało nie dać słyszalnego wyraźnie akordu na fortepianie w odległym mieście.

Po trzech latach pracy Bell, kierując się tym pomysłem, opracował „telegraf harmoniczny“, urządzenie, które pozwalało przesłać jednocześnie 10 do 12 sygnałów Morsa przez zastosowanie zjawiska tzw. „rezonansu“. Ustaliwszy zasadę, zabrał się Bell do „telegrafu mówiącego“. Próbował on przerabiać mowę na znaki widzialne zapomocą drgającej igły. Badanie drgań mogło doprowadzić do zrozumienia, jakim odpowiadają dźwiękom, i w ten sposób głusi mogliby „widzieć“ mowę. Lecz pewnego razu widok dwóch igieł zgodnie drgających skierował myśl jego na inne tory.

Bell wiedział już wtedy, że fale dźwiękowe uderzając w bębenek ucha ludzkiego, wprawiają go w drgania podobne do drgań igły magnetycznej. Na krótko przedtem wykonał to doświadczenie z człowiekiem głuchym. W uchu człowieka głuche go umieścił słomkę, której jeden koniec opierał się o bębenek, a drugi o zakopcone szkło. Gdy Bell krzyczał do ucha, koniec

słomki zapisywał drgania na szkle. „Jeżeli głuchoniemy może mówić, nauczę mówić i żelazo!“ — tak miał Bell powiedzieć, mając na myśli wywoływanie podobnych drgań płytek żelaznych za pomocą prądu elektrycznego.

2. BELLA „TELEFON MÓWIĄCY“

Prace Bella na uniwersytecie tak mało mu pozostawiały czasu na doświadczenia, że zrezygnował ze swego stanowiska i utrzymywał się z lekcji prywatnych. Jedną z jego uczennic była późniejsza jego małżonka, Mabel Hubbard, której ojciec wraz z wspomnianym już Sandersem finansował jego doświadczenia. Lecz gdy Bell zajął się elektrycznym przekazywaniem mowy, zainteresowanie ich osłabło i zagroził wycofaniem swych subsydiów, jeżeli nie powróci do pierwotnego pomysłu telegrafu muzycznego. Wreszcie, na dobitkę, przyszły teść oświadczył, że nie pozwoli na małżeństwo, jeżeli Bell nie zarzuci „tego głupiego telefonu“.

Wobec tych trudności Bell przez trzy lata jeszcze — przy współudziale Thomasa A. Watsona ²⁶⁾ — pracował nad udoskonaleniem swego telegrafu. Znowu przypadek przyniósł mu ostateczne zwycięstwo w walce o elektryczne przekazywanie dźwięków; tym razem przypadkowe uszkodzenie okazało się właśnie niezbędną zmianą konstrukcyjną. Pewnego upalnego popołudnia, w czerwcu roku 1875, Bell i Watson jak zwykle majstrowali, próbując pewnego nowego urządzenia. Watson, sam w pokoju przy aparacie nadawczym, miał jakieś kłopoty ze sprężyną, która nie chciała drgać. Szarpał ją tam i z powrotem, żeby ją zmusić do drgania, gdy usłyszał głos Bella, który wpadł z sąsiedniego pokoju wołając: „Co tam pan robił, proszę nic nie zmieniać i pokazać mi!“.

„Pokazałem mu — pisze Watson — było to bardzo proste. Sprężynka, w miejscu swego przerywanego kontaktu, stopiła się z drugą stroną. Podczas gdy szarpałem, żeby ją oderwać

ponownie, drgania jej przed biegunem magnesu wywołały właśnie ten wspaniały, przewidywany przez Bella skutek: prąd elektryczny, którego natężenie zmieniało się właśnie tak, jak gęstość powietrza w otoczeniu tej sprężyny. Falujący ten prąd przebiegł przez druty do odbiornika, który na szczęście był zdolny do przekształcenia prądu z powrotem na bardzo słabe echo pierwotnego dźwięku drgającej sprężyny!“

Był to przypadek. Ale mało kto usłyszawszy słaby dźwięk w odbiorniku byłby zdolny ocenić olbrzymie możliwości, które otwierało to zjawisko. Lecz Bell zrozumiał od razu, że jeżeli taki dźwięk może być przekazany, aparat bardziej doskonały będzie mógł przekazywać wszelkie inne dźwięki: muzykę czy słowo.

Zarzucono oczywiście z miejsca prace nad telegrafem muzycznym i obaj współpracownicy z pasją zabrali się do telefonu. Po czterdziestu tygodniach powstało pierwsze urządzenie. Istotną jego częścią składową była membrana z błony zwierzęcej używanej przy obróbce złota, napięta na jednym z odbiorników; środek jej był połączony ze swobodnym końcem sprężyny, która miała drgać zgodnie z drganiami powietrza i wywoływać zmiany prądu, których natężenie odpowiadało dokładnie zmianom gęstości powietrza pod wpływem mowy.

10 lutego 1876 był dniem tryumfu Bella. Przewody biegły przez dwa piętra, od facjaty do parteru. Bell nie słyszał Watsona, chociaż ten krzyczał z całych sił; lecz za to Watson wyraźnie przez słuchawkę usłyszał słowa Bella: „Proszę tu przyjść, jest mi pan potrzebny“.

Były to pierwsze słowa wypowiedziane przez telefon i Watson słusznie zażartował, że Bell z pewnością powiedziałaby coś ciekawszego, gdyby sobie zdawał sprawę, że w tej chwili tworzy historię. Wspomniano tę rozmowę w 39 lat później, gdy Bell i Watson wzięli udział w uroczystości otwarcia transkontynentalnej amerykańskiej linii telefonicznej, arcydzieła tech-

niki telekomunikacyjnej. Linia ta, około 5500 km długości, o ciężarze 290 ton, biegnie na 130 000 słupach przez 13 stanów. Bell, w momencie otwarcia, jako pierwsze słowa na nowej linii powtórzył zdanie pierwszej rozmowy telefonicznej na świecie: „Proszę tu przyjść, jest mi pan potrzebny“. Na to Watson, na drugim końcu linii odpowiedział: „Trwało by to teraz cały tydzień!“.

Mówi się, że pomysły są zaraźliwe; telefon jest jeszcze jednym przykładem dziwnych zbiegów okoliczności, które się w nauce zdarzają. Wiele lat czekała ludzkość na wynalazek telefonu, a tu tego samego ranka, 14 lutego 1876, dwóch ludzi zgłosiło do opatentowania modele telefonów niemal w tej samej chwili, i to w tym samym urzędzie. Jednym z nich był Bell, drugim — spóźnionym o kilka godzin — Elisha Gray²⁷. Żaden z nich nie wiedział, że ma rywala. Później musiał Bell przed sądem odeprzeć przeszło 600 pretensji do pierwszeństwa. Wobec olbrzymiej rentowności wynalazku, niektóre z tych procesów ciągnęły się bardzo długo, ale z wszystkich Bell wychodził zwycięsko. Właśnie Elisha Gray był jednym z najmniej bezpieczniejszych przeciwników, ale własny jego współnik mówił złośliwie, że Gray był najbliżej celu spośród wszystkich, którzy telefonu nie wynaleźli.

9 października 1876 roku odbyła się pierwsza rejestrowana rozmowa telefoniczna Bella z Watsonem. Jako przewodów użyto linii telegraficznej między Cambridge²⁸ i Bostonem, dwoma bliskimi miastami w Stanach Zjednoczonych. Wkrótce po tej rozmowie dziennik bostoński *Globe* podał pierwszy komunikat, przekazany w miasta Salem w tym samym stanie przez telefon. Lecz pomimo tych wyraźnych sukcesów, ludzie pozostawali w uprzejmej obojętności i Bell bezskutecznie szukał poparcia finansowego.

Na razie trochę pomogło zdarzenie, które wynalazkowi Bella przyniosło wielki rozgłos. Na wystawie w Filadelfii, w roku 1876,

telefon Bella umieszczono w ciemnym pokoju. Dom Pedro, młody cesarz brazylijski, zbliżył się do stoiska Bella, właśnie w chwili, gdy sędziowie wesoło omawiali nową „zabawkę“. Zauważywszy Bella cesarz powitał go serdecznie, ku zdziwieniu wszystkich otaczających. Okazało się, że Dom Pedro interesował się żywo pracą Bella dla głuchoniemych i przy swoim poprzednim pobycie w Stanach zwiedził jego pracownię w uniwersytecie bostońskim, by je naśladować w swoim państwie. Bell wyjaśnił cesarzowi istotę swego wynalazku i zademonstrował go, odchodząc sam na drugi koniec sali i wypowiadając kilka słów do aparatu. „Mówi, mówi“ zawołał młody monarcha z uniesieniem. Sławny fizyk angielski, Lord Kelvin, który towarzyszył cesarzowi, wziął odbiornik i zawołał z kolei: „Mówi! Ależ to najwspanialsza rzecz, którą widziałem w Ameryce!“.

Wobec takiego przyjęcia telefon przeniesiono z honorami na wybitne miejsce i Bell stał się sławny w przeciągu jednej nocy. Incydent z cesarzem i telefonem dał Bellowi więcej, niż wszystkie jego zabiegi u potentatów finansowych.

Lecz dość długo jeszcze szerokie koła upierały się przy traktowaniu telefonu jako ciekawostki naukowej. Bell i Watson demonstrowali swój wynalazek na publicznych odczytach, przy czym Watson zawsze mówił z pracowni w Bostonie, podczas gdy Bell występował przed audytorium. Po opisie wynalazku przez Bella, Watson nadawał muzykę z pracowni, sam zresztą śpiewając. Takie były na razie korzyści pieniężne z wynalazku.

Dopiero w szesnaście miesięcy po uzyskaniu patentu powstało pierwsze towarzystwo do eksploatacji telefonu. W sierpniu roku 1877 było już w użyciu 778 telefonów. Bell Telephone Association²⁹ — taka była nazwa tego towarzystwa — składała się wtedy z Bella, Watsona, jego teścia Hubbarda i Sandersa. Zaczęło się od instalacji kilku urządzeń sygnalizacyjnych dla ochrony przed włamywaczami, potem ustawiono ma-

łe centralki w Nowym Jorku, New Haven, Bridgeport i Filadelfii. Później jeden z klientów towarzystwa telegrafów Western Union¹⁸, ze sławnej dzielnicy bankowej Wall Street³⁰ w Nowym Jorku, zdecydował się zastąpić swe aparaty Morsa przez telefony. Otóż, na krótko przedtem Bell zaproponował towarzystwu Western Union zakup swego wynalazku, lecz spotkał się z lekceważącą odmową. A teraz Western Union utworzyło konkurencyjne towarzystwo. Bell wytoczył proces, który wygrał, a niebawem akcje jego towarzystwa podskoczyły gwałtownie w górę. Wtedy Bell, Watson i Sanders sprzedali swe udziały, a finansowa eksploatacja telefonu przeszła w inne ręce.

3. EDISON ULEPSZA WYNALAZEK BELLA

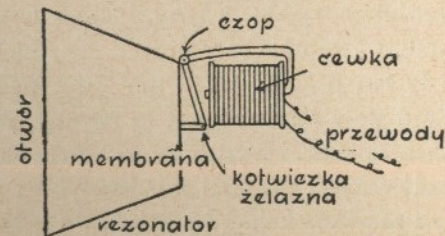
Zasadniczą wadą aparatury Bella była słabość odbieranych dźwięków. Tomasz Alva Edison postawił sobie za zadanie, by je wzmocnić.

Edison urodził się w roku 1847 w stanie Ohio³¹ (Stany Zjednoczone). Czytał wiele już w latach chłopięcych i wcześniej zaczął marzyć o wynalazkach. Mając lat 12 uzyskał wyłączne prawo sprzedaży gazet na pewnej linii kolejowej w okolicy miasta Detroit. Urządził sobie zatem małą drukarnię w pociągu i sprzedawał pasażerom „Grand Trunk Herald”, drukowanego przez siebie i zawierającego ostatnie nowiny („Grand Trunk Railways” było nazwą przedsiębiorstwa kolejowego). W tym samym wagonie urządził również małą pracownię i skracał sobie czas podróży doświadczeniami chemicznymi. Lecz tę część swej kariery zakończył w sposób dość nieoczekiwany i dramatyczny: butelka z fosforem upadła na ziemię wywołując pożar wagonu. Na najbliższej stacji służba wyrzuciła chłopca wraz z drukarnią i chemikaliami. Zaopiekował się nim naczelnik pewnej stacji kolejowej, któremu mały Edison uratował życie syna: nauczył go znaków telegraficznych

i wystarał się o posadę nocnego telegrafisty. Edison szybko znalazł pole do popisu dla swej pomysłowości: kierownik miejscowej stacji, surowy służbista, aby nie pozwolił spać dyżurnym telegrafistom, kazał im meldować się w nocy co pół godziny nadawaniem wyrazu „sześć”. Chłopiec szybko skombinował automat, który to robił za niego.

W wieku lat 27 Edison wynalazł telegraf drukujący, który przyniósł mu fundusze wystarczające, by rzucić pracę na kolei i zająć się wyłącznie badaniami. Wynalazł szereg urządzeń elektrycznych, między innymi wspomniany przez nas na str. 97 „duplexowy” telegraf i automatyczny system nadawania, który pozwalał osiągać szybkość 3500 słów na minutę między Nowym Jorkiem a Filadelfią. Potem nastąpił system poczwórny, który zaoszczędził Ameryce na przewodach sto milionów złotych.

Rys. 41 przedstawia urządzenie najwcześniejszego modelu Bella według rysunku załączonego do oryginalnego patentu z dnia 7 marca 1876 roku. Po jednej stronie używa się dwóch przyrządów, mikrofonu* i słuchawki. W mikrofonie



Rys. 41. WCZESNA POSTAĆ MIKROFONU TELEFONICZNEGO BELLA

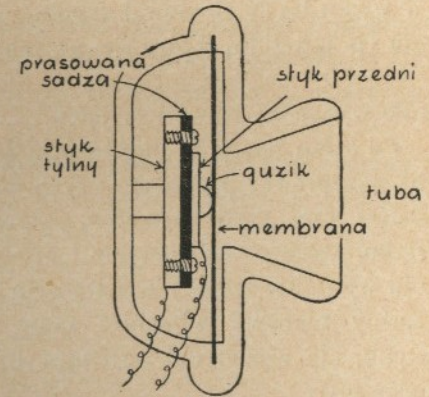
mówiło się do tuby zamkniętej od drugiej strony sprężystą membraną z wspomnianej już błony używanej przez złotarzy, która drgała zgodnie z falami głosowymi, ulegając ich ciśnieniu.

* Nazwa ta została po raz pierwszy użyta w roku 1827 przez Wheatstone'a na oznaczenie przyrządu do powiększania natężenia słabych dźwięków. Dziś mówimy o „amplifikatorach”.

niu. Do środka tej mebrany, jak widać na rysunku, przymocowany był jednym swym końcem, ruchomy dokoła drugiego swego końca, pręt z miękkiego żelaza. Znajdował się on na wprost jednego bieguna elektromagnesu, z którego drugim biegunem był znów połączony elektrycznie. Pręt taki nazywa się „kotwiczka”. Gdy przez cewkę biegł prąd z baterii, kotwiczka stawała się magnetyczna wraz z rdzeniem, a między nimi powstawało silne pole magnetyczne. Nawet drobne jego ruchy wywoływały w cewce dodatkowy prąd, który nakładał się na stały prąd, płynący z baterii. Zmiany tego prądu wywoływały falowanie całkowitego prądu w cewce, zgodnie z uderzającymi w membranę falami powietrza. Prąd ten przechodził przez cewki tak samo urządzonego odbiornika, powodując szybkie zmiany siły, z jaką elektromagnes przyciągał kotwiczkę, a więc drgania kotwiczki, przekazywane następnie membranie. Rzecz jasna, że wywoływały one ostatecznie drgania powietrza, zgodne z tymi, które uderzyły w membranę mikrofonu, wywołując cały proces. Czytelnik może łatwo sprawdzić cały ten proces, jeżeli ma dwie pary słuchawek radiowych. Prąd stały z baterii jest tu zbędny, gdyż magnesy w słuchawkach są stałe. Wystarczy dwa przewody jednej pary połączyć izolowanymi drutami miedzianymi z przewodami drugiej pary i poprosić kogoś, by mówił do jednych słuchawek, gdy drugie mamy na uszach. Usłyszymy głos wyraźny, chociaż cichy. Rzecz jasna, że trzeba to tak urządzić, żeby głosu mówiącego nie słyszeć bezpośrednio.

Powiedzieliśmy już, że ten sam przyrząd służył za mikrofon i za słuchawki. W tej drugiej roli był zupełnie zadowolający, natomiast w pierwszej dawał zbyt słabe zmiany prądu, a więc zbyt słabe drgania membrany. Ruchy kotwiczki przed biegunem elektromagnesu trzeba było zastąpić zatem czymś innym. Edison w roku 1877 opatentował swój pierwszy mikrofon węglowy, którego sche-

mat podaje rys. 42. Widzimy tam zwykłą tubę i membranę, tym razem z miki. Za nią między dwoma krążkami platynowymi znajduje się masa z prasowanej sadzy; pierwszy z tych krążków guzikiem ze słoniowej kości styka się z membraną w jej środku. Prąd z baterii wchodził do pierwszej płytki platynowej, wychodził z drugiej, przechodząc przez warstwę sadzy. Gdy membrana drgała, zmieniała się grubość tej warstwy, a wraz z nią jej opór elektryczny i natężenie płynącego przez nią prądu. Słabość sygnałów w urządzeniu Bella pochodziła stąd, że drgająca kotwiczka musiała sama wytwarzać prąd zmienny (nałożony na stały z baterii). Tu źródłem energii jest wyłącznie bateria, a mikrofon jest tylko jakby kranem, który jej przepuszcza więcej lub mniej. Mikrofony obecnie używane, są oparte na tej samej zasadzie.



Rys. 42. MIKROFON Z MASĄ WĘGLOWĄ EDISONA

Dyrektor Western Union, towarzystwa telegraficznego, o którym już poprzednio wspominaliśmy, zasłyszawszy o wynalazku Edisona, wezwał go i zapytał, ile chce za swój wynalazek. Edison opowiada sam o tym spotkaniu:

Bylem zdecydowany zażądać 125 000 złotych. ...Praca była łatwa, trwała tylko kilka miesięcy, prócz tego czułem się dość niepewnie. Zaproponowałem, by sam określił warunki i usłyszałem sumę jednego miliona złotych. „Zgoda”, rzekłem, „lecz będzie mi pan ją wypłacał ratami przez lat 17, cały czas trwania ważności patentu”.

4. MIKROFON HUGHESA

Następnym z kolei ulepszeniem obdarzył świat w roku 1878 D. E. Hughes¹⁹. Urodzony w roku 1831 w Londynie przeniósł się z rodzicami do Ameryki jeszcze jako siedmioletni chłopiec. Kształcony był pierwotnie na muzyka, lecz zajmawszy się ulepszeniem telegrafu pracował przez dwa lata wyłącznie nad telegrafem drukującym używanym naówczas w Ameryce. W wieku lat 26 zbudował zupełnie inaczej pomyślane urządzenie (p. str. 100), które się natychmiast przyjęło w Ameryce i Francji (Anglia nie chciała się nim zainteresować!) i zapewniło wynalazcy sławę i majątek.

Po kilku latach w Paryżu przybył Hughes do Londynu, żeby nadzorować produkcję swych maszyn i po roku pracy wynalazł tam swój mikrofon. Oparł go na pomysłe luźnego styku, którego wzmacnianie i osłabianie przez zmiany ciśnienia wywołuje zmiany w natężeniu biegnącego prądu. Każdy materiał właściwie może być zastosowany w tym styku, ale węgiel dał najlepsze wyniki i jest po dziś dzień używany.

Mikrofony Edisona i Hughesa są tak podobne w pomysle, że trudno zrozumieć, że Edison przeoczył to ostatnie ulepszenie. Rzecz godna uwagi, że Hughes nie opatentował nawet swego wynalazku twierdząc, że podane przez niego fakty należy raczej uważać za odkrycie niż wynalazek!

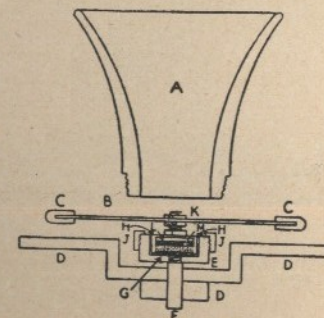
„Natychmiast po ogłoszeniu tego „odkrycia“ pojawiły się liczne typy mikrofonów opartych na jego pomysle. Wspomnimy tu o mikrofonie Blake'a²² z roku 1879, który wywołał proces między towarzystwami Edisona i Bella, zakończony zresztą szybko połączeniem obu towarzystw. U Blake'a ostrze platynowe naciska w środku membranę z blachy żelaznej; drugi koniec tego ostrza naciska płytkę węglową opartą z drugiej strony na sprężynie. Z siłą tego nacisku zmienia się opór i natężenie prądu elektrycznego stałego, biegnącego przez węgiel.

Mikrofon Blake'a przyjął się szeroko w Ameryce dla czystości swego działania, chociaż dawał odbiór bardzo słaby.

W Anglii cieszyły się powodzeniem mikrofony o czterech, sześciu, a nawet dwunastu parach styków, o silnym, lecz za to ostrym brzmieniu. Lecz ostatecznie wszystkie ustąpiły miejsca mikrofonowi Hunningsa (1878), a później mikrofonowi White'a²³, który odtąd wszechwładnie panował i dopiero w ostatnich latach przeszedł pewną zmianę. Opiszemy tu tylko model White'a, od którego model Hunningsa różnił się tylko nieznacznie.

Rys. 43 przedstawia przekrój poprzeczny współczesnego mikrofonu z pominięciem obsady metalowej, w której są umocowane wszystkie części składowe. Fale głosowe wchodzą przez rurę A i wprawiają w drgania membranę B, zwykle z aluminium, o średnicy około 6 cm. Membrana ta oprawiona jest w pierścieniu gumowy, umocowany w obsadzie.

Do obsady umocowany jest sztywno mosiężny mostek D dźwigający mosiężną czaszę E na walcu F pozwalającym regulować jej położenie. Wnętrze czaszy jest wypełnione papierem, lecz krążek węglowy na jej dnie jest połączony elektrycznie z obsadą czaszy. Czasza jest przykryta cienkim krążkiem miki H, którego brzeg jest silnie umocowany do brzegu czaszy za pomocą pierścienia mosiężnego J. Przez otwór w krążku mikowym przechodzi słupek K sztywno połączony z membraną B. Wewnętrzny

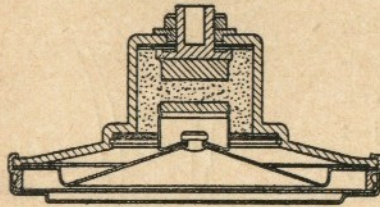


Rys. 43. MIKROFON TELEFONICZNY WSPÓŁCZESNY
A — tuba, B — membrana,
E — czasza mosiężna, H — krążek mikowy, M — krążek węglowy

koniec tego słupka dźwiga mosiężny krążek L o tej samej prawie średnicy co czasza, a do tego krążka przytwierdzony jest krążek węglowy M, taki sam jak wspomniany poprzednio dolny krążek G. Czasza jest wypełniona drobnymi proszkiem węglowym. Prąd biegnie w mikrofonie od jednego krążka węglowego przez proszek do drugiego krążka.

Działanie przyrządu jest jasne: drgania membrany zostają przekazane górnemu krążkowi węglowemu, który ścisną proszek węglowy to mocniej, to słabiej, zmieniając przez to jego opór w dość szerokich granicach. W rezultacie mamy, dobrze nam już znane, zmiany natężenia prądu stałego, płynącego z baterii przez mikrofon, a w słuchawce przekształcenie od-

wrotne drgań prądu na drgania membrany. Mikrofon ten oddaje dźwięki w sposób niezmiernie czysty, lecz proszek węglowy ma skłonność do zlepiania się z oczywistą szkodą dla jego działania. W najnowszych mikrofonach (rys. 44) obie elektrody węglowe są całkowicie zanurzone



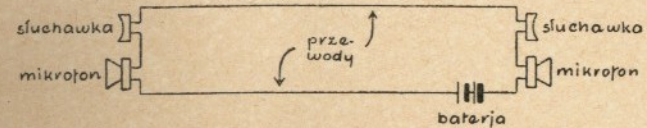
Rys. 44. NAJNOWSZA POSTAĆ MIKROFONU TELEFONICZNEGO
Obie elektrody całkowicie zanurzone w proszku

w proszku, co zapobiega temu zjawisku. Ulepszono również membranę, która teraz jest wydrążona. Takie mikrofony znajdujemy w pospolitych obecnie u nas aparatach.

Słuchawkę u Bella stanowiły: jednobiegunowy elektromagnes, drgająca kotwiczka i poruszana przez nią membrana. Ta sama zasada pozostała w najnowszych słuchawkach, pomimo licznych ulepszeń natury mechanicznej.

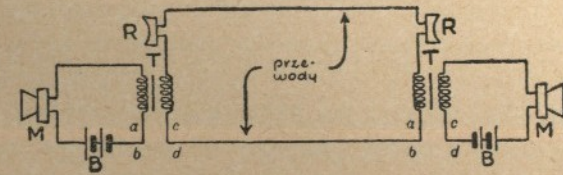
Rys. 45 przedstawia jedno z najprostszycich połączeń telefonicznych, gdzie dwie słuchawki, dwa mikrofony i bateria są

połączone szeregowo. Na krótkich obwodach taki schemat całkowicie wystarcza, lecz na długich daje odbiór zbyt słaby. I tu Edison już w roku 1878 zaproponował decydującą zmianę: usunął mikrofony z obwodu, sprzęgając je z nim przez



Rys. 45. NAJPROSTSZY OBWÓD TELEFONICZNY

transformatory (rys. 46), które do linii wysyłają słabsze prądy, ale o wysokim napięciu. Jak wiadomo, prądy o wysokim napięciu mniej stosunkowo tracą energii przy przebywaniu wielkich odległości i przynoszą do odbiornika silniejsze im-



Rys. 46. OBWÓD TELEFONICZNY ULEPSZONY PRZEZ EDISONA

pulsy. Na rys. 46 litery R,R oznaczają słuchawki, M,M — mikrofony, T,T — transformatory, czyli cewki indukcyjne, jak je zwykle nazywają w telefonii.

ROZDZIAŁ VI
ŁĄCZNICE TELEFONICZNE

I. APARATURA ABONENTA

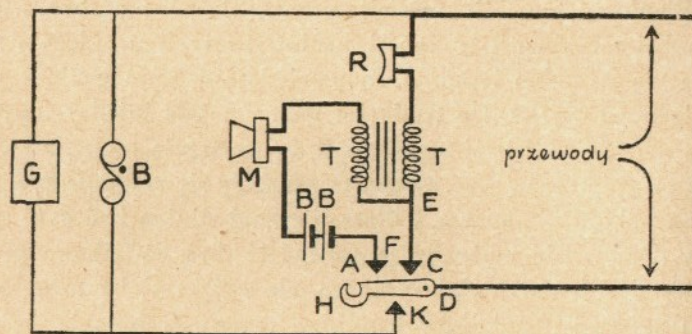
Pionierzy telefonii musieli przezwyciężyć mnóstwo większych i mniejszych trudności, zanim stworzyli urządzenie naprawdę wygodne i pewne, odpowiadające wymaganiom codziennego użytku. Do trudności tych należało między innymi obmyślenie właściwej sygnalizacji do wzywania osoby, z którą się pragnie rozmawiać. Osoba ta mogłaby się znajdować w innym pokoju niż aparat, i dlatego sygnał winien być dość głośny. Oczywiście możnaby poprowadzić dwa dodatkowe przewody dla dzwonka elektrycznego, ale zwiększyłyby to ogromnie koszty i utrudniłyby handlowe rozpowszechnienie się telefonu.

Trzem wymaganiom musiało odpowiadać rozwiązanie tego ważnego zagadnienia: Po pierwsze, aparat w czasie spoczynku powinien być gotów do przyjmowania sygnału oraz do jego nadawania. Po drugie, w czasie rozmowy nie wolno mu przyjmować sygnałów. Po trzecie, aparat winien mieć tylko dwa przewody. Dość szybko obmyślono przełącznik, który trzeba było ustawiać w jednym położeniu przy rozpoczęciu rozmowy, a w innym — po jej zakończeniu. Lecz abonenci stale zapominali o tym przełączeniu, szczególnie po zakończeniu rozmowy, i domagali się urządzenia automatycznego.

Rozwiązanie było tak proste, że trudno zrozumieć dlaczego nie od razu zostało znalezione: Dokuczliwy przełącznik połączono z widełkami, na których spoczywała słuchawka. Po

jej uniesieniu widelki opuszczały się ponownie, ustawiając przełącznik na odbiór sygnału.

Schemat połączeń w aparaturze jednego abonenta jest podany na rys. 47. Przewody, na których prowadzi się rozmowę, są wskazane grubymi liniami. Jeżeli styki A, C i widelki H są połączone między sobą (górną pozycję widelków!), połączenia są takie same, jak na rys. 46, tylko że druty ab i cd rys. 46, są przedstawione na rys. 47 jako jeden drut EF. Miejscowy



Rys. 47. OBWÓD TELEFONICZNY Z URZĄDZENIEM SYGNALIZUJĄCYM

obwód mikrofonowy zamyka się przez baterię BB, mikrofon M, pierwotną cewkę transformatora, oraz C, H i A. Przewody zewnętrzne zamykają się przez słuchawkę R, wtórną cewkę transformatora, C i D. Abonent może mówić i słuchać. Lecz w dolnym położeniu widelków styki H z A i C są przerwane, natomiast powstaje styk z K, który włącza w linie obwód dzwonkowy B.

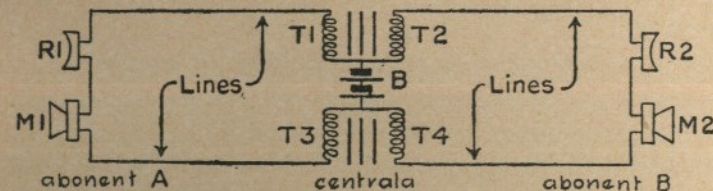
Dzwonek telefoniczny składa się z dwóch czasz i młoteczka między nimi. Uruchamiają go dwa elektromagnesy skojarzone z magnesem stałym i wymaga on prądu zmiennego. Nie ma tu przerywanych styków jak w zwykłym dzwonku domowym,

toteż jest mniej zawodny. Prąd zmienny pochodzi w tym systemie z małej prądnicy, zwanej „induktorem“, uruchamianej przez wywołującego za pomocą korbki. Jest to urządzenie stosowane jeszcze teraz w małych miastach i prywatnych łącznicach, przy tzw. „sieci z baterią miejscową“.

2. SIEĆ Z BATERIĄ CENTRALNĄ

Przy sieciach z bateriami u każdego abonenta konieczność odnawiania ich dwa razy do roku narażała przedsiębiorstwa telefoniczne na wielkie wydatki. W roku 1928 było na świecie około 32 500 000 aparatów w użyciu! Toteż miejscowe baterie wegetują w bardziej zapadłych kątach, ustąpiwszy miejsca sieciom z baterią centralną.

W tej instalacji bateria na stacji dostarcza prądu wszystkim abonentom. Jest ona oczywiście znacznie większa niż ogniwa stosowane przedtem w miejscowych obwodach. Wiele jest sposobów łączenia sieci z zachowaniem wielkiej wydajności



Rys. 48. SCHEMAT OBWODU TELEFONICZNEGO Z BATERIĄ CENTRALNĄ (UKŁAD HAYESA)
L, L — przewody zewnętrzne

i wykluczeniem rozmów między nie połączonymi abonentami, ale system Hayesa³⁴, jest chyba najprostszy.

Przedstawia go rys. 48, na którym pominięto wszystkie przewody, prócz tych, które właśnie są potrzebne do rozmowy

między określonymi dwoma abonentami. Prąd z baterii B płynie przez obwód T3, M1, R1, T1 i również przez obwód T4, M2, R2, T2. T1, T2, T3, T4 oznaczają cztery cewki dwóch transformatorów, R1 i R2, to dwie słuchawki, M1 i M2 — dwa mikrofony.

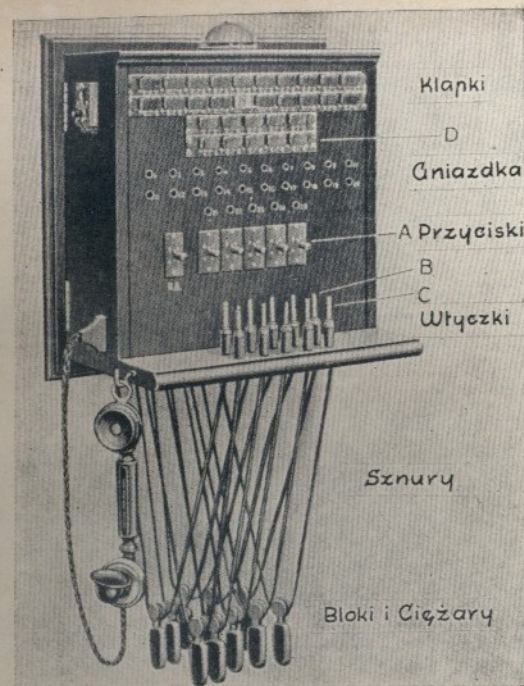
Abonent A mówi do swego mikrofonu M1 i wywołuje w obwodzie M1, R1, T1, B, T3 falowania prądu płynącego z baterii B. Dwie cewki T1 i T3 przekazują te falowania cewkom T2 i T4 przez indukcję i wobec tego powstają falowania w obwodzie T2, B, T4, M2, R2, dzięki którym w słuchawce R2 drugi abonent słyszy mowę. To samo zachodzi, gdy on z kolei mówi do swego mikrofonu M2.

Zauważmy, że system ten wprowadza ponownie mikrofon do obwodu głównego, jak w rys. 45, rezygnując z pomysłu Edisona. Ale straty stąd wynikłe są z nadmiarem zrównoważone przez korzyści wspólnej baterii. Prądnicą do sygnalizacji staje się tu niepotrzebna, a podniesienie słuchawki, kosztem prądu baterii centralnej, automatycznie uruchamia sygnał na centrali. Dzwonek przy aparacie abonenta pozostaje zachowany.

3. ŁĄCZENIE ABONENTÓW

Na początku pracy nad telefonem chodziło przede wszystkim o umożliwienie rozmowy dwóm osobom, które miały z sobą stałe połączenie przez parę izolowanych przewodów. Lecz jeżeli telefon miał się rozpowszechnić, o bezpośrednim stałym połączeniu abonenta z wszystkimi, z którymi kiedykolwiek chciałby mówić, nie mogło być mowy. Trzeba było obmyślić urządzenie, które pozwala na żądanie łączyć czasowo dwóch dowolnych abonentów. Pierwsza centrala telefoniczna powstała w mieście New Haven (stan Connecticut, Stany Zjednoczone) w styczniu roku 1878, a niebawem pojawiły się one we wszystkich głównych miastach Europy i Ameryki. Z początku

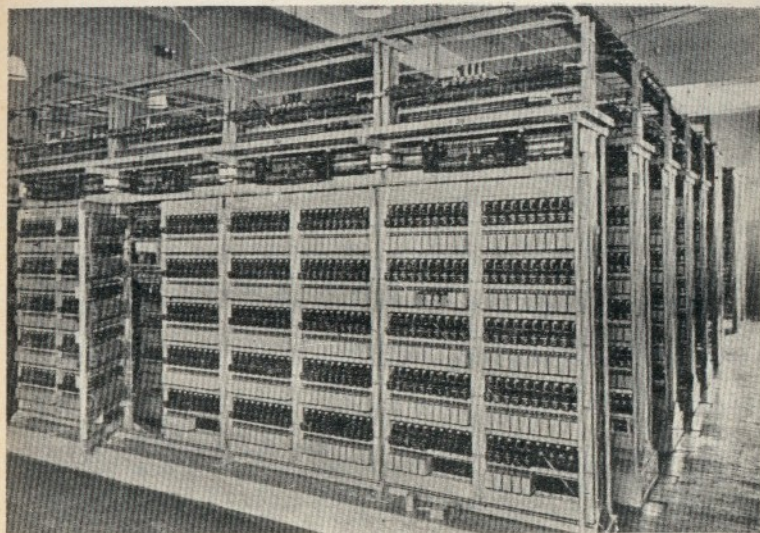
TABLICA XV



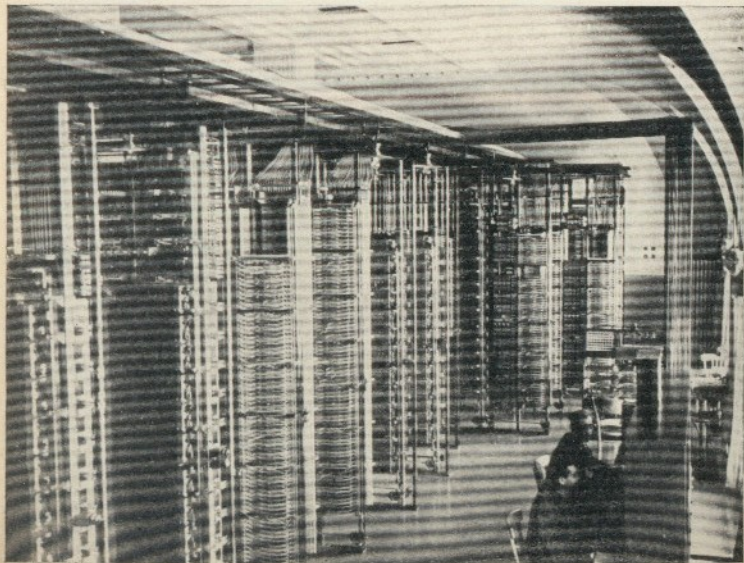
MAŁA ŁĄCZNICA
TELEFONICZNA RĘCZ-
NA NA 25 ABO-
NENTÓW

FRAGMENT WIELKIEJ
RĘCZNEJ CENTRALI
TELEFONICZNEJ





A. FRAGMENT CENTRALI AUTOMATYCZNEJ SYSTEMU STROWGERA



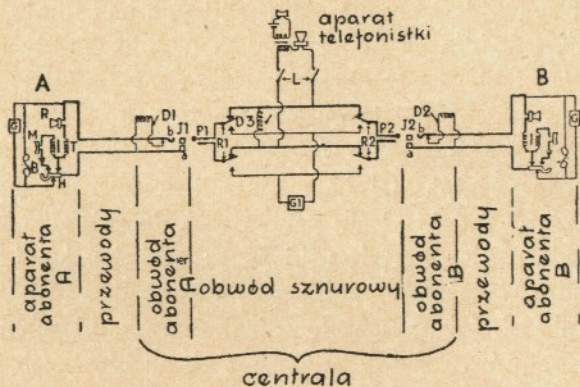
B. FRAGMENT CENTRALI AUTOMATYCZNEJ SYSTEMU ERICSSONA

używano w nich telegraficznego systemu łączenia, lecz w miarę wzrostu liczby abonentów wprowadzenie specjalnych łącznic telefonicznych stało się koniecznością.

Dwa przewody biegną od każdego abonenta do centrali okręgowej, gdzie kończą się w gniazdku umieszczonym na tablicy. Na tabl. XV^A widzimy małą łącznicę na 25 abonentów. Gniazdko są widoczne na środku tablicy, a nad nimi widzimy „klapki“, o zawiasach umieszczonych u dołu. Każdy abonent ma swoją klapkę i gdy obraca korbkę swej prądnicy, wzywając stację, klapka opada odsłaniając jego numer (na rysunku nr. 15). Przeznaczenie pozostałych pięciu kłapek będzie wyjaśnione później. Obsługa centrali wsadza wtedy jedną z widocznych u dołu pięciu par wtyczek do gniazdko 15. Każda taka wtyczka ma dwa bieguny: główkę jej i szyjkę, które odpowiadają dwóm biegunom gniazdko. Bieguny te należą do dwóch przewodów izolowanych, biegnących wewnątrz sznurów. Sznury są zawieszane na bloczkach i obciążone, żeby same opadały na dół, nie tworząc kłębowiska na półeczce.

Przypuśćmy, że obsługa umieściła wtyczkę B w gniazdko 15 i nacisnęła guzik A, odpowiadający tej wtyczce. Wtedy jest połączona z abonentem i może zapytać o żądany numer. Otrzymałszy ten numer, wsadza wtyczkę C, drugą z pary, do gniazdko wzywanego abonenta, jeżeli jest ono wolne, naciska guzik RB na lewo, i daje sygnał dzwonekowi wzywanemu abonentowi. Abonenci są połączeni, a obsługa ręką podnosi klapkę 15 do pierwotnego położenia. Po ukończeniu rozmowy abonent dzwoni na stację, po czym opada klapka D odpowiadająca parze wtyczek B i C. W ten sposób obsługa dowiaduje się, która rozmowa jest skończona i wyjmuje wtyczki B i C z gniazdek opuszczając je swobodnie. Ponieważ w opisanej centrali jest tylko pięć par wtyczek, co najwyżej pięć par abonentów może rozmawiać jednocześnie.

Schemat połączeń tej centrali podany jest na rys. 49, ale tylko dla dwóch abonentów (A i B) właśnie rozmawiających z sobą. Dla przejrzystości wtyczki (P1 i P2) są narysowane przed gniazdkami J1 i J2, a przewody, na których idzie rozmowa, są zaznaczone grubymi liniami. Od lewej ku prawej



Rys. 49. SCHEMAT DO PROCESU ŁĄCZENIA DWÓCH ABONENTÓW PRZY OBSŁUDZE RĘCZNEJ

stronie mamy na tym rysunku: aparat w lokalu wzywającego A; dwa przewody łączące go z gniazdkami J1 i klapkę D1 w łącznicy; obwód dwóch wtyczek P1 i P2; gniazdko J2 i klapka D2 wzywającego B, wreszcie aparat abenta B.

Schemat aparatów jest ten sam, któryśmy podali w poprzednim rozdziale (rys. 47). Klapyki spadają za sprawą małego elektromagnesu, który wzbudzany, gdy wzywający obraca swój induktor, odciąga drążek zatrzymujący klapkę. Klapyki te są normalnie włączone w obwody swych abonentów, lecz włożenie wtyczki do gniazdkabonenta przerywa to połączenie. Gniazdko J składają się — jak wspomnieliśmy — z dwóch styków: jeden z nich jest sprężynowy i chwyta głów-

kę wtyczki, drugi pierścieniowy i obejmuje szyjkę. Wtyczki P1 i P2 są połączone z sobą przez wyłączniki dzwonekowe R1 i R2, które są pokazane na rysunku w czasie rozmowy. Aby wezwać abonenta, obsługa naciska (przy pomocy jednego guzika) oba wyłączniki R w dół i uruchamia swój induktor G1, która wysyła wtedy prąd (do obu zresztą abonentów). Klapka rozłączeniowa D3 jest stale włączona szeregowo w obwód rozmowy P1—P2. Cewka tej klapyki ma wielki opór, żeby nie wpływać na prądy głosowe. Guzik, przy którego pomocy włącza się obsługa, jest oznaczony przez L; wyposażenie jej składa się z mikrotelefonu, dzwonka, induktora i widełek. Podkreślimy jeszcze, że aparat ten nie jest stale połączony z żadnym abonentem i działa wyłącznie jako pośrednik do łączenia dowolnych dwóch gniazdek łącznicy.

4. ŁĄCZNICA Z POLEM WIELOKROTNYM

Istnieje wiele systemów central, musimy ograniczyć się do opisu najbardziej charakterystycznych. Zauważmy, że przy systemie przed chwilą opisanym nie ma urządzenia, które by automatycznie notowało liczbę przeprowadzonych rozmów, musiałyby one być zapisywane przez obsługę. Istnieją jednak łącznice z automatycznymi licznikami, w innych znowu zamiast klapek, mamy lampki sygnalizacyjne itp. Łącznica, którą poznaliśmy, pracuje w sieci o bateriach miejscowych; w sieci z baterią centralną połączenia stają się o wiele bardziej skomplikowane, chociaż zasady obsługi pozostają te same.

Na jednej tablicy można umieścić co najwyżej 200 gniazdek dla 200 abonentów; więcej — jak praktyka wykazuje — jedna osoba sprawnie obsłużyć nie może. Większe łącznice trzeba zatem rozbijać na mniejsze jednostki ustawiane obok siebie. Gdyby takich jednostek po 200 gniazdek było dwie albo trzy, możnaby je tak ustawić, żeby obsługa jednej mogła sięgnąć

do gniazdek każdej innej i w ten sposób łączyć swego abonenta z każdym innym. Lecz gdy jednostek tych jest więcej, trzeba się uciec do tzw. „pola wielokrotnego“, przy którym tablice z gniazdkami abonentów powtarzają się w kilku egzemplarzach, tak żeby w pobliżu każdej telefonistki znajdowały się gniazdzka wszystkich abonentów. Rys. 50 przedstawia plan układu tych tablic dla 1799 abonentów i 9 osób obsługi.

gniazdzka abonentów Nr:	1200 do 1799	1 do 599	600 do 1199	1200 do 1799	1 do 599	600 do 1199	1200 do 1799	1 do 599	600 do 1199	1200 do 1799	1 do 599
		1 do 199	600 do 799	1200 do 1399	200 do 399	800 do 999	1400 do 1599	400 do 599	1000 do 1199	1600 do 1799	
telefonistka obsługuje Nru:											
telefonistka		A	B	C	D	E	F	G	H	J	

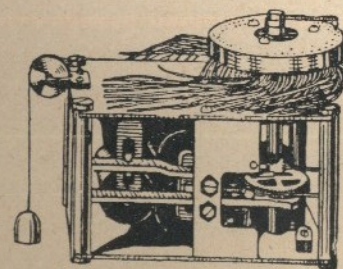
Rys. 50. SCHEMAT UKŁADU POLA WIELOKROTNEGO W CENTRALI RĘCZNEJ NA 1799 ABONENTÓW I 9 TELEFONISTEK

Górny wiersz podaje układ tablic, na których znajdują się wyłącznie gniazdzka (w liczbie 600), dolny — układ tablic zawierających i gniazdzka i klapki, w liczbie tylko 200. Każda telefonistka odpowiada tylko na wezwania 200 abonentów dolnej tablicy, lecz łączy każdego z nich z wszystkimi, wsadzając wtyczki w gniazdzka górnych trzech tablic. Jak widać ze schematu, każda tablica z 600 gniazdkami (prócz tablicy 600 — 1199) jest powtórzona cztery razy. Kłapek powtarzać nie trzeba, gdyż na wezwanie każdego abonenta zgłasza się zawsze ta sama telefonistka. Zaopatrzenie każdego abonenta w kilka gniazdek wywołuje nową komplikację: oto telefonistka J może być wezwana do połączenia z abonentem, dajmy na to, nr 1300, który przez telefonistkę C został połączony z kim innym, a gniazdko 1300 przed J jest wolne! Drobna zmiana w urządzeniu wtyczek sprawia, że po wsadzeniu wtyczki do gniazdzka zajętego abonenta, rozlega się charakterystyczny trzask, który ostrzega telefonistkę.

5. STACJE AUTOMATYCZNE

Łącznice opisanego systemu są używane obecnie w tysiącach central na całym świecie (por. tabl. XV^B). Wymagają wprawdzie licznej obsługi, lecz w porównaniu z początkami telefonii przedstawiają ogromny postęp. Wprowadzenie różnych automatów ulepszyło znacznie i przyspieszyło ich działanie, ale inżynierom od samego początku przyswiecała myśl o systemie całkowicie automatycznym, przy którym abonent sam by się łączył przy pomocy własnego aparatu. Już w roku 1879 trzech Amerykanów opatentowało taki pomysł i na wystawie paryskiej w roku 1881 demonstrowano aparaty tego systemu. Nie mogły one jeszcze rywalizować pod względem sprawności z systemem ręcznych łącznic. Więcej powodzenia miał Anglik D. Sinclair³⁵, który w roku 1883 opatentował urządzenie półautomatyczne, które usuwało obsługę podcentrali i przenosiło całą kontrolę do centrali głównej, gdzie znajdował się personel. Przyrząd ten ustawiono w Coatbridge pod Glasgow w 1886 roku, na sześć lat przed urządzeniem pierwszej automatycznej centrali w Ameryce.

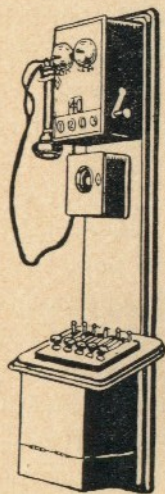
System Sinclaira nie był bynajmniej doskonały i dopiero w roku 1899 A. B. Strowger³⁶ z Kansas City w Ameryce wszedł na tory, które miały doprowadzić ostatecznie do zupełnie zadowolającego rozwiązania. Pierwszy jego układ wymagał pięciu przewodów od centrali do abonenta, później liczbę tę zredukowano do dwóch. Pierwsza centrala jego systemu zaczęła działać w La Prote (stan Indiana) w roku 1892 (rysunek 51



Rys. 51. WCZESNA POSTAC TELEFONU AUTOMATYCZNEGO

do dwóch. Pierwsza centrala jego systemu zaczęła działać w La Prote (stan Indiana) w roku 1892 (rysunek 51

i rysunek 52). W ciągu 10 lat następnych nie było znaczących zmian, lecz różne ulepszenia torowały urządzeniu automatycznemu drogę na szeroki świat. System Strowgera jest obecnie przyjęty w całej Brytanii; w samym Londynie jest przeszło 80 takich central. W Polsce mamy ich około 35. Na całym świecie jest około 10 000 000 aparatów typu Strowgera, a liczba ta stale rośnie.



Rys. 52. JEDEN Z PIERWSZYCH APARATÓW AUTOMATYCZNYCH SYSTEMU STROWGERA.

Zalety systemu automatycznego są oczywiste: rugując pośrednictwo człowieka, skracają czas połączenia i wyłącza pomyłki, zapewnia większą dyskrecję. Urządzenie to jest bardzo skomplikowane, składa się z najróżniejszych elektromechanizmów, przekazników itd. Nie będziemy tu opisywali skomplikowanego przebiegu przewodów, lecz ograniczymy się do naszkicowania najważniejszych etapów procesu połączenia. Zauważymy przede wszystkim, że aparat składa się z pewnej liczby części wymiennych i dodanie pewnych części pozwala powiększyć rozmiary i zasięg centrali.

Znany jest teraz szeroko aparat telefoniczny z tarczą do automatycznego połączenia.

Aparat ten składa się ze zwykłych części, jak przy sieci z baterią centralną, lecz prócz nich ma jeszcze właśnie owo urządzenie do automatycznego łączenia. Składa się ono z białej tarczy opatrzonej na swym okręgu numerami od 1 do 9 i 0. Współśrodkowo z nią osadzona jest obrotowo czarna tarcza z 10 otworami, które w normalnym położeniu odpowiadają owym numerom (tabl. XVII^A).

Ażeby połączyć się np. z numerem 41880, abonent zdejmuje naprzód mikrotelefon z widełek i po usłyszeniu przeciągłego

brzęczenia „sygnału centrali“, wsadza naprzód palec do otworu na wprost 4 i obraca czarną tarczę w kierunku wskazówki zegara, dopóki palec nie oprze się o opórkę widoczną na dole. Potem wyjmuje palec i pozwala tarczy samodzielnie wrócić do położenia normalnego; powrót ten zapewnia sprężyna, nakręcona właśnie przez pierwszy ruch abonenta. W ten sam sposób kolejno „nakręca“ liczby 1, 8, 8 i 0. Po wybraniu całego numeru słyszy we własnej słuchawce albo sygnał często przerywany, „sygnał zajętości“, albo też brzęczenie przerywane znacznie wolniej, „sygnał dzwonienia“, który oznacza uzyskanie połączenia i nadanie dzwonka do wzywanego abonenta. Jeżeli przy nakręcaniu zaszła pomyłka, wystarczy nacisnąć widełki, co natychmiast przerywa proces łączenia, poczekać na ponowny przeciągły „sygnał centrali“ i rozpocząć wybieranie numeru na nowo.

Z chwilą odwieszenia obu mikrotelefonów rozmowa zostaje zakończona. Nie ma tu ręcznej prądnicy do wezwania lub „oddzwania“ pod koniec rozmowy, gdyż prądu do tego wszystkiego dostarcza centrala z chwilą podniesienia słuchawki. Ten właśnie prąd zostaje przerywany w czasie powrotu tarczy tyle razy, ile wyniosła nakręcana cyfra; zeru odpowiada 10 przerw.

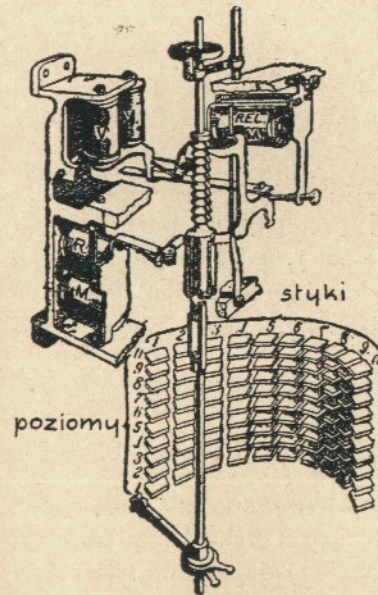
6. CENTRALA AUTOMATYCZNA SYSTEMU STROWGERA

Spróbujemy teraz opisać w najgrubszych zarysach działanie centrali automatycznej. Jest to aparat tak skomplikowany, że dopiero zagłębiwszy się w szczegóły jego budowy, można komplikację tę ocenić w całej pełni. Trudno w to uwierzyć, gdy się pomyśli, jak proste są manipulacje przy połączeniu. Najłatwiej będzie nam zrozumieć działanie centrali, jeżeli najpierw opowiemy, jak według systemu Strowgera, stosowanego dziś w większości mniejszych miast polskich, urządziłibyśmy małą centralę na 100 abonentów.

W działaniu centrali automatycznej jest coś osobliwego, jakby obecność jakiejś świadomości; nie wszystkie ruchy jej organów są z góry wyznaczone, mają one jakby pewną swobodę: muszą „szukać“, „wybierać“, „poznawać“. „Szukanie“ to polega właściwie na „przebieraniu“: organ porusza się tak długo, dopóki szczotki jego, ślizgając się po szeregu podobnych styków, nie natrafią wreszcie na inny potencjał niż u poprzedników. Powstanie lub przerwanie prądu wywołuje — dzięki

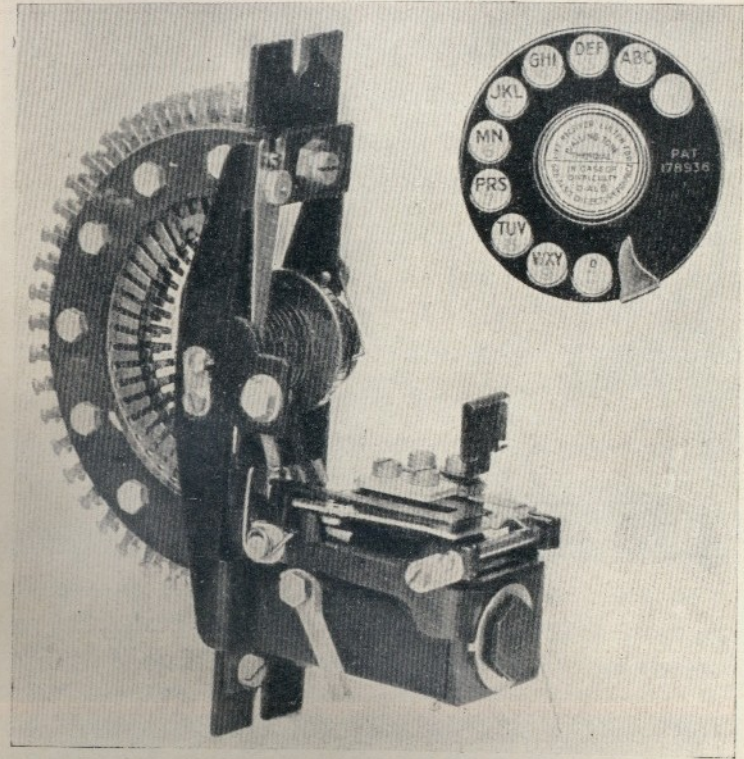
licznym przekaźnikom, które rozwiązują wszystkie techniczne trudności i komplikacje — zatrzymanie się organu.

Zasadniczym organem takiej centrali jest „wybierak“ (tabl. XVII^B i rys. 53). Główną jego częścią składową jest pionowy wałek, który może obracać się dokoła własnej osi i posuwać się wzdłuż niej w kierunku pionowym. Oba te ruchy są skokowe, a mianowicie każdemu z nich odpowiada 10 położeń, w których pręt może się zatrzymać, czyli razem 100: tyle ilu jest abonentów. W każdym z tych położeń dwie szczotki (widoczne na dole rysunku) umocowane poziomo, łączą się z dwoma stykami pętli jednego z abonentów. Styki te są rozmiesz-



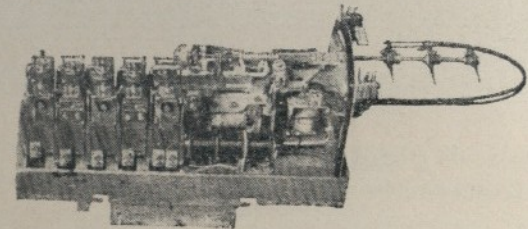
Rys. 53. RYSUNEK SCHEMATYCZNY WYBIERAKA GRUPOWEGO SYSTEMU STROWGERA (dwie szczotki na dole opuszczone)

zione dokoła pręta na powierzchni walca w 10 rzędach po 10 par styków, tworząc tzw. „pole stykowe“.

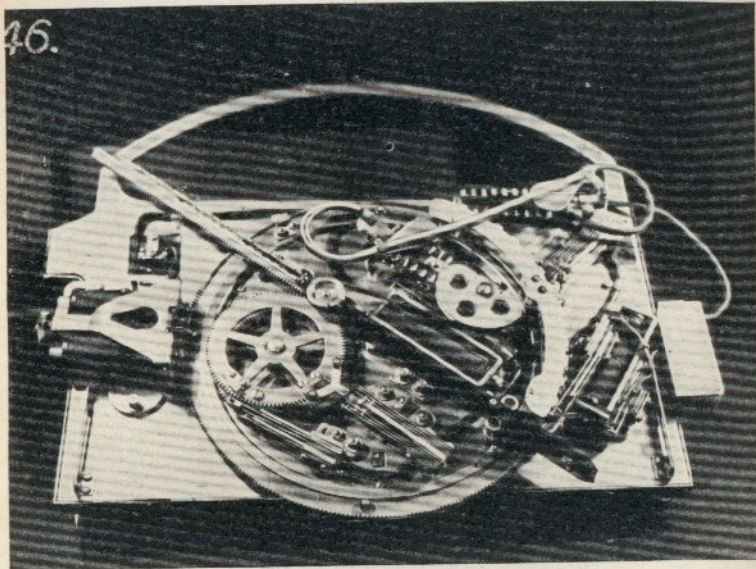


A. WYBIERAK OBROTOWY STROWGERA NA 25 STYKÓW używany m. in. jako wybierak wstępny

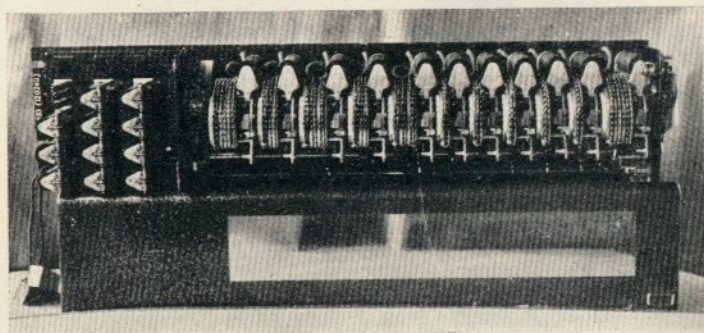
U GÓRY TARCZA DO WYBIERANIA NUMERÓW PRZEZ ABONENTA



B. WYBIERAK SKOKOWO-OBROTOWY STROWGERA Używany na wszystkich stopniach łączenia



A. WYBIERAK PŁASKI ERICSSONA
Ramię jego ma dwa ruchy: promieniowy i obrotowy



B. REJESTR SYSTEMU ERICSSONA
Służy do rejestrowania numeru wybranego przez abonenta, aby go potem nadać do organów wybierających linię

Prócz tego jest 100 styków „sygnalizacyjnych“ lub „próbnych“ (nie pokazanych na rysunku), które jednocześnie obiega trzecia szczotka wybieraka: służą one do celów pomocniczych, m. in. do sprawdzania, czy linia wzywane-go jest wolna, do liczenia rozmów itd. Ruchem wybieraka steruje tarcza abonenta wzywającego: w czasie jej powrotu po nakręceniu pierwszej cyfry, tj. dziesiątków, prąd płynący do centrali przez aparat wzywający przerywa się tyle razy, ile wynosi nakręcona cyfra, np. 5. Dzięki pośrednictwu przekaźnika 5 impulsów prądowych przebiega przez elektromagnes MV i wybierak z dolnego, wyjściowego położenia podniesiony 5 razy przez ten elektromagnes znajdzie się na wprost piątego rzędu. Po powrocie tarczy po nakręceniu następnej cyfry, np. 7, tyleż impulsów prądowych przechodzi już przez dolny elektromagnes RM, który za każdym impulsem, tj. 7 razy obraca wałek wybieraka; w rezultacie wybierak zatrzymuje się na wprost styków abonenta nr 57. Jeżeli abonent ten rozmawia, dzięki stykowi trzeciej szczotki z jego przewodem próbnym, przechodzi do wzywającego sygnał zajętości. Jeżeli jest wolny, obaj abonenci są połączeni, gdyż ze stykami pierwszej szczotki wybieraka wzywający jest połączony. Ze stacji biegnie wtedy do dzwonka aparatu nr 57 prąd, który zostaje przerwany po podniesieniu mikrotelefonu przez wezwanego abonenta. Wszystkie te i inne bardzo skomplikowane czynności wypełniają różne przekaźniki; do nich też należy wysłanie po zakończeniu rozmowy (tj. odwie-szeniu słuchawek) impulsów prądowych do magnesów REL. M., które przywracają wybierak do położenia wyjściowego. One też są obarczone zadaniem wysłania prądu do licznika itd.

Nie mówiliśmy dotąd o stosunku abonenta do wybieraka. Najprostszym rozwiązaniem byłoby dać jeden tylko wybierak wszystkim abonentom, ale wtedy nie można byłoby doczekać

się, aż będzie wolny. Gdyby zaś każdy abonent miał swój własny wybierak, do wyłącznego użytku, znaczna większość wybieraków stale by odpoczywała. Przypuśćmy więc, że wybraliśmy rozwiązanie pośrednie i zdecydowaliśmy się np. na 15 wybieraków. Stawia to nas z miejsca przed trudnymi zadaniami: Jak przydzielić wolny wybierak wywołującemu abonentowi? Jak zbudować urządzenie, które „pozna“, które wybieraki są w tej chwili wolne, wybierze jeden z nich i połączy z nim wywołującego? A z drugiej strony, jak umożliwić każdemu wybierakowi trafienie do każdego abonenta?

Rozwiązuje to zadanie pomysł tzw. „pola wielokrotnego“. Każdemu z 15 wybieraków dajemy osobne pole stykowe; do każdego z tych 15 pól dołączeni są ciągle ci sami abonenci w liczbie 100; zatem każdy abonent ma 15 styków, przez które można do niego trafić, istnieje do niego wielokrotny dostęp, przez każdy wybierak. Dlatego też zespół tych 15 pól stykowych (połączonych między sobą przez abonentów) nosi nazwę „pola wielokrotnego“ (por. rys. 54).

Żeby teraz umożliwić abonentowi trafienie do dowolnego wybieraka liniowego, traktujemy te wybieraki tak samo, jak przed chwilą abonentów: dołączamy je do pola wielokrotnego, a mian. każdy 100 razy. Pole to będzie się składało zatem ze 100 pól stykowych, z których każde zawiera 15 wycinków. Każdy wycinek zawiera trzy styki, dwa do rozmowy, jeden próbny czyli sygnalizacyjny do sprawdzania zajętości itd. Do każdego z 15 wybieraków jest zatem 100 dostępow, ale nie trzeba bynajmniej 100 potrójnych przewodów, aby go połączyć ze wszystkimi stykami, które do niego prowadzą: wystarczy połączyć każdą setkę styków między sobą, a do wybieraka poprowadzić tylko jeden przewód.

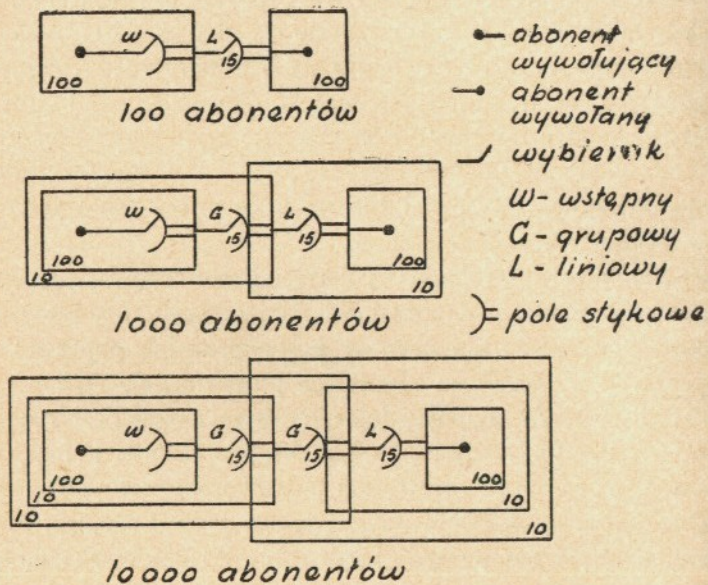
Zamiast indywidualnego wybieraka, każdy abonent otrzymuje połączony z nim stale indywidualny „wybierak wstępny“ z trzema szczotkami, który obraca się przed jednym z owych

pól stykowych tak, że szczotki jego kolejno stykają się ze stykami prowadzącymi do każdego wybieraka (tabl. XVIII przedstawia wycinek 25 (zamiast 15) par styków, odpowiadający jednemu wybierakowi wstępnemu). Wybierak wstępny obraca się ruchem swobodnym, nie sterowanym, gdy wywołujący podniesie słuchawkę, i zatrzymuje się dopiero wtedy, gdy szczotka jego natrafi na styk próbny o właściwym potencjale, „poznając“, że wybierak jest wolny. Abonent w tej chwili słyszy „sygnał zgłoszenia“ i rozpoczyna wybieranie numeru. W ten sposób zaoszczędziliśmy sobie 85 wybieraków liniowych, zastąpiwszy je przez 100 znacznie prostszych wybieraków wstępnych.

Zrozumiawszy działanie wybieraka liniowego, łatwiej już opanujemy przebieg działania wielkiej centrali. Trudność tu polega na tym, że nie możemy postępować jak poprzednio, gdyż przed wybierakiem nie można postawić pola stykowego z 10 000 wycinków, odpowiadających takiej samej liczbie abonentów. Pomysł, który się tu kilkakrotnie stosuje, polega na podziale na mniejsze „centrale z polami wielokrotnymi“ i na rozbiciu procesu łączenia na kolejne stopnie. Czytelnik najlepiej uchwyci ten pomysł, jeżeli sobie do poniższego opisu sporządzi schemat rozgałęzień.

Przypuśćmy z początku, że mamy centralę na 1000 (rys. 54) abonentów. Dzielimy ich na małe grupy, na „centrale“ po 100 abonentów (czasem nawet umieszczone w różnych dzielnicach) i każdą z nich zaopatrujemy np. w 15 wybieraków liniowych, jak to wyżej opisaliśmy. Każdy z tych 150 wybieraków załączymy wielokrotnie do pewnych pól stykowych o 10 rzędach po 15 wycinków stykowych, przy czym każdy rząd odpowiada innej setce. Żeby umożliwić abonentowi trafienie do wybieraka liniowego, wprowadzimy nowy wybierak, „wybierak grupowy“, którego polem stykowym jest właśnie przed chwilą opisane. Wywołujący nakręcając pierwszą

cyfrę, tj. setek, steruje ruchem pionowym wybieraka grupowego, zupełnie jak w małej centrali wybierakiem liniowym. Ruchem obrotowym sterować nie trzeba, jest on swobodny,



Rys. 54. UKŁAD CENTRALI AUTOMATYCZNEJ TYPU STROWGERA

Podane liczby elementów są obrane tylko dla przykładu i nie są zgodne ze spotykanymi w rzeczywistości. Liczby w prostokątach podają w ilu egzemplarzach powtarza się zawarty wewnątrz nich układ elementów. Znak = oznacza połączenie każdego elementu po prawej stronie tego znaku trzema przewodami z polem stykowym po jego lewej stronie (dwa przewody rozmowne, jeden sygnalizacyjny).

gdyż każdy z 15 wybieraków z jednego poziomu odpowiada tej samej setce: wszystko jedno, na który trafić, byle na wolny. Ruch obrotowy odbywa się po osiągnięciu wybranego przez abonenta poziomu, niezależnie od jego dalszych czynności, zanim zdąży wybrać drugą cyfrę. Gdy abonent jest po-

łączony z wybierakiem liniowym, dalszy przebieg jest już taki, jak w małej centrali. Każdej setce abonentów przydziela się kilkanaście wybieraków grupowych, dołączonych do wielokrotnego pola wybieraków wstępnych tej setki, zupełnie jak wybieraki liniowe w przypadku małej centrali. Zauważymy, że każdy abonent jest załączony niezależnie do pola wielokrotnego jako wywołwany i jako wywołujący: może więc telefonować do siebie samego i dostanie sygnał zajętości.

Czytelnik łatwo już sam zrozumie, jak postąpić przy centrali na 10 000 (rys. 54): będziemy mieli pierwsze wybieraki grupowe (dla cyfry tysięcy) dołączone do pola wielokrotnego wybieraków wstępnych, w liczbie np. 25 na 100. Każdy z tych 2 500 wybieraków tysięcznych porusza się przed polem stykowym, do którego są dołączone wybieraki grupowe wtórne (setek); będzie ich 10 grup np. po 15 wybieraków, przy czym dla pierwszego wybieraka grupowego tylko ruch pionowy jest sterowany. Każdy wybierak wtórny (wybierak setek) porusza się przed polem stykowym wybieraków liniowych; będzie ich np. 10 rzędów po 15 wybieraków liniowych. Wybieraki liniowe poruszają się już przed polem styków jednej setki abonentów.

Lecz tu nie koniec jeszcze komplikacji, które widzimy w centrali rzeczywistej: czy każdemu z 10 000 tysięcy abonentów zostawimy indywidualny wybierak wstępny, czynny tylko wtedy, gdy abonent go wezwie? Otóż we współczesnych centralach na każdą grupę 200 abonentów wprowadza się tylko 15-30 „szukaczy“, godząc się na dalsze wynikające z tego komplikacje schematowe, bo się to jednak w ostatecznym rachunku opłaca. Ponieważ abonent musi mieć coś indywidualnego na stacji, pozostawia mu się przekaźnik, który po podniesieniu mikrotelefonu uruchamia „rozdzielnik zgłoszeń“ (3 na 200), a ten za pomocą wchodzącego w jego skład wybieraka obrotowego wprawia w ruch wolny szukacz liniowy

(w naszych centralach 20 na 200), po czym natychmiast się uwalnia. Szukacz liniowy jest wybierakiem skokowo-obrotowym, który wyszukuje wzywającego abonenta, obchodząc wszystkich i poznając właściwe potencjale w przewodzie próbnym. Gdy szukacz liniowy zatrzyma się, wtórny rozdzielnik zgłoszeń „wyznacza“ szukacz wtórny (wyszukany przez zeń za pomocą wybieraka obrotowego), który — jest to wybierak tylko obrotowy — wyszukuje szukacz liniowy, jak ten poprzedni szukał abonenta, tj. obraca się dopóki nie natrafi na styki o właściwym potencjale w polu wielokrotnym, do którego są dołączone szukacze liniowe. Każdy szukacz wtórny jest połączony stale z jednym wybierakiem grupowym, a więc abonent okazuje się połączony z pierwszym wybierakiem grupowym, otrzymuje sygnał zgłoszenia, rozpoczyna nakręcanie numeru i dalszy przebieg łączenia już znamy. Po odwieszeniu słuchawek przekaźniki wysyłają prąd, który uwalnia uwikłane w połączeniu elementy, a wybieraki grupowe i liniowe odprowadzają do położenia wyjściowego.

Przy praktycznym wykonaniu centrali powstają najróżniejsze komplikacje przy zastosowaniu jej do wymagań miejscowych. Każdą centralę projektuje się właściwie specjalnie (tab. XVI^A).

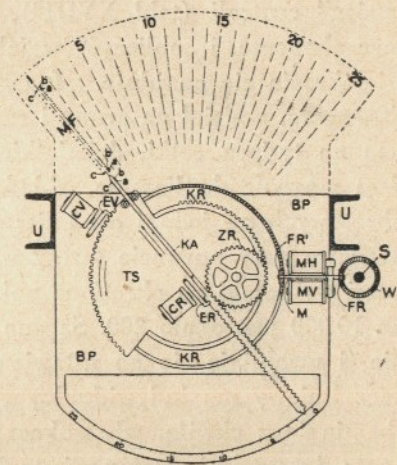
Centrale Strowgera ma kilkanaście miejscowości polskich, jak Katowice, Toruń, Tczew, Gdynia, Piotrków, Częstochowa i in. W Poznaniu zastosowano system Siemensa, w Tarnowie przestarzały system Dietla. W miastach największych, Warszawie, Łodzi, Bydgoszczy, Lublinie, Zagłębiu Naftowym, Krakowie, Radomiu, Zakopanem zainstalowano system Ericssona, o którym wobec tego powiemy kilka słów.

7. SYSTEM ERICSSONA

Zasadnicze różnice między tym a opisanym wyżej są następujące: wybieraki (tabl. XVIII^A) są napędzane maszy-

nowo, a nie indywidualnie; są one płaskie, ale nie mają ruchu pionowego, lecz ruch w kierunku promienia koła, po którym się obracają; pole wielokrotne składa się z gołych drutów i obejmuje 500 abonentów; wreszcie nie dziesiętny układ grup w centrali i związane z tym zastosowanie rejestru, tj. aparatu notującego niejako numer żądany i kierującego potem wybierakami w zastępstwie abonenta.

Pole wielokrotne dla grupy 500 abonentów (tabl. XIV) jest zbudowane z 25 pionowych „harf“ (o strunach jednakowej długości) (ramek wielokrocza) ustawionych w wachlarz. Każda harfa odpowiada 20 abonentom i składa się z 20 razy po trzy pionowe gołe druty: dwa z nich służą jako styki do pętli abonenta, jeden jest próbny i służy m. in. do sprawdzania zajętości. Na osi tego wachlarza obracają się ramiona szukaczy liniowych (rys. 55), tworzących pionowy stos z 40—60 wybieraków, poruszających się w płaszczyznach poziomych. Ramię KA szukacza zgłasza się do wzywającego abonenta, obracając się (dzięki kołu zębataemu KR), aż nie natrafi na ramkę o odpowiednim potencjale, wtedy obrót zostaje zahamowany i zaczyna się ruch promieniowy (dzięki kołu ZR) wzdłuż ramki aż do napotkania drutów o odpowiednim potencjale. Każdy szukacz danego stosu może trafić do każdego abonenta 500-ki (tylko na innej wysokości drutu).



Rys. 55. RYSUNEK SCHEMATYCZNY WYBIERAKA SYSTEMU ERICSSONA

Jako wybieraki liniowe i grupowe są użyte takie same organy jak szukacze. Sterowanie odbywa się przy pomocy elektromagnesów CV i CR, które kierują ruchem ramienia KA, zatrzymując przy pomocy zapadki EV albo ER tarczę albo ramię, gdy dostaną odpowiedni impuls.

Każdy abonent jest załączony do jednego wielokrocza szukaczy liniowych i do jednego wielokrocza wybieraków liniowych; wielokrocza te są oddzielne, a połączone tylko elektrycznie.

Najistotniejszą różnicę obu systemów stanowi rejestr, „mózg“ centrali (tabl. XVIII^B), który musi zapamiętać numer abonenta, i „obliczyć“ w jakiej 500-ce i w jakiej ramce wielokrocza się znajduje. Inaczej bowiem niż w systemie Strowgera, podział na grupy i ramki nie zgadza się z podziałem na tysiące, setki, dziesiątki. Rejestr przypomina wyglądem maszynę do liczenia, składa się z szeregu wybieraków obrotowych na jednej osi i licznych przekaźników. Impulsy prądowe przy powrocie tarczy wywołującego nastawiają skokami wybieraki na określone położenia. Rejestrów w centrali na 10 000 jest około 200. Są one zajęte tylko w czasie łączenia i uwalniają się po ustawieniu wybieraków. Każdy szukacz liniowy ma indywidualny wybierak rejestrów, który uruchamia się z chwilą, gdy szukacz znajdzie wywołującego abonenta, i wyszukuje wolny rejestr. Wtedy zostaje nadany sygnał zgłoszenia centrali i abonent rozpoczyna wybieranie numeru.

Każdy szukacz liniowy jest połączony stale z pewnym wybierakiem grupowym; pole wielokrotne wybieraków grupowych składa się — jak pole szukaczy liniowych — z 25 ramek po 20 obwodów wybieraków liniowych. 20 wybieraków liniowych każdej ramy tego ostatniego wielokrocza obsługuje jedną 500-kę abonentów, która znowu jest dołączona do wielokrocza 25 ramek po 20 linii, ale innego niż wielokrocze szukaczy liniowych, jak już wspominaliśmy.

Gdy rejestr zanotował numer, rozpoczyna ruch pierwszy wybierak grupowy wysyłając w tył do rejestru sygnały prądowe przy mijaniu każdej ramki; sygnały te obracają pewne mechanizmy rejestru, które powodują przerwanie prądu po tyłu sygnałach, na ile się rejestr nastawił, a więc zatrzymanie pierwszego wybieraka. Teraz rusza drugi wybierak grupowy i tak dalej. Po wykonaniu połączenia napęd maszynowy przywraca rejestr do położenia wyjściowego.

Powtórzmy teraz wszystkie etapy połączenia: Abonent A podnosi mikrotelefon. Przekaznik uruchamia wolny szukacz liniowy, który wyszukuje najprzód wywołującego abonenta, a potem przez swój wybierak rejestrów — wolny rejestr. Abonent otrzymuje sygnał zgłoszenia, wybiera numer, który zostaje zarejestrowany. Wtedy wybierak grupowy, należący do danego szukacza, wyrusza w ruch obrotowy z położenia spoczynku i pilnowany przez rejestr zatrzymuje się przed ramką wielokrocza odpowiadającą właściwej 500-ce, po czym drążek jego zaczyna ruch promieniowy w poszukiwaniu drutów wolnego wybieraka liniowego. Po znalezieniu wybieraka liniowego rejestr pilnuje jego ruchu najpierw obrotowego, a potem również promieniowego, dopóki drążek nie zatrzyma się przed drutami abonenta. Jeżeli znajdzie właściwy potencjał w próbnym drucie, wysła sygnał zajętości. Jeżeli nie, połączenie jest gotowe i przebiega sygnał dzwonienia. Po podniesieniu słuchawki sygnał ten przerywa się. Po odwieszeniu słuchawek (albo nawet tylko jednej w niektórych schematach) szereg przekaźników powoduje uwolnienie wszystkich organów uwikłanych w rozmowie, zaś licznik rejestruje rozmowę. Na tabl. XVII^B widzimy jedną z sal centrali Ericssona w Warszawie.

8. LICZBY

Nie będziemy tu opisywali, w jaki sposób można łączyć między sobą centrale, tak żeby każdy abonent jednej mógł

rozmawiać z którymkolwiek z drugiej. Łańcuch takich połączeń pozwala teraz przeprowadzić rozmowę telefoniczną między dwoma dowolnymi większymi miastami na świecie. Obliczono, że każdy abonent angielski lub amerykański może się połączyć z 21 250 000 innych abonentów i że ogólna liczba takich połączeń możliwych wynosi 231 500 000 000!

W gęstości sieci telefonicznej przewodzą — rzecz jasna — Stany Zjednoczone. Na 31 grudnia 1932 r. było tam 17 424 406 telefonów w użyciu. W Wielkiej Brytanii dnia 30 grudnia 1934 r. było 2 250 000 abonentów, o 135 874 więcej niż o dwa lata wcześniej. W Polsce w 1937 roku było 206 000 abonentów, w Warszawie na 1.VI.1938 — 68 372.

Podamy jeszcze liczbę aparatów telefonicznych na stu mieszkańców w ważniejszych krajach, według danych z roku 1936:

Stany Zjednoczone	13,94	Belgia	4,3
Kanada	11,98	Austria	4,2
Nowa Zelandia	10,12	Łotwa	3,7
Dania	11,0	Finlandia	3,63
Szwecja	10,7	Francja	3,5
Szwajcaria	9,9	Argentyna	2,8
Australia	8,3	Japonia	1,7
Norwegia	6,96	Czechosłowacja	1,4
Wielka Brytania	5,9	Hiszpania	1,3
Niemcy	5,1	Z. S. R. R.	0,5
Holandia	4,5		

W Polsce mamy obecnie tylko około 7 abonentów na tysiąc.

ROZDZIAŁ VII

O TELEGRAFIE BEZ DRUTU

1. POCZĄTKI

Jak już mówiliśmy na początku rozdziału IV, marzenia o porozumiewaniu się na odległość bez żadnych zupełnie połączeń materialnych są starsze niż bardziej skromne pomysły telegrafii przewodowej. Już badania Gilberta, jak się wydaje, pchnęły fantazję ludzką w tym kierunku, spotykamy bowiem w wiekach XVI, XVII i XVIII projekty „telegrafu bez drutu“ oparte na ogół na założeniu „związku sympatycznego“ między dwiema igłami magnetycznymi. Mówiliśmy o tym pomysły w rozdziale IV i nie trzeba już dodawać, że tylko średniowieczna pogarda dla eksperymentu pozwoliła mu się błąkać przez tyle lat po różnych traktatach.

Poważniejsze próby poszły w trzech zasadniczych kierunkach: wyzyskanie przewodnictwa, indukcji i promieniowania. Wiemy, że ten ostatni kierunek doprowadził do rozwiązania, lecz ponieważ i pierwsze odegrały swą rolę w cudach radia, wspomnimy o nich krótko.

Zaczęło się od prób zmniejszenia liczby przewodów między stacjami, do jednego zamiast dwóch. Obwód elektryczny próbowano zamknąć przez ziemię, wodę albo powietrze. Już w roku 1746 Winkler w Lipsku rozładowywał butelki lejdejskie przez izolowany drut rzucony przez rzekę Pleisse, przy czym prąd wracał przez wodę rzeki. W tym samym roku z powodzeniem przesłał wyładowanie na odległość przeszło 3 km używając ziemi do zamknięcia obwodu. W roku 1795 wspom-

niany już wcześniej Salva, fizyk hiszpański, opisał jak można prowadzić pod oceanem druty izolowane używając wody do zamknięcia obwodu. Ten sam pisarz zaproponował do porozumiewania się na odległość zastosować teorię Bertolona, że trzęsienia ziemi pochodzą od ruchu elektryczności z miejsc naładowanych dodatnio do miejsc naładowanych ujemnie. W ten sposób, pisze Salva,

staje się zbyteczny nawet przewodnik, jeżeli chcemy przesłać przez morze z góry umówiony sygnał. Można by np. na Mallorce naelektryzować obszar na powierzchni ziemi, w Alicante zrobić to samo, ale użyć przeciwnego ładunku i oba te obszary połączyć tylko z morzem za pomocą drutu. Wtedy połączenie między obu obszarami będzie zupełne, gdyż płyn elektryczny przepłynie przez morze, które jest doskonałym przewodnikiem, i za pośrednictwem iskry poda żądany sygnał.

Ciekawy pomysł Salvy nie jest tak fantastyczny, jakby się to mogło wydawać, gdyż technicy telegraficzni dobrze znają złe uziemienia, spowodowane przez naelektryzowanie wielkich powierzchni na ziemi. Są znane nawet przypadki, gdy z powodu złej izolacji sygnały Morsa nadawane na jednym przewodzie były słyszane przez obsługę innego, co tłumaczy się tym, że potencjał ziemi ulegał zmianom na skutek prądów w pierwszym przewodzie. Lecz są to przypadki wyjątkowe i dają objawy tak słabe, że do ich wykrycia niezbędne są niezmiernie czułe przyrządy.

Rola ziemi przy zamykaniu obwodu elektrycznego zrazu nie była znana, a w każdym razie źle rozumiana, jakkolwiek wszystkie wczesne pomysły, oparte na elektryczności statycznej, korzystały z jednego tylko przewodu. Dopiero wspomniany już Winkler, w roku 1746, zdał sobie jasno sprawę z tego, że można obwód zamknąć przez ziemię. A w roku 1837 jakiś anonim w czasopiśmie angielskim *The Mechanics' Magazine* proponuje korzystanie z uziemienia w sposób zupełnie współ-

czesny. Pisze on mianowicie, że przed pięciu laty obmyślił plan telegrafu, stanowiący ulepszenie telegrafu Alexandra, w którym stosowano aż 31 drutów. Ulepszenie polegało na usunięciu 15 przewodów i wyzyskaniu jednego tylko dla wspólnego zamknięcia wszystkich piętnastu obwodów. „Lecz nawet bez tego można się obejść“, pisze, „tam, gdzie są dobre odpływy elektryczności, jak rury gazowe albo wodne na każdym końcu telegrafu“.

2. SYGNALIZOWANIE PRZEZ WODĘ

Pierwsze udokumentowane przesłanie prądu elektrycznego bez zamkniętego obwodu datuje się z roku 1803, kiedy to Aldini między portem Calais i Fort Rouge użył drutu rozpiętego na masztach okrętu, a obwód zamykała woda na odcinku długości 60 metrów. Podobne doświadczenia wykonał Basse w Hamel, gdzie prąd przekazano na 150 m. Na Wezerze przekazywano na 60 metrów, a później przez łuk na 900 metrów. Lecz doświadczenia te wykonywano nie ze względu na telegrafowanie bez przewodów, lecz w celu wyznaczenia szybkości prądu elektrycznego.

W roku 1811 wspomniany już S. T. von Sömmering w Monachium również korzystał z wody do zamknięcia obwodu eksperymentując nad pewną postacią telegrafu. Przekonał się, że jeżeli rozciąć przewody i zanurzyć je w wodzie, prąd płynie jak przedtem.

W roku 1838 C. A. Steinheil³⁷ z Monachium położył podwaliny telegrafii bez drutu. W doświadczeniach swych Steinheil próbował korzystać z szyn kolejowych jako przewodników telegraficznych i zrozumiał, że niepowodzenie jego tłumaczyło się niemożliwością izolowania ich od ziemi. W ten sposób odkrył powrót prądu przez ziemię i możliwość usunięcia drutu powrotnego. Steinheil pisze:

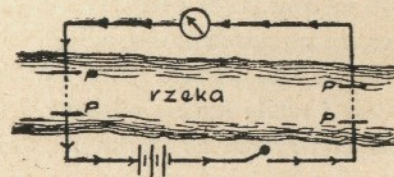
Fakt ten należy do najosobliwszych z odkrytych nam przez naukę. Lecz sposób ten nadaje się jedynie na krótkich odległościach i dopiero przyszłość rozstrzygnie, czy będziemy mogli telegrafować na wielkie odległości bez metalowych przewodów.

Przy próbach Steinheila odległości nie przekraczały 15 metrów. Przypuszczał on, że „przez powiększenie siły indukcji galwanicznej, albo przez zastosowanie odpowiednich wzmacniaczy, możnaby przesyłać sygnały na większe odległości“. Jednak dalsze prace rozczarowały go do tego stopnia, że napisał: „Nie można zakląć gnomów, by na rozkaz przenosiły nasze myśli przez ziemię: Natura opiera się temu“. Wydawało mu się, że energia niezbędna, by prąd przesłać na większe odległości przez ziemię jest praktycznie nieosiągalna. Twierdził, że

rozchodzenie się efektu galwanicznego jest proporcjonalne do drugiej, a nie do pierwszej potęgi odległości od środka zaburzenia. Wobec tego na odległości 15 metrów można było przy pomocy najsilniejszych zaburzeń elektrycznych wywołać tylko bardzo słaby efekt. Gdybyśmy mieli narzędzia, które by na elektryczność tak odpowiadały jak oko na światło, nie by nie stało na drodze do telegrafowania przez ziemię bez pośrednictwa drutów. Lecz najpewniej nigdy tego nie osiągniemy.

Z kolei wypada opowiedzieć o próbach S. F. B. Morse'a, którego prace były związane z jego systemem telegrafii. Jak wiadomo, Morse wynalazł system telegrafowania przy pomocy przewodów, który w roku 1842 demonstrował na odległości powyżej 1600 metrów. Na samym początku pokazu mijający okręt uszkodził kotwicą jeden z kabli. Ten „nieszczęśliwy“ przypadek wyszedł na dobre, gdyż podsunął Morse'owi „plan uniknięcia takich przypadków przez ułożenie przewodów wzdłuż brzegów tak, żeby woda sama przewodziła elektryczność“. Położył zatem wzdłuż każdego z brzegów po jednym przewodzie równoległym do brzegów (i do drugiego

przewodu — rzecz jasna). Jeden z tych drutów był połączony przez klucz nadajnika z baterią, drugi z odbiornikiem, a końce obu drutów były połączone z płytami miedzianymi, zanurzonymi do wody (rys. 56). Doświadczenie udało się całkowicie, sygnały zostały przekazane na drugą stronę z zupełną jasnością. Morse stwierdził, że ładunek, który przechodził z jednej strony na drugą, zmienił się z wielkością zanurzonych płyt i z ich wzajemną odległością.



Rys. 56. UKŁAD MORSE'A DO TELEGRAFOWANIA BEZ DRUTU PRZEZ WODĘ

W tym samym mniej więcej czasie J. B. Lindsay³⁸ pracował w Dundee

w podobnym kierunku. Wybitny ten badacz, dawniej skromny tkacz, wykonał wiele ciekawych eksperymentów i doszedł do sygnalizowania bez drutów przez rzekę Tay, na odległości około 1 200 m. W roku 1845 przedstawił w Londynie swe pomysły w Electric Telegraph Company, przy czym zetknął się z W. H. Preece'em³⁹, który później sam zajął się próbami telegrafowania bez drutu. Od niego dowiedział się, że jego „wielki wynalazek“ został już dokonany przez Morse'a w Ameryce przed 12 laty.

W roku 1845 J. W. Wilkins, urzędnik firmy Cooke i Wheatstone (późniejsza Electric Telegraph Company) zaproponował sygnalizację bez drutów między Anglią i Francją. Chciał on ustawić szereg słupów telegraficznych wzdłuż brzegów obu krajów, rozpiąć na nich przewody, możliwie równoległe do siebie, i zakończenia ich zanurzyć w wodzie. Aparaty telegraficzne miały składać się „z cewek z najlepszego drutu o najlepszym przewodnictwie“, zawieszonych przed biegunami magnesu stałego. Sądził, że cewki te będą nieruchome,

dopóki nie będzie w nich prądu, lecz że najslabszy prąd wywoła już odchylenie względem biegunów magnesu; byłby to zatem odbiornik bardzo czuły.

Około roku 1852 dwaj bracia, Edward i Henry Highton⁴⁰, eksperymentowali w podobnym kierunku, zanurzając do kanału gołe druty i osiągając porozumienie na odległość do 400 metrów. Lecz pierwszy z nich wkrótce przyszedł do wniosku, że na znaczniejsze odległości nie można przysyłać sygnałów bez izolowanego przewodu. Drugi jednak nie dał za wygraną i udało mu się odebrać w swoim pokoju, nad brzegiem Tamizy, sygnał ze statku używając do tego cewki i baterii. W roku 1872 był przekonany, że „możliwe jest porozumienie nawet przez Atlantyk, jeżeli zastosować jako odbiornik listek złoty przed potężnym elektromagnesem, powiększając jego odchylenia na drodze optycznej“. Pomysły jego przypominały Morse'a, lecz były zakrojone na znacznie większą skalę. Nie zawahał się on napisać, że

jest rzeczą możliwą, poprowadziwszy bardzo grubą linię od Hebryd do Cornwall i stosując olbrzymie płyty na każdym końcu oraz olbrzymią baterię, przesłać prąd, który możnaby wykryć przy pomocy równie grubej linii z wielkimi płytami na drugiej stronie Atlantyku.

Lecz oględnie dodał, że trud i koszty byłyby prawdopodobnie większe niż przy poprowadzeniu przewodów przez ocean.

3. SYGNALIZOWANIE PRZEZ „POWIETRZE“

Do roku 1874 wszystkie próby sygnalizacji bez drutu były oparte na zjawisku przewodnictwa elektrycznego i wywodziły się od telegrafu Morse'a. Po wynalezieniu telefonu zaczęto operować indukcją elektromagnetyczną. Stało się to możliwe dzięki temu, że telefon jest detektorem prądu niezmiernie czułym, bez porównania czulszym niż wszelkie urządzenia

telegraficzne. Zmierzone, że telefon odzywa się w sposób słyszalny na prąd sto tysięcy razy słabszy niż prąd ogniwa Leclanchégo.

Już wspomnieliśmy dawniej o zasadzie indukcji, według której w obwodzie sąsiadującym z obwodem prądowym również powstaje prąd. Na tej zasadzie, jak wiemy, oparty jest transformator. Zanim telefon jeszcze stał się przedmiotem powszechnego użytku, uczeni dobrze wiedzieli, że nadaje się on znakomicie do wykrywania prądów indukowanych. Sygnały telegraficzne z łatwością były słyszane na równoległych obwodach telefonicznych całkowicie od nich izolowanych. Do najczynniejszych badaczy tego zjawiska należał John Trowbridge⁴¹ z uniwersytetu Harvard (w pobliżu Bostonu). Przyszedł on do wniosku, że jakkolwiek telefon nie jest przyrządem, który — jak chciał Steinheil — „znajduje się w takim stosunku do elektryczności, jak oko do światła“, jednak jest czymś do tego zbliżonym. Trowbridge zdawał już sobie sprawę z tego, że porozumiewanie się elektryczne przez Atlantyk jest rzeczą teoretycznie możliwą, chociaż praktyczne tego wykonanie jest całkiem inną sprawą. Według pomysłu jego, w Nowej Szkocji miały być umieszczone potężne prądnice o jednym biegunie uziemionym w ich pobliżu, a drugim aż na Florydzie, przy czym przewodnik tam biegnący miał być starannie izolowany. Wytworzyć się w ten sposób miało pole elektromagnetyczne. We Francji należało wyszukać dwa punkty o różnych potencjałach, połączyć je elektrycznie i telefon, włączony w tę linię, powinienby odzywać się na zmiany prądu w przewodniku amerykańskim. Trowbridge sam jednak twierdził, że wymagałoby to olbrzymiej energii w prądnicę.

W roku 1880 zaproponował zastosowanie tej metody do porozumiewania się okrętów. Na każdym z nich miała się znajdować silna prądnica, której jeden biegun miał być połą-

czony z wodą przy dzióbce statku, a drugi — daleko za sternem, za pośrednictwem boji holowanej na długim drucie. W ten sposób po wielkiej powierzchni wody rozejdzie się prąd elektryczny, który będzie mógł — za pośrednictwem drutu odbiorczego rozpiętego w wodzie przy innym okręcie — oddziaływać na telefon. W roku 1891 podał nowy projekt użycia wprost indukcji przez rozpięcie dwunastu drutów, których końce byłyby połączone z biegunami silnej baterii albo prądnicy. Podobne druty na innym okręcie, przeznaczone do odbioru sygnałów, miały być połączone z telefonem. Doświadczenia dały pewne dodatnie wyniki, przy czym okazało się, że odbiór był najsilniejszy, gdy obie te cewki były równoległe. Trowbridge zwrócił uwagę, że w ten sposób można łatwo wykryć, jaki jest kierunek sygnalizującego okrętu.

Pomysł Trowbridge'a jest już zbliżony do zasady komunikacji radiowej, lecz trudności praktyczne przy jego metodzie są nie do przewyciężenia: do porozumienia się na odległość jednego tylko kilometra trzeba użyć cewek o dzieśięciu zwojach i średnicy 25 metrów!

W roku 1883 A. E. Dolbear⁴² z powodzeniem przesyłał sygnały elektromagnetyczne przez przestrzeń i ubiegł niemal Marconiego: korzystał on z mikrofonu, cewki indukcyjnej, baterii o napięciu 100 woltów oraz kondensatorów, a więc z aparatury współczesnego radia. Sygnały przesyłał przy pomocy latawca połączonego z wtórnym uzwojeniem cewki: była to właściwie antena. Jak sam pisze,

idzie o wysłanie do ziemi szeregu wyładowań elektrycznych w danym miejscu, ale tak, żeby nie łączyć jednocześnie z ziemią drugiego końca baterii albo cewki: wszyscy twierdzą, że to niemożliwe, ale to na pewno zrobić można.

Z początku udawało mu się przesyłać sygnały tylko na odległość około kilometra, lecz później — jak twierdzi — sięga-

ły one do 20 kilometrów. Dolbear opatentował swój system i w roku 1884 demonstrował na wystawie elektrycznej w Filadelfii. Jeden koniec jego cewki indukcyjnej był uziemiony, drugi był połączony z ostrzami „dla rozładowania w powietrze“. Wyniki były dość ciekawe, dźwięki w słuchawce telefonu można było słyszeć nawet odsunawszy ją nieco od ucha przy odległości około 30 metrów od nadajnika. Dolbear pisze:

Jeżeli uziemić jeden koniec cewki indukcyjnej za pośrednictwem rury gazowej albo wodnej, pozostawiając drugi koniec wolny, można przysyłać sygnały wewnątrz wielkiego budynku albo do jego sąsiadów bez żadnego połączenia.

Dolbear sądził niewątpliwie, że przy przesyłaniu tych sygnałów pośredniczy powietrze. Dziś wiemy z pewnością, że korzystał z fal Hertza, których wtedy jeszcze nie znano.

Doświadczenia Trowbridge'a i Dolbeara zachęciły do prób W. H. Preece'a, który (był to główny inżynier wydziału telegraficznego angielskiego ministerstwa komunikacji) często zauważał, że telefony chwytają sygnały telegraficzne. W roku 1885 wykonał on wiele doświadczeń nad indukcją w drutach telefonicznych. Między innymi umieścił on dwa kwadraty z izolowanego drutu równoległe do siebie na dość znacznej odległości, która dochodziła do 900 metrów, i przy ich pomocy z powodzeniem prowadził rozmowy telefoniczne. Wyniki były bardzo słabe, gdy odległość drutów przekraczała ich własną długość.

Preece sądził, że druty były otoczone polem magnetycznym, które rozciągało się zarówno w ziemi jak w powietrzu. Zaproponował sprawdzenie tego przez umieszczenie jednego obwodu pod ziemią, a drugiego nad ziemią. Wykonał to jeden z jego asystentów, który urządził obwód długości całkowitej przeszło 3500 metrów; rozpiął go na głębokości przeszło 100 metrów po korytarzach kopalni węgla. Nad ziemią znaj-

dował się równoległy do tego obwód i przy ich pomocy z łatwością prowadzono rozmowę telefoniczną. Podobne doświadczenie zostało podjęte aż w roku 1922 w Stanach Zjednoczonych przez państwowy urząd kopalni, ażeby sprawdzić, czy radio nadaje się do akcji ratowniczej: ale tym razem korzystano z fal radiowych (o długości 200 m), zdając sobie z tego sprawę. Sygnały były słyszalne wyraźnie na głębokości 15 metrów przy zastosowaniu anten ramowych jednozwojowych.

Preece wykonał prócz tego cały szereg innych doświadczeń. Między innymi przysyłał sygnały przez kanał Brytolski na odległość 9 kilometrów. W roku 1895, gdy przerwał się kabel między Isle de Mull a lądem (w pobliżu Oban), utrzymywano przez cały tydzień połączenie metodą Preece'a. Lecz, chociaż tak obiecujący, system Preece'a zawodził, gdy odległość drutów stawała się większa niż ich własna długość. Co prawda, w niektórych przypadkach mogło się opłacić rozciąganie tak długich drutów, jak np. w przypadku latarni morskich. Istotnie, w roku 1899 Preece zorganizował komunikację lądu z latarnią na Skerries Rocks, odległą o prawie 5 kilometrów. Na Skerries rozciągnięto drut o długości 675 metrów, a na lądzie — o długości 5 600 metrów. W podobny sposób połączono z lądem latarnię morską na Rathlin Island (na północ od Irlandii) odległą o 13 kilometrów.

Lecz w wyniku długich badań i licznych doświadczeń, Preece doszedł do następujących wniosków: „Jakkolwiek komunikacja przez przestrzeń okazała się w pewnych warunkach osiągalna, warunki te nie są właśnie spełnione dla latarni morskich, o które przede wszystkim chodziło“. Pomimo to, zdawał sobie on sprawę z możliwości, które otwierały się przed komunikacją bez drutu. Oto, co pisał, przedstawiając w roku 1894 pewnej instytucji naukowej sprawozdanie ze swych dziesięcioletnich doświadczeń:

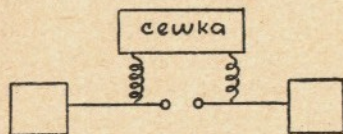
Miałem wprawdzie mówić tylko o komunikacji przez przestrzeń ziemską, lecz nie mogę się powstrzymać od pewnych rozważań dotyczących przestrzeni planetarnej. Na wszystkich długich i uziemionych liniach telefonicznych słychać dziwne, tajemnicze dźwięki, szczególnie w ciszy nocnej. Obwody telegraficzne odpowiadają na prądy błądzące w ziemi. Otóż zorza północna zapala się, gdy na słońcu ukazują się plamy. Na powierzchni słońca szaleją wtedy z pewnością burze elektryczne, które wywołują drgania wypromieniowywane w otaczającą przestrzeń. Drgania te są podobne do tych, które działają na telefon, więc nie jest czystą fantazją, gdy przypuścimy, że możemy te „burze“ słyszeć na ziemi. Gdyby któraś z planet była zaludniona przez istoty, które jak my umiałyby zaprzęć na swe usługi wielkie siły przyrody, gdyby dalej istoty te mogły wprawiać w drgania olbrzymie ładunki energii elektrycznej według klucza telegraficznego, możliwe byłoby porozumienie nasze z obywatelami Marsa.

4. ODKRYCIE FAL HERTZA

W doświadczeniach Preece'a metoda przysyłania sygnałów za pomocą indukcji osiągnęła swoje szczytowe możliwości. Z końcem XIX stulecia zaczęła ona wraz z metodą przewodnictwa ustępować miejsca promieniowaniu, tj. falom elektromagnetycznym. Fale te odkrył Heinrich Hertz, wspaniały eksperymentator i fizyk wielkiej miary. Studiował on w Monachium, po czym przeniósł się do Berlina, gdzie od roku 1880 był asystentem wielkiego Helmholtza. Po trzech latach zamieszkał w Kilonii, gdzie zajął się teorią elektromagnetyczną światła Clerka Maxwella⁴³, który już w roku 1863 udowodnił teoretycznie konieczność istnienia fal elektromagnetycznych. Między innymi uderzyło Maxwella, że pewien współczynnik liczbowy, występujący w matematycznych równaniach teorii elektryczności równa się dokładnie szybkości światła. Z tej równości wyprowadził wniosek, że światło jest pewnym gatunkiem owych fal elektromagnetycznych, które powstają w przestrzeni, jeżeli w jakimś jej miejscu nastąpi zakłócenie elektro-

magnetyczne. Utrzymał on, że takie jest pochodzenie i istota wszelkiej energii promienistej.

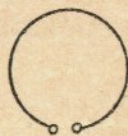
Pod wpływem lektury Maxwella Hertz zajął się żywo badaniem drgań elektrycznych, pragnąc wytropić fale przewidziane przez Maxwella. W swych wczesnych doświadczeniach używał przyrządu, który składał się z dwóch części zasadniczych: „oscylatora“ i „rezonatora“. (Tabl. XIX^A).



Rys. 57. OSCYLATOR HERTZA

oscylator składał się z płyty metalowej (rys. 57), na której były osadzone dwa pręty, zakończone kulkami, odległymi mniej więcej o 1 cm. Pręty te były połączone z dwoma końcami wtórnego uzwojenia transformatora. Gdy przez uzwojenie pierwotne przepływał prąd, pomiędzy kulkami po pewnym czasie przebiegała iskra, stanowiąca właśnie owo zaburzenie elektromagnetyczne. Rezonator składał się z kawałka drutu, zakończonego z obu stron kulkami, zgiętego w niedomknięte koło (rys. 58). Gdy iskra pojawiała się w oscylatorze, powstawała też iskra między kulkami rezonatora, jeżeli był dostatecznie blisko.

Przy pomocy dwóch tych tak prostych przyrządów Hertz wykazał, że wszystkie własności światła (odbicie, załamanie, polaryzacja itd.) mają odpowiedniki elektromagnetyczne, dowodząc w ten sposób tożsamości obu tych rodzajów zjawisk. Zmierzył również długość tych fal elektromagnetycznych, otrzymując liczby od 1 cm do 1500 km, ale szybkość ich okazała się zawsze ta sama, równa szybkości światła. Trudno o bardziej przekonujące potwierdzenie teorii Maxwella. I cała ta praca była wykonana w małym pokoiku!



Rys. 58.
REZONATOR
HERTZA

Hertz zmarł w wieku lat 37, w roku 1894, zanim jeszcze mógł ujrzeć wynalazki Marconiego, owoc swych odkryć, i zdać sobie sprawę, że stworzył nową epokę w dziejach cywilizacji. A przecież tuż po ogłoszeniu jego odkrycia, inżynier monachijski, Huber, podsunął mu myśl wyzyskania fal elektromagnetycznych do porozumiewania się na odległość. I rzecz dziwna, Hertz nie ocenił należycie doniosłości tego projektu, zniechęcając Hubera. Sądził on bowiem, że zmiany natężenia prądu w telefonie są zbyt powolne, żeby mogły jakoś wpłynąć na niezmiernie szybkie drgania elektromagnetyczne. Innym przypadła w udziale sława tego wynalazku. Lecz na usprawiedliwienie Hertza trzeba powiedzieć, że za jego czasów nie było dostatecznie czułych odbiorników drgań elektromagnetycznych, gdyż myśl styków mikrofonowych Hughesa poszła w niepamięć.

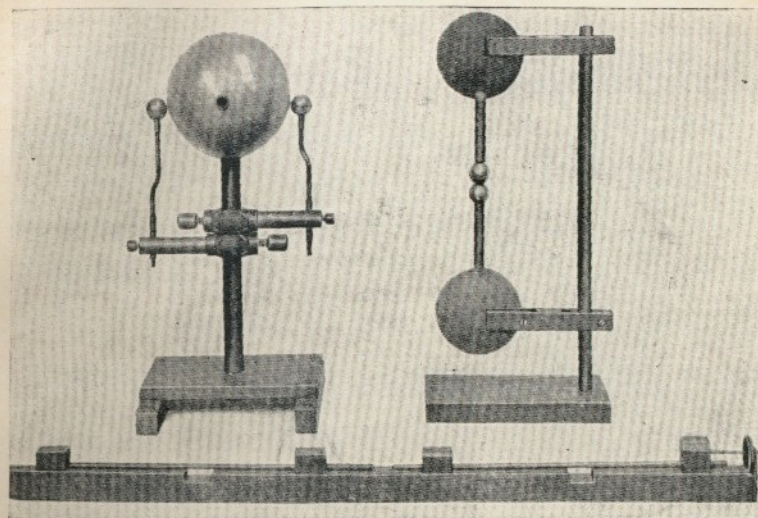
Doświadczenia Hertza zostały powtórzone przez liczne zastępy uczonych i wkrótce zaroilo się od prób zastosowania ich do komunikacji bez drutu. Szybko zrozumiano, że powodzenie ich zależy od dostatecznie czułego przyrządu do wykrywania fal, znacznie czulszego niż rezonator Hertza. Przyrząd taki zbudował Edward Branly na podstawie spostrzeżenia, które już w roku 1856 uczynił Guitard: gdy elektryzowano silnie zakurzone powietrze, cząsteczki pyłu zlepiały się w kłaczki i włókna. Spostrzeżenie to zostało zapomniane i w roku 1856 powtórzył je niezależnie S. A. Varley, który zastosował je do ochrony aparatów elektrycznych przed piorunami. Użył mianowicie rurki szklanej z pyłem metalowym zakorkowanej z obu stron. Przez każdy z korków przechodził drut przenikający w głąb pyłu, ale druty te nie dotykały się wzajemnie. Według badań Varleya pył metalowy między tymi dwoma drutami zachowywał się jak zły przewodnik w stosunku do zwykłych prądów, lecz dla prądów bardzo szybko zmiennych był przewodnikiem dobrym.

Po raz trzeci odkrył to zjawisko Oliver Lodge⁴⁴ w roku 1883, gdy badał dławczego nad silnie rozgrzanymi ciałami nie ma pyłu (można to zaobserwować, silnie oświetlając takie ciało w zakurzonej powietrzu). Badał je również Calzecchi⁴⁵ Onesti, który zastąpił pył metalowy przez opiłki miedziane i odkrył, że umieszczone między dwoma płytami mosiężnymi nie przewodzą one prądu, dopóki nie zostaną poddane działaniu wyładowania z cewki elektrycznej.

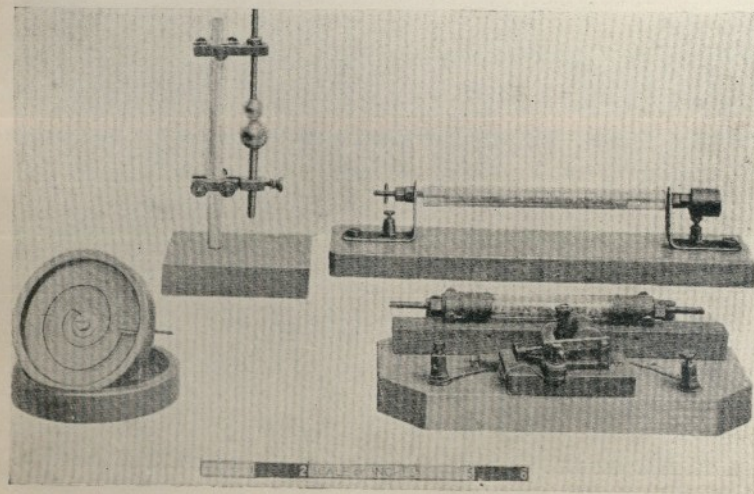
Na tej zasadzie oparł Branly swój sławny koherer (od łacińskiego „cohaerere“ — spajać), ulepszony później przez Marconiego. Połączył on z baterią druty wystające z rury z opiłkami i zauważył, że gdy opiłki spoczywały nie skupione, prądu w obwodzie nie było. Lecz gdy w pobliżu wyładowano cewkę elektryczną, prąd pojawiał się i mógł być wyzyskany do sygnałów Morsa w brzęczyku. W roku 1894 Lodge powtórzył wszystkie doświadczenia Hertza i jasno wykazał czułość koherera Branly'ego aż na odległość 150 metrów. Zademonstrował również, jak naciśnięcie klucza Morsa może wywoływać dostrzegalny sygnał w innym miejscu, jak krótkie naciśnięcie da sygnał krótki a długie — długi: a zatem wykazał, że można przesyłać telegramy. Do tego musiał zastosować jeszcze „wstrząsacz“, który po każdym wyładowaniu elektrycznym z powrotem rozpraszał skupione opiłki (Tabl. XIX^B).

Telegrafia bez drutu była właściwie w tym momencie wynalazkiem już dokonany przez Lodge'a, trudno więc zrozumieć, że nie zdał sobie wtedy sprawy z praktycznej wartości swych doświadczeń. Tłumaczył to sam tym, że zbyt był zajęty pracą pedagogiczną.

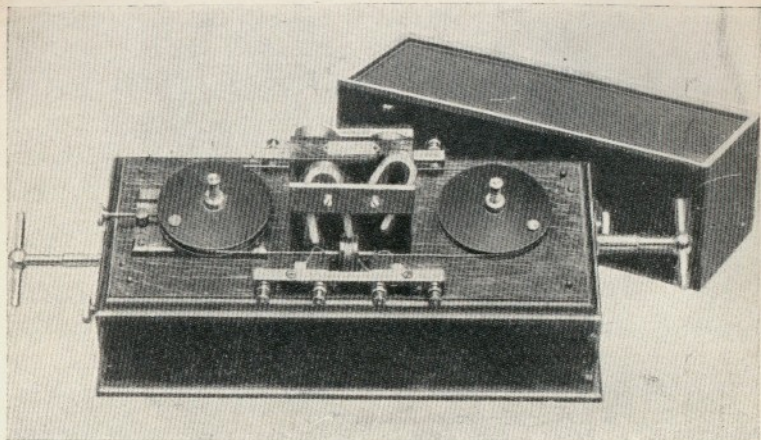
Lodge stosował najslabsze prądy i nie próbował zbadać, jak można powiększyć zasięg przez ich wzmocnienie. Zresztą obecnie mniej energii zużywa się na przesłanie sygnału na 500 kilometrów, niż wtedy do sąsiedniego pokoju.



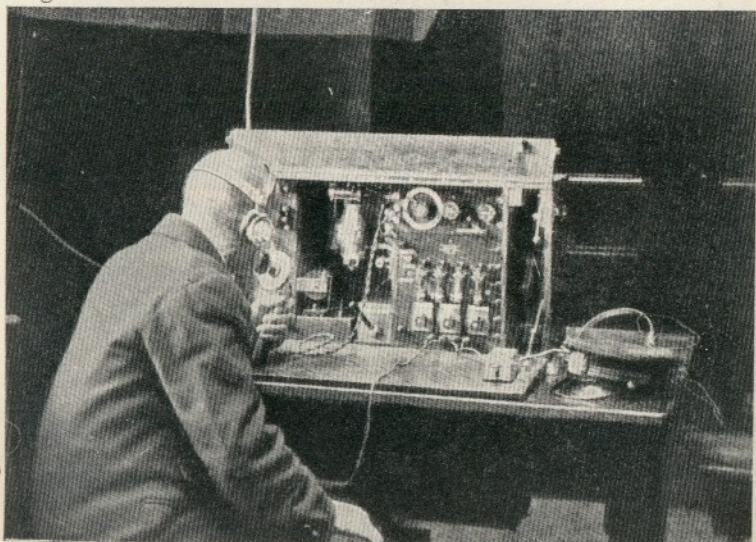
A. (Na lewo) ISKIERNIK KULISTY LODGE'A, (Na prawo) ISKIERNIK HERTZA, (U dołu) REZONATOR HERTZA. Wszystkie przyrządy pochodzą z roku 1894



B. (Na lewo) KOHERER SPRĘŻYNOWY LODGE'A (1894), KOHERER Z PRZERWA SPRĘŻYNOWA (1889), (Na prawo) DWA KOHERERY BRANLY-LODGE'A, DOLNY ZE WSTRZĄSACZEM. U dołu skala w calach.



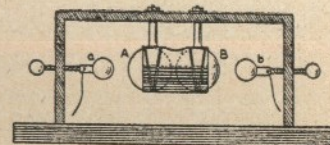
A. DETEKTOR MAGNETYCZNY MARCONIEGO (1902)

B. JEDNO Z PIERWSZYCH ROBOCZYCH URZĄDZEŃ RADIO-TELEFONICZNYCH
Stosowane do komunikacji z okrętami-laternią

5. PIERWSZE ROZWIĄZANIE

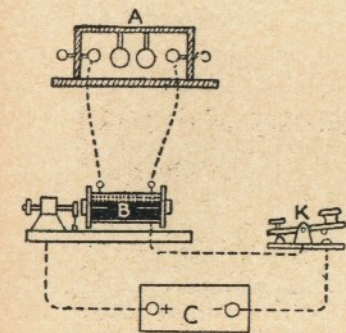
Guglielmo Marconi⁴⁶ urodził się w Bolonii w roku 1874. Był on uczniem profesora Righi⁴⁷, który żywo interesował się falami Hertza. Righi sam ulepszył oscylator Hertza, umieszczając obie kulki na podstawie ebonitowej i wypełniając przestrzeń między nimi oliwą, co zapobiegało ich utlenianiu. On to zachęcił młodego Marconiego do pracy. Ten szybko powtórzył cały zespół doświadczeń, oswoił się z aparaturą i bez żadnego wysiłku znalazł układ, który pozwalał przysyłać sygnały. Przyszło mu to tak łatwo, że był przekonany, iż odkrył rzecz znaną dobrze każdemu uczonemu z tej dziedziny i spodziewał się, że jest ona już wielokrotnie ogłoszona. Tymczasem poszukiwania po czasopismach nic nie przyniosły. Zabrał się zatem energicznie do pracy, bo na początku przesyłanie udawało się tylko z jednego końca stołu na drugi! W roku 1896 sygnalizował już na 4 km, opatentował w Anglii swe urządzenie i został przyjęty z entuzjazmem przez Williama Preece'a, który go otoczył gorącą opieką.

W urządzeniu swym Marconi skorzystał z wynalazków różnych swych poprzedników, zestawivszy je, po ulepszeniach i zmianach, w sposób praktycznie użyteczny. Jako oscylatora (rys. 59) użył potrójnego iskiernika Righiego, w którym wyładowanie następuje między trzema kulkami w izolującej cieczy. Odbiornik zawierał koherer Onestiego, ale bez porównania bardziej czuły, niż pierwotny przyrząd, bo ulepszony według Branly'ego i Lodge'a. Opilki były rozpraszane ponownie przez młoteczek dzwonka elektrycznego, a obwód miejscowy zamykał prze-

Rys. 59.
OSCYLATOR MARCONIEGO
A, B — kule mosiężne;
a, b — małe kulki

każnik, jak w telegrafie Morse'a. Oba tych przyrządów w podobny sposób użył w roku 1895 Rosjanin Popow w swych badaniach nad elektrycznością atmosferyczną. W połączeniu tych znanych rzeczy Marconi wykazał wielkie wyczucie praktycznej strony sprawy, którego brakowało uczonym tkwiącym w pracy laboratoryjnej. Preece powiedział, czyniąc aluzję do znanej anegdoty o Kolumbie: „Wszyscy widzieli jajo z bliska, lecz Marconi tylko potrafił je postawić“.

W swych wczesnych doświadczeniach Marconi użył dwóch mosiężnych kul 11 cm, odległych o 1 mm. Przy zastosowaniu 15 cm cewki wysyłał fale o długości 25 cm. Kule te były umieszczone w pudle uszczelnionym na olej tak, że tylko połowa każdej kuli wystawała na zewnątrz, podczas gdy druga tkwiła w oleju wazelinowym (rys. 59); wyjaśniliśmy już korzyści takiego urządzenia. Na jednej prostej z nimi, odległe o 2,5 cm od siebie, były umieszczone dwie mniejsze kule, połączone z zakończeniami wtórnego uzwojenia cewki indukcyjnej. Prąd do tej cewki przechodził przez klucz Morsa (rys. 60). Okazało się, że zasięg nadajnika

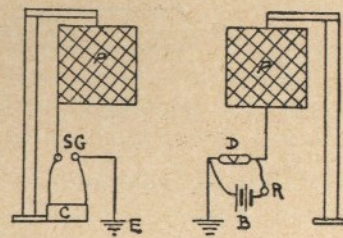


Rys. 60. JEDEN Z PIERWSZYCH SCHEMATÓW NADAWCZYCH MARCONIEGO
A — iskiernik (rys. 59), B — cewka indukcyjna, C — bateria, K — klucz Morse'a

zależał silnie od energii w cewce; iskra 15 cm wystarczała na przesłanie sygnału do 6 km, na większe odległości trzeba było wytworzyć iskrę 25 cm. Antenę stanowił izolowany drut, połączony z jedną gałką iskiernika i zakończony siatką drucianą P, zwaną powierzchnią pojemnościową, umieszczoną na maszcie. Druga gałka iskiernika była uziemiona.

Podobnie była urządzona antena na stacji odbiorczej, tylko że zamiast iskiernika, była połączona z kohererem (rys. 61).

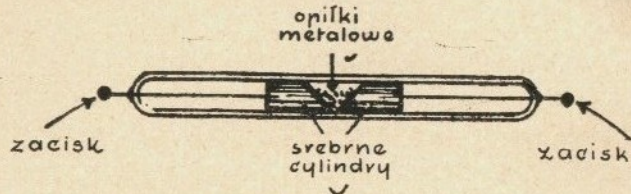
Marconi znalazł, że zasięg nadajnika rośnie z powierzchnią pojemnościową i z jej odległością od ziemi. W pewnych doświadczeniach jako te powierzchnie stosował płaskie, pionowe płyty, lecz w innych były one zgięte w kształcie walca, zamknięte z jednego końca i zawieszane na masztach, przypominając cylinder na lasce. Później okazało się, że to nie wysokość anteny poprawiała jej zasięg, lecz związana z nią długość drutu łączącego z aparatem. Usunięto wobec tego powierzchnie pojemnościowe zastępując je przez drut pionowy pociągnięty wzdłuż masztu albo — w doświadczeniach na szczególnie długi dystans — uwiązany do latawca albo balonu. Antena Marconiego stała się podstawą wszelkich systemów komunikacji bez drutu.



Rys. 61. JEDEN Z PIERWSZYCH UKŁADÓW NADAWCZO-ODBIORCZYCH MARCONIEGO
P — powierzchnie pojemnościowe, SG — iskiernik, C — cewka, D — koherer, R — przyrząd rejestrujący, B — bateria miejscowa. Na lewo stacja nadawcza, na prawo odbiorcza.

Najważniejszą częścią odbiornika był koherer, połączony z jednej strony z anteną, a z drugiej — z ziemią. Koherer Branlyego tkwił jeszcze w pieluchach eksperymentu, gdy go poznał Marconi; w jego rękę stał się przyrządem czułym i niezawodnym. Zmniejszył przede wszystkim jego rozmiary stosując szklaną rurę, w której znajdowały się dwa ściśle dopasowane cylindry o tej samej średnicy co ona. Zwrócone do siebie końce tych walców były ścięte ukośnie, tak że powstawał klin szerokości pół milimetra

wypełniony opiłkami metalowymi (rys. 62). Po licznych próbach zdecydował się na mieszanie opiłek niklu i srebra w stosunku 16:1; dodatek srebra silnie powiększał czułość. Zasadniczo, im większa przerwa między walcami, tym większe musiały być opiłki. Najlepszy wynik dawała wąska lu-



Rys. 62. KOHERER ULEPSZONY PRZEZ MARCONIEGO

ka — właśnie około 0,5 mm — i cienkie opiłki. Od każdego z walców odchodził drut platynowy do cewki. Boczna przystawka pozwalała dokładnie wypompować powietrze z rurki, co — jakkolwiek niekonieczne — zapobiegało utlenianiu opiłek. Próbą sprawności koherera była reakcja na prąd z cewki zwykłego dzwonka elektrycznego przy odległości około jednego do dwóch metrów.

6. PRÓBY MIĘDZY ANGLIĄ A FRANCJĄ

Marconi spędził dłuższy czas w Anglii, gdzie mu okazywano żywe zainteresowanie i pomoc. Pierwsze jego udane transmisje odbyły się tam w roku 1896 z pokoju w głównej dyrekcji poczt do odbiornika odległego o 90 metrów i umieszczonego na dachu. Wkrótce potem, wobec przedstawicieli armii i floty, przekazał sygnały telegraficzne na odległość ok. 3,5 km. Po roku transmitował przez kanał Brystolski, najprzód na 5, potem na 15 km, stosując już pionową antenę

wysokości 45 metrów i cewkę, która dawała iskrę 50 cm. Odbiornik był umieszczony na wysokości około 18 metrów nad poziomem morza i połączony z cynkowym walcem wysokości 180 cm i średnicy 90 cm, zawieszonym na maszcie 27-metrowym.

W roku 1898 nastąpiły próby w miejscowości Spezia na życzenie rządu włoskiego, który zainteresował się powodzeniem wykonanych w Anglii doświadczeń. Pierwsze trzy dni przyniosły doskonałe wyniki na lądzie przy odległości ok. 3 km. Nadajnik połączony z drutem pionowym długości ok. 24 metrów, zakończonym płytą cynkową, umieszczono po wschodniej stronie zatoki Spezia. Składał się z iskiernika o dwóch środkowych kulach 10 cm średnicy i dwóch zewnętrznych kulach 5 cm średnicy, cewka indukcyjna dawała iskry 25 cm. Odbiornik, umieszczony na holowniku, miał antenę pionową, długości 15 m, zakończoną cynkową płytą; drugi przewód od koherera prowadził do morza. Odbiór był dobry do 4 km, a gdy antenę wydłużono do 27 m, odległość ta wzrosła do 13 km. Wtedy powiększono antenę do 33 m i przeniesiono odbiornik na pancernik San Martino. Z anteną odbiorczą wysokości 27 m odbierano sygnały aż do 18 km.

Doświadczenia te potwierdziły całkowicie, że istnieje silna zależność między wysokością anteny i zasięgiem sygnałów. Zauważył też Marconi, że gdy między okrętem odbierającym a stacją nadawczą pojawiały się jakieś przeszkody przesłaniające, odbiór sygnałów zanikał. Tymczasem według Hertza fale elektromagnetyczne przechodziły bez poważniejszego osłabienia przez ściany, drzwi i inne nieprzewodzące ciała. Na pozór wbrew temu ustalił Marconi, że drzewa, budynki, pagórki i podobne przeszkody pochłaniają fale. Ażeby tę trudność przezwyciężyć, podwyższał wysokość anten, energię iskiernika i czułość odbiornika.

Marconi szedł teraz naprzód bardzo szybko. Wróciwszy do

Anglii po doświadczeniach w kraju ojczystym, dokonał pierwszej transmisji na wielką odległość — od Bath do Salisbury — wynoszącą przeszło 54 km. Następnie zbudował na wyspie Wight⁴⁸, stałą stację nadawczą, której próbował w połączeniu z małym parowcem krążącym w pobliżu. Utrzymywał z nim stałą komunikację telegraficzną aż do 30 km. Wkrótce wezwano Marconiego do budowy stacji w Osborne, ażeby mieć stałe połączenie z tej samej nazwy jachtem księcia Walii; tą drogą przekazywano królowej biuletyny o stanie zdrowia księcia. Książę korzystał wydatnie z usług Marconiego w czasie dorocznych regat żeglarskich w Cowes⁵⁰, a po zakończeniu zawodów, udając się na kilkudniową przejażdżkę, życzył sobie utrzymywania stałej łączności ze stacją w Osborne.

W marcu roku 1899 próbowano po raz pierwszy porozumieć się przez kanał la Manche i w rzeczy samej, 27 tego miesiąca przesłano z powodzeniem sygnały z latarni morskiej South Foreland do Wimereux w pobliżu Bulonii, na odległość przeszło 45 km, budząc wielkie zainteresowanie szerokiej publiczności. Tego samego roku pośpieszny parowiec Ibis utrzymywał stałą łączność ze stacją na South Foreland aż do odległości 52 km przy pomocy anteny o wysokości 21 m. Inne próby porozumiewania się z latarniami morskimi i okrętami-latarniami przez mgłę, deszcz i burzę dały wyniki tak dobre, że skierowały powszechną uwagę na tę metodę porozumiewania się okrętów między sobą i z lądem. Przy najbliższych brytyjskich manewrach morskich trzy okręty były wyposażone w instalację Marconiego: okręt flagowy i dwa krążowniki. Te ostatnie wymieniały między sobą sygnały do 100 km, a z flagowym nawet do 120 km. Przy końcu roku 1899 użycie systemu Marconiego do komunikacji między okrętami a lądem na odległość od 130 do 160 km stało się rzeczą zwykłą. Towarzystwa okrętowe instalo-

wały gromadnie aparaty Marconiego na swych okrętach i Towarzystwo Sygnalizacji Telegraficznej Bezdrutowej Marconiego budowało stacje nadbrzeżne.

W marcu roku 1900 Norddeutscher Lloyd przyjął system Marconiego. Wartość handlowa systemu była już wtedy oczywista, a wartość wyższego rzędu okazała się bardzo szybko, gdy okręt-latarnia został przez wiatr zerwany i uniesiony w morze: gdyby nie obecność aparatu Marconiego, załoga byłaby zgubiona.

W lipcu 1900 r. admiralicja brytyjska zainstalowała aparaty Marconiego na 26 okrętach wojennych i sześciu stacjach nadbrzeżnych. W umowie zastrzeżono, że próba ma się odbyć między pewnymi dwoma punktami, odległymi o 100 km i przedzielonymi wzgórzami: próba ta wypadła znakomicie.

7. WPROWADZENIE STROJENIA

Jedną z zasadniczych wad systemu Marconiego była niemożliwość zachowania tajemnicy sygnału. Prócz tego przy kilku jednocześnie w pobliżu siebie czynnych nadajnikach powstawały zakłócenia i pomieszania, które podważały poważnie praktyczne zastosowanie wynalazku. W roku 1897 Oliver Lodge ogłosił swe próby dostrajania odbiornika do nadajnika i wykazał, że w pewnym stopniu można zarówno zachować tajemnicę, jak wyłączyć odbiór innych nadajników.

Strojenie odbiornika oparte jest na ważnym zjawisku, które najlepiej zilustrujemy na przykładzie dwóch fortepianów, znajdujących się w tym samym pokoju. Jeżeli na jednym z nich uderzymy jakiś klawisz, np. C, a na drugim tylko podniesiemy wszystkie tłumiki, żeby struny mogły drgać swobodnie, odpowiednia struna odezwie się sama. Jest to zjawisko blisko spokrewnione z rozbijaniem huśtawki: wiemy dobrze, że jeżeli pchnięcia z zewnątrz przychodzą we

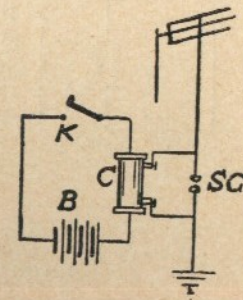
właściwej chwili, właśnie wtedy np. gdy huśtawka zabiera się do powrotu, rozbijanie się uda; jeżeli przeciwnie, pchniemy huśtawkę w chwili, gdy się jeszcze unosi, trochę za wcześniej, zahamujemy ją. Musimy popychać ją w tym rytmie, w jakim się waha sama. W naszym porównaniu huśtawką jest druga strona, a popychają ją fale głosowe, wysłane przez pierwszą strunę. Pierwsza z tych fal rozkołysze trochę strunę, która zacznie wykonywać słabe drgania własne o właściwym jej okresie, zacznie się huścić. Następna fala głosowa musi ją popchnąć w porę, a więc nadejść po czasie jednego wahnięcia, co wymaga, żeby powietrze drgało w tym samym tempie, co struna druga. W tym samym tempie musi więc drgać i struna pierwsza. Jeżeli tempa te będą inne, drgania drugiej struny będą albo słabiej podsycane, albo też w ogóle hamowane.

Zjawisko to w zakresie fal elektromagnetycznych zachodzi zupełnie tak samo. Zamiast struny mamy odbiornik, zamiast fal powietrza — fale elektromagnetyczne. Odbiornik ma swój własny, naturalny okres drgań. Jeżeli fale pobudzające go mają ten sam okres, tj. tę samą częstotliwość, przynoszą mu popędy zgodne z jego własnymi zmianami i wywołują drgania wyjątkowo silne: mamy rezonans elektromagnetyczny. W przeciwnym przypadku drgania wywołane przez fale będą albo znacznie słabsze, albo w ogóle stłumione.

Okres drgań własnych odbiornika, lub też jego częstotliwość, zależy od jego pojemności elektrycznej, oporu i stopnia czułości na indukcję (tzw. samoindukcji). Zmieniając te wielkości, można nadać odbiornikowi żadaną częstotliwość drgań własnych, a więc „dostroić“ go do fali o tej samej częstotliwości, lub innymi słowy, do fali o pewnej określonej długości. Odbiornik, nastrojony na falę 360 metrów, nie będzie odpowiadał wcale — albo bardzo słabo — na fale

600 albo 1000 metrowe. Na tej samej antenie, ale przy różnych odbiornikach można więc jednocześnie odbierać kilka różnych stacji nadawczych, jeżeli mają różne długości fali: to okazał już Marconi w roku 1900. Prócz tego, ta sama antena może być używana jednocześnie jako nadawcza i odbiorcza przy zastosowaniu pewnych ostrożności. Przy tym systemie (przeciwsobnym albo „duplexowym“) nadawanie i odbieranie przebiegają niezależnie od siebie z dowolnymi szybkościami.

W pierwotnym układzie Marconiego nadawanie było oparte w istocie na ładowaniu anteny energią elektryczną, która się w pewnej chwili wyładowywała w postaci szybko zanikającego pasma fal. Jeżeli klucz nadawczy naciskano na czas dłuższy, fale były odbierane jako szereg nieregularnych uderzeń. Zmniejszył się wtedy zasięg, o strojeniu nie było mowy. Widzielśmy, że w pierwszym schemacie Marconiego występowała cewka indukcyjna z baterią w jej uzwojeniu pierwotnym. Uzwojenie wtórne zawierało przerwę iskiernika, a z obramowujących ją kulek jedna była uziemiona, druga połączona z anteną (rys. 63). W roku 1900 schemat ten został ulepszony przez wprowadzenie odmiany butelki lejdejskiej, czyli kondensatora, i cewki dodatkowej, przy czym wyładowanie odbywało się jak przedtem. Jak to sam wynalazca mówi,

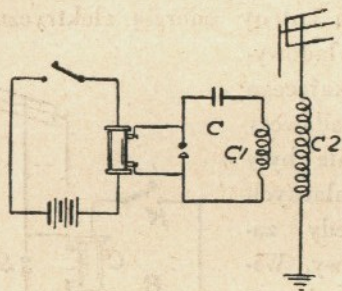


Rys. 63. PIERWSZY UKŁAD MARCONIEGO Z ANTENĄ
SG — iskiernik, C — cewka indukcyjna, K — klucz Morse'a, B — bateria miejscowa

urządzenie to pozwalało udzielić iskiernikowi znacznie więcej energii, gdyż zamknięty obwód pierwotny stawał się dobrym zbiornikiem energii, a otwarty obwód wtórny dobrym jej wysyłaczem.

Zastosowano również pomysł strojenia Lodge'a przez włączenie jeszcze jednej cewki jednym końcem do anteny a drugim do ziemi (rys. 64).

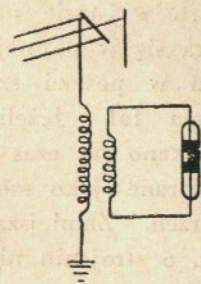
W tym schemacie mamy już dwa obwody: jeden składa się z cewki indukcyjnej, kondensatora i pierwotnej cewki strojącej; drugi z anteny i wtórnej cewki strojącej. Oba te obwody dostrajano wzajemnie, tak żeby drgania powstające z szybkiego ładowania i rozładowania kondensatora były energicznie podchwytywane indukcyjnie przez antenę. W ten sposób



Rys. 64. PIERWSZY STROJONY SCHEMAT NADAWCZY MARCONIEGO

Do schematu rys. 63 dodano kondensator C i cewki strojone C1, C2.

osiągnięto nie tylko większe dawki wypromieniowanej energii, ale osłabiono ich zanikanie. Usprawniono również odbiornik, wprowadzając cewkę do strojenia obu obwodów podobnie jak w nadajniku (rys. 65). Wszystkie te cztery obwody były wzajemnie dostrojone. Urządzenia te były chronione przez sławny patent „czterech siódemek“ (numer brytyjski był 7777), zgłoszony 26 kwietnia 1900 r. Pierwszy to raz zostały połączone indukcyjnie dwa obwody: jeden zamknięty, a drugi — dostrojony do niego — otwarty, tj. zawierający antenę. Patent ten zapewnił na pewien czas towarzystwu Marconiego niemal że wyłączność eksploatacji telegrafu bez drutu w Anglii i Ameryce.

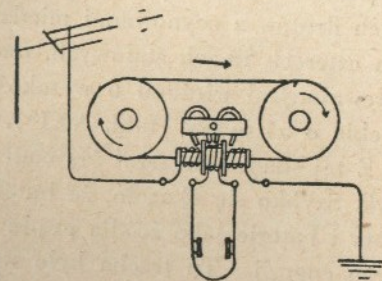


Rys. 65. SCHEMAT ODBIORCZY STROJONY DO NADAJNIKA NA RYS. 64.

8. PRZEZ OCEAN ATLANTYCKI

Pomimo tylu powodzeń oczekiwał jeszcze Marconiego największy tryumf: połączenie obu brzegów Atlantyku. Widzieliśmy, że nawet po wprowadzeniu strojenia Marconi używał wciąż koherera Branlyego. Wymagał on częstej regulacji, ale najprzykrzejsze było, że miał niewystarczającą czułość i szybkość działania: 16 do 18 słów na minutę stanowiło największą jego sprawność. Mała jego czułość nie pozwalała na znaczne powiększenie odległości.

Wysiłki Marconiego poszły teraz w kierunku zastąpienia tego detektora czymś sprawniejszym i w roku 1902 opatentował detektor magnetyczny (rys. 66 i tabl. XX^A). Składał się z zamkniętej wstęgi z miękkiej blachy żelaznej, założonej na dwa koła, poruszane mechanizmem zegarowym, i przebiegającej przed biegunami dwóch magnesów podkowiastych. Działanie jego opierało się na zmianie namagnesowania tego pasa przy przejściu z jednego magnesu pod drugi. Zmiana ta nie zachodziła oczywiście natychmiast, upływał pewien okres czasu, zanim żelazo straciło nabyty przed chwilą magnetyzm. Na drodze swej pas spotykał dwie małe szklane rurki, na które był nawinięty drut miedziany w jedwabnej izolacji. Jedna z tych cewek była połączona ze słuchawką telefoniczną, druga była włączona w obwód anteny.



Rys. 66. DETEKTOR MAGNETYCZNY MARCONIEGO

Szybkie zmiany stanu namagnesowania wstęgi wywoływały w cewkach — zupełnie podobnie jak ruch magnesu, według zasady indukcji Faradaya (str. 29) — prąd elektryczny zmien-

ny w regularny sposób. Lecz gdy w antenie, a więc i w cewce w nią włączonej, pojawiały się prądy elektryczne, przyniesione przez fale, indukowały one w drugiej cewce dodatkowe prądy, tj. płynący przez nią prąd zmienny ulegał wahaniom wywołując w telefonie dźwięk: prąd w tej cewce był, jak to mówimy, „modulowany“. Ten detektor był zawsze gotów do pracy i nie wymagał żadnej obsługi prócz nakręcania mechanizmu zegarowego. W roku 1901 Marconi przy jego pomocy odebrał sygnał na odległość 250 km.

W tym samym roku urządzono w Poldhu (Kornwalia) pierwszą długodystansową stację nadawczą. Miała ona z początku cztery anteny, każda była złożona ze 100 cienkich, gołych drutów z ocynowanej miedzi. Druty te były zaczepione na czterech linach stalowych, naciągniętych między czterema drewnianymi wieżami o wysokości 36 metrów, odległymi od siebie o 54 metry (tabl. XXI^A).

Z tej stacji zamierzał Marconi przesłać sygnał przez Atlantyk. Szybko się okazało, że butelki lejdejskie jako kondensatory i baterie jako źródła prądu nie dadzą wystarczającej do tego energii. Tu trzeba było wytwarzać fale elektryczne na skalę bez porównania większą niż dotychczas. Zainstalowano zatem silnik ropowy na 25 KM, połączony z prądnicą na 2 000 woltów, które transformowano na 20 000. Tym prądem załadowano baterię kondensatorów, właściwie olbrzymich butelek lejdejskich z szklanych płyt, obłożonych z każdej strony cynfolią i zanurzonych w kamiennych zbiornikach z oliwą.

Na początku grudnia 1901 roku Marconi przybył do Nowej Fundlandii, gdzie przez kilka tygodni z dwoma pomocnikami próbował wypuścić kilka wielkich latawców. Jeden, sześciokątna konstrukcja z bambusu i jedwabiu, długości 270 cm, urwał się i zaginął, inne też zostały uniesione na morze. Balon o średnicy 420 cm wypełniony wodorem urwał się z liny i znikł. Wreszcie 12 grudnia udało się wypuścić latawiec, któ-

ry przy sprzyjającym wietrze uniósł się na 120 metrów. Od latawca prowadził drut do starego baraku, w którym Marconi i jego pomocnik Kemp słuchali przez pół godziny bez żadnego wyniku. Lecz o godz. 12 m. 30 usłyszeli słabe trzy kropki umówionego sygnału, litery S w kluczu morsa: chwila ta datuje, jak mówi Oliver Lodge, nową epokę w historii cywilizacji.

Atlantyk został pokonany, telegrafia bez drutu przez ocean stała się faktem. Na ogół świat odniósł się nieufnie do tej wiadomości, lecz oczekiwało go jeszcze większe zdziwienie: na okręcie Filadelfia, w drodze do Nowego Jorku, na odległości przeszło 3 200 km od Poldhu Marconi odebrał wyraźne sygnały. Właśnie w czasie tej podróży Marconi po raz pierwszy zauważył nieoczekiwany wpływ promieni słonecznych na przesyłanie sygnałów radiotelegraficznych. Według niego, na odległości przeszło 1 100 km wszelki odbiór stawał się niemożliwy po wschodzie słońca, lecz trudność tę spodziewał się przezwyciężyć przez zwiększenie długości fali. Oto dlatego poczęto zmierzać do posługiwania się długimi falami i z 1 000 i 2 000 metrów stopniowo przeniesiono się nawet na 30 kilometrów.

Przy końcu roku 1902 zbudowano nowe stacje w Nowej Szkocji i na przylądku Cod, w stanie Massachusetts. Dla komunikacji z tą pierwszą zdecydowano się wybudować nową stację po stronie europejskiej w Clifden (Irlandia). Wprowadzono kilka nowych ulepszeń. Iskiernik tarczowy Marcconiego dawał tu niemal ciągły strumień fal, przerywanych tylko sygnałami klucza morsa. Tarcza ta pozwoliła wreszcie zwalczyć powstawanie łuku elektrycznego między kulkami transformatora wysokiego napięcia i dawała fale bardzo silne. Następnym ulepszeniem było wprowadzenie kondensatorów powietrznych, tj. izolowanych arkuszy blachy metalowej, zawieszonych w powietrzu, zamiast w szkłe i cynfonii, jak

przedtem. Urządzenie tych stacji stanowiło początek szeregu innych stacji wysokiej mocy i długiego pasma tryumfów techniki elektrycznej. Lecz dalszy postęp umożliwiło dopiero odkrycie lampy elektronowej przez Fleminga w r. 1904, ulepszonej potem znacznie przez Lee de Foresta. Lampa ta była najpierw użyta jako odbiornik, lecz później przeszła również do nadajnika. Spotkamy ją w następnym rozdziale o telefonii bez drutu.

ROZDZIAŁ VIII

TELEFONIA BEZDRUTOWA

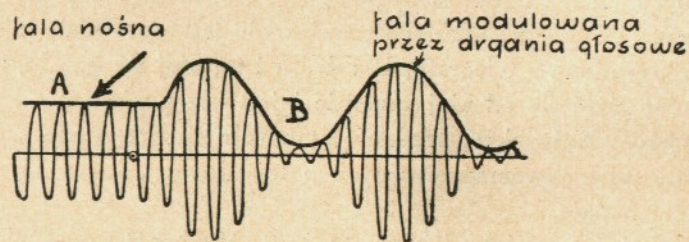
1. ZASADY

Przerzucono most przez Atlantyk, wszystkie kraje świata na początku naszego stulecia były już połączone z sobą telegrafem bez drutu, lecz na telefon bez drutu świat musiał czekać aż do naszych dni. A przecież myśl o nim jest równie stara, jak myśl o samym telefonie. Już Graham Bell próbował swych sił w tym kierunku i wynalazł system bezdrutowej telefonii opartej na użyciu promieni świetlnych. Przyrząd jego, „fotofon“, miał tak ograniczony zasięg, że trzeba było zupełnie go zarzucić. Nasze współczesne rozwiązanie jest wprawdzie blisko spokrewnione z telegrafią bez drutu i na niej się oparło, niemniej różni się od niej znacznie i jest bez porównania trudniejsze. Największą trudność stanowiło nieprzerwane wysyłanie fal elektromagnetycznych o tej długości, która się dla radia nadaje.

Jak już to opisywaliśmy (str. 128), Hughes¹⁹ zauważył, że opór sproszkowanego materiału przewodzącego zmienia się silnie w zależności od ciśnienia wywieranego na proszek. Z doświadczeń jego wynikało, że nawet uderzenie fal głosowych na warstwę takiego proszku zmienia jego opór, a więc i prąd w nim płynący. Na tym oparł swoją konstrukcję mikrofonu; w przyrządzie tym, jak wiemy, fale głosowe uderzają nie wprost w proszek, lecz w membranę, za którą znajduje się proszek węglowy. Drgania membrany ściskają ten proszek ze zmienną siłą, zależnie od rodzaju uderzających w nią fal.

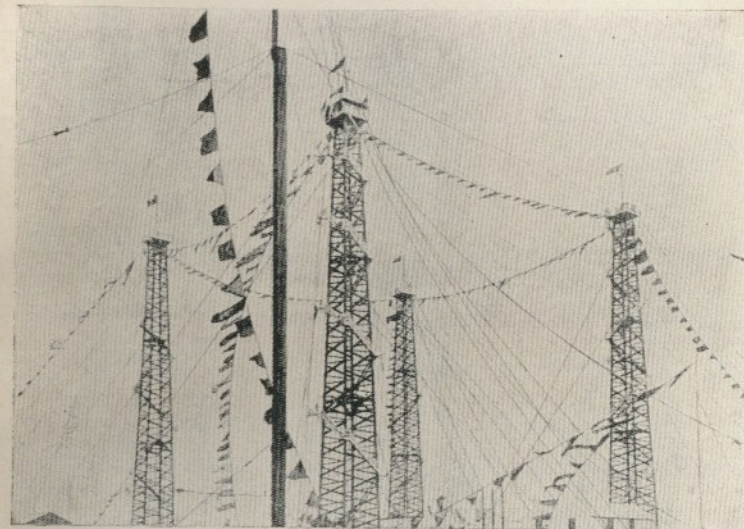
Wywołuje to zmiany natężenia prądu, które mogą oddziaływać na inną membranę w słuchawce i wprawić ją w drgania, stanowiące kopię drgań pierwszej. Telefon reaguje tylko na zmiany prądu, prąd niezmienny w natężeniu nie daje w nim żadnego dźwięku, jeżeli nie liczyć słabego trzasku przy jego włączeniu i wyłączeniu. Toteż przez mikrofon stale płynie prąd stały, a jego natężenie zmienia się tylko przy drganiach membrany.

Na podobnej zasadzie opiera się telefonia bezdrutowa. Lecz zmiany prądu w telefonie są zbyt powolne, ażeby wprost wywołać fale elektromagnetyczne, są też zresztą zbyt słabe. Trudność tę rozwiązuje się pomysłowo (por. str. 110), przez wprowadzenie fali „nośnej“, która stanowi drgania nietłumione o stałym rozmachu i wysokiej częstotliwości. Te drgania wywołują zmiany prądowe obwodu, do którego wprowadza się

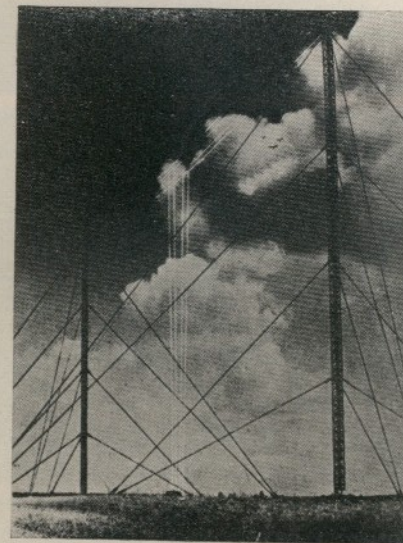


Rys. 67. PRĄD MODULOWANY

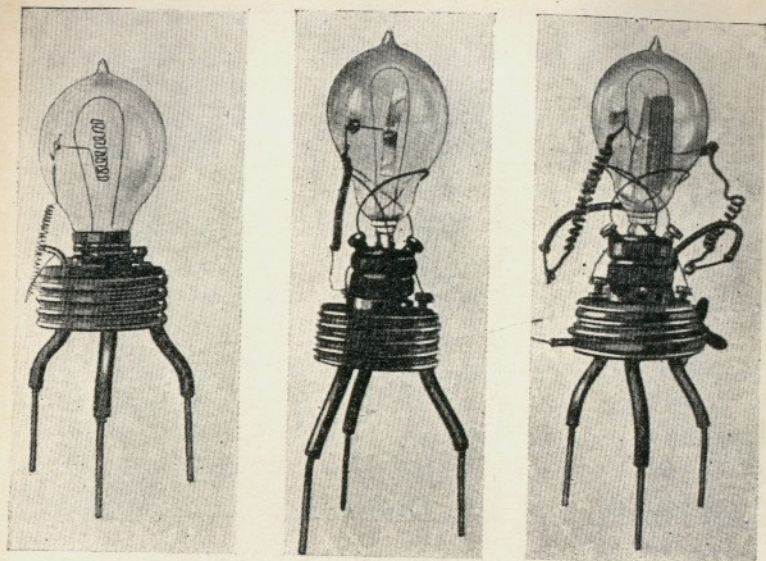
mikrofon. Narzuca on fali nośnej pewne zmiany rozmachu, tak jak narzuca je prądowi w telefonie zwykłym. Na rys. 67 widzimy uzmysłowienie tego procesu: pierwotne, jednostajne drgania fali nośnej zostają zniekształcone przez mikrofon i układają się w pewne grupy o innym, nowym okresie. Różnym dźwiękom odpowiadają różne sposoby rozbicia na grupy i inny przebieg drgań wewnątrz pojedynczej gru-



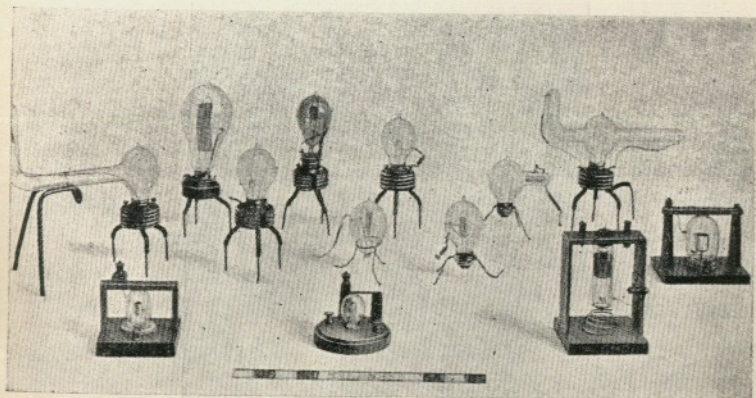
A. MASZTY RADIOSTACJI W POLDHU
Były one drewniane, o wysokości 36 m, odległość ich wynosiła 54 m.



MASZTY ANTENOWE RADIOSTACJI POLSKIEGO RADIA W RASZYŃ

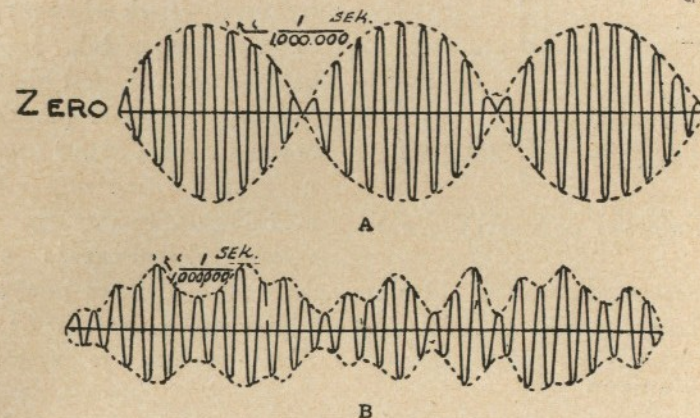


A. PIERWSZE LAMPY FLEMINGA (1904) STOSOWANE PRZEZEŃ JAKO DETEKTORY RADIOWE



B. KOLEKCJA ORYGINALNYCH LAMP FLEMINGA
Przechowywana w muzeum państwowym w Kensington

py (rys. 68). Jeżeli wysokość głosu podwyższyć o oktawę, grupy staną się dwa razy krótsze, zachowując poza tym swój kształt. Każdej nucie, każdej samogłosce, każdej spółgłosce,



Rys. 68. ZMIANY NATEŻENIA PRĄDU NOŚNEGO
POD WPLYWEM MIKROFONU

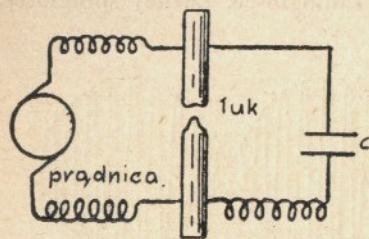
A odpowiada pojedynczej gwizdanej nucie, B — mowie.
Częstotliwość prądu nośnego: 1 000 000 drgań na sekundę.

każdemu rodzajowi brzmienia odpowiada określona budowa tych grup, określona „modulacja“ fali, zupełnie niezależna zresztą od częstotliwości fali nośnej. Przecie możemy nadać dokładnie to samo na falach różnych częstotliwości i energii!

2. WCZESNE PRÓBY Z ŁUKIEM ELEKTRYCZNYM I PRĄDNICĄ

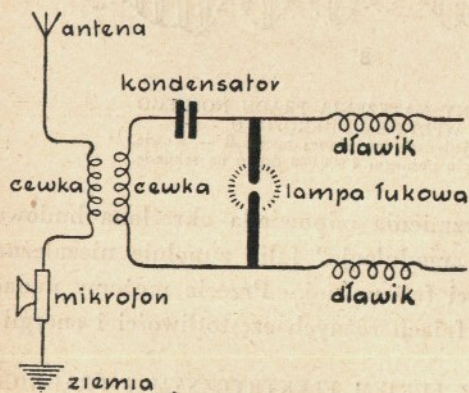
Telefonia bez drutu weszła w okres realizacji praktycznej z odkryciem Williama Duddella (1900), że „łuk śpiewający“ wysyła nieprzerwane drgania o stałej amplitudzie. Już mówiliśmy, że łuk elektryczny składa się z dwóch bliskich pałeczek węglowych, połączonych z źródłem prądu stałego lub zmiennego. Jeżeli weźmiemy prądnicę prądu stałego i włączymy jeszcze do obwodu kondensator (C), skutkiem zmian

w stanie jego naładowania powstaną zmiany natężenia prądu w obwodzie (rys. 69). Częstotliwość tych okresowych zmian



Rys. 69. ŁUK ELEKTRYCZNY ZASTOSOWANY DO WYSYŁANIA FAL NIEGASNĄCYCH

dlatego nazwano go „łukiem śpiewającym“. Lecz powyżej tej granicy ucho ludzkie przestaje już chwytac drgania. Za to



Rys. 70. UKŁAD, W KTÓRYM MIKROFON POZWAŁA MODULOWAĆ DRGANIA NIEGASNĄCE INDUKOWANE W ANTENIE PRZEZ OBWÓD Z RYS. 69.

Dławik to cewka, stanowiąca zapórę dla drgań niskiej częstotliwości, pochodzących z prądnic.

W roku 1903 duńczyk Valdemar Poulsen ulepszył łuk elektryczny umieszczając elektrody w komorze z gazem o wysokim przewodnictwie cieplnym. Rozszerzyło to zasięg telefonii

zależy od pojemności kondensatora oraz od cech elektrycznych cewek włączonych między niego a łuk. Jeżeli częstotliwość ta jest dostatecznie niska, nie przekracza mianowicie 30 000 drgań na sekundę, możemy usłyszeć dźwięk, tym wyższy, im wyższa częstotliwość: oto

można je zastosować inaczej, mianowicie można ich użyć jako fali nośnej, którą można modulować za pomocą mikrofonu (rys. 70). Za czasów Duddella można było uzyskać conajwyżej 10 000 drgań na sekundę, co silnie ograniczało wyniki, gdyż niezbędne są częstotliwości powyżej miliona.

bezdrutowej w porównaniu z łukiem Duddella, ale wciąż jeszcze mikrofon nie nadawał się do zastosowania prądu dostatecznie silnego dla pokonania odległości bardzo wielkich. Telefonii bez drutu wymaga bowiem znacznie większych zmian prądu podstawowego niż zwykła i wobec tego potrzebne są do niej również znacznie silniejsze prądy mikrofonowe. Tymczasem zwykły mikrofon szybko się niszczy, jeżeli przepuszczać przez niego prąd przenoszący jego zwykłą rację: 20 do 30 miliamperów. Proszek węglowy przepala się i nie pomaga nawet zastosowanie chłodnicy w postaci rury z wodą. Próbowano wobec tego połączenia dwóch mikrofonów, co pozwoliło podnieść natężenie prądu do 10 amperów, ale zasięg powiększyło tylko do 500 km. Udały się Poulsenowi transmisje z Berlina do Kopenhagi (460 km) i R. A. Fessendenowi (1906) z Brant Rock do Nowego Jorku (320 km).

J. Vanni próbował pokonać trudność za pomocą płynnego mikrofonu, który składał się z dwóch pochyłonych płytek metalowych, pomiędzy które wpadał strumień wody. Jedna z tych płytek była połączona z błoną mikrofonu i drgania jej udzielały się przez płytkę strumieniowi, zmieniając jego przewodnictwo elektryczne w chwili, gdy się odbijał od jednej płytki w kierunku drugiej. Płytki były połączone odpowiednio z anteną i ziemią; w czasie drgań membrany ciągły potok fal z anteny był modulowany. Vanni przekroczył odległość Rzym — Trypolis wynoszącą 960 km.

Wiele jeszcze różnych metod proponowano, by stworzyć potok ciągłych, nietłumionych fal elektromagnetycznych, ale żadna z nich nie dawała częstości tak wysokiej, jaka była niezbędna do telefonii. Kilku wynalazców zwróciło się do prądu prądu zmiennego o wysokiej częstotliwości, ale pomimo wieloletnich prób dopiero na krótko przed wybuchem Wojny doprowadziły one do celu.

Do najbardziej pomysłowych rozwiązań należała prądnica Goldschmidta o wirującym polu, w której prąd niskiej częstotliwości ulegał przekształceniu na częstotliwość dowolnie niemal wysoką. W prądnicie tej stator — część nieruchoma maszyny — jest namagnesowana pierwotnie przez prąd stały, rotor — część obracająca się — nosi uzwojenie, w którym przy obrocie powstaje prąd zmienny. Dokoła tego rotora powstaje również pole magnetyczne, drgające wraz z prądem w rotorze i prócz tego unoszone przezeń z sobą przy jego obrocie. Pole to, jak wykazuje rachunek, składa się z dwóch pól magnetycznych, w których siły mają stałe natężenie, ale różne kierunki i które obracają się względem rotora w przeciwnych kierunkach, i to z tą samą szybkością jak rotor. Łatwo się zorientować, że jedno z tych pól będzie względem statora nieruchome, mianowicie to, które obraca się w kierunku przeciwnym względem rotora. Drugie natomiast będzie oczywiście wirowało z szybkością dwa razy większą niż rotor, przecinając uzwojenie statora i — jak dobrze wiemy — indukując w nim prąd zmienny o częstości dwa razy większej niż prąd rotora. Jeżeli pierwotna częstotliwość prądu w rotorze była 10 000 okresów, w statorze powstanie prąd o częstotliwości 20 000 okresów. Ten nowy prąd w statorze z kolei wywoła pole magnetyczne, które składa się z dwóch pól wirujących w przeciwnych kierunkach: jedno z nich będzie nieruchome względem rotora, tj. będzie miało tą samą co on szybkość, drugie będzie miało szybkość względem niego trzy razy większą niż jego własna. Wywoła ono w nim nowe prądy o częstotliwości odpowiednio 10 000 i 30 000 okresów, a w statorze powstanie w dalszym ciągu prąd o 40 000 okresów. W ten sposób można się przekonać o istnieniu w statorze prądów dowolnie wysokiej częstotliwości. Można je z niego odprowadzić przy pomocy strojonych obwodów, zatrzymując przy pomocy kondensatorów prądy o niższych częstotliwościach.

Prądnica Goldschmidta była zastosowana do służby transatlantyckiej w Hannoverze w połączeniu ze stacją Tuckerton w stanie New Jersey. Przyniosłaby ona Niemcom wielkie korzyści podczas Wielkiej Wojny, gdyby nie to, że olbrzymia szybkość obrotowa zniszczyła ją właśnie z jej początkiem.

Inny typ prądnic (por. str. 40) wprowadził E. F. W. Alexanderson z General Electric Company (tabl. XXIV^B). Posiada on tarczę o 300 do 400 zębów na krawędzi, wirującą 20 000 razy na minutę między biegunami magnesu stałego. Na tarczy tej nie ma żadnego uzwojenia, lecz zęby przez zmianę strumienia magnetycznego w chwili przebiegania przed magnesem powodują powstawanie prądów zmiennych w pewnych nieruchomych cewkach. Ta tzw. prądnica indukcyjna daje częstotliwości do 100 000 okresów na minutę i wyższe. Zainstalowano ją do komunikacji transatlantyckiej w New Brunswick, stanu New Jersey. Pierwsza miała moc 50 kW, lecz wkrótce trzeba było ją zastąpić przez prądnicę 200 kW. Jest ona, jak twierdzą, jedną z najbardziej wydajnych i sprawnych prądnic najwyższej częstotliwości. Są one obecnie w stałym użyciu w licznych amerykańskich stacjach nadawczych.

Lecz druga trudność z czasów Duddella i Poulsena, obciążenie mikrofonu prądem wyjściowym dostatecznie silnym dla transmisji na wielkie odległości, została pokonana dopiero z wynalezieniem lampy katodowej, czyli radiowej, która wywołała przewrót zarówno w konstrukcji nadajnika jak i odbiornika.

W roku 1904 Ambroży Fleming odkrył, że po pewnych niewielkich zmianach żarówka elektryczna może być użyta jako detektor i prostownik drgań elektromagnetycznych. W postaci znanej pod nazwą rury oscylacyjnej Fleminga była ona często stosowana do odbioru w telegrafii dla swej wysokiej

czułości. Lee de Forest ulepszył ją wprowadzając do niej tzw. siatkę, zwaną czasem trzecią elektrodą, stanowiącą najistotniejszy składnik współczesnej lampy radiowej. Doniosłość tego przyrządu wymaga bardziej szczegółowego rozpatrzenia zasad, na których się opiera. Musimy się wobec tego zwrócić do pewnych spraw, które na pierwszy rzut oka wydają się obce nasze przedmiotowi.

3. ATOMY I ELEKTRONY

Według współczesnych poglądów na materię, pewna liczba pierwiastków służy do budowy wszelkich odmian materii przez najróżniejsze kombinacje. Własności takiego połączenia mogą się różnić najzupełniej od własności składających się na nie pierwiastków. Ciało złożone można rozłożyć na te składowe, ale pierwiastki nie są rozkładalne. Z wody na przykład przez analizę można otrzymać tlen i wodór, ale z żelaza przez rozbijanie można otrzymać tylko żelazo, ze srebra — srebro, czy zastosujemy ciśnienie czy temperaturę, czy jakiegokolwiek inne sposoby rozkładania. Można by porównać ciała złożone z wyrazami, a pierwiastki z literami. Lecz litery w wyrazie łatwo policzyć, podczas gdy nie łatwo powiedzieć, ile jest różnych pierwiastków w ciele złożonym. Niektóre z tych pierwiastków — np. złoto albo żelazo — były znane od dawna i są pospolite, inne są bardzo rzadkie.

Pierwiastki są zbudowane z atomów, najmniejszych cząstek, zdolnych do reakcji chemicznej między sobą. Są one już tak małe, że nie możemy sobie ich wyobrazić, nie dojrzymy ich przez najpotężniejszy mikroskop, który potrafi sfotografować nawet cząstki naszej krwi w takich rozmiarach, że rzucone z filmu na ekran są wielkości koła od wozu! Najmniejsza grupa atomów, zdolna do samodzielnego istnienia nazywa się cząsteczką albo molekułą. F. W. Aston, sławny

fizyk, podał w jednym z swych odczytów taką ilustrację wymiarów cząsteczki: Jeżeli w żarówce elektrycznej zrobić otwór, przez który może przejść na raz tylko jedna cząsteczka powietrza, i jeżeli przez otwór ten powietrze będzie przepływało z szybkością miliona cząsteczek na sekundę, upłynie 100 milionów lat, zanim się żarówka opróżni całkowicie. Według innego porównania, gdyby każdą cząsteczkę w pewnym kieliszku wody opatrzyć specjalnym znakiem i rozdzielić potem tę wodę pomiędzy wszystkie wody ziemskie, każdy kieliszek wody, gdziekolwiek zaczerpnięty, zawierałby jeszcze 2000 atomów z owym znakiem! Gdyby co sekunda kłaść pięć atomów na znaczku pocztowym, trzeba by zużyć przeszło 300 milionów lat, żeby go pokryć całkowicie. Trzeba przeszło sto tysięcy atomów ułożyć obok siebie, ażeby otrzymać grubość bibułki angielskiej; w wyciętym z takiego papieru sześciannie, którego każda krawędź równa się jego grubości, byłoby tysiąc milionów milionów atomów, nawet gdyby były spakowane jak śledzie w beczce.

Rozmiary atomów są różne. Najmniejszy jest atom wodoru, średnica jego wynosi około jednej stumilionowej cm. Milion milionów takich atomów składa się na jeden gram wodoru, który możnaby z łatwością wcisnąć do średniej butelki.

W roku 1898 Piotr Curie⁴⁹ i jego żona, Maria Curie Skłodowska, zdumili świat odkryciem radu, jednego z najrzadszych i najtrudniejszych do oddzielenia pierwiastków. Odkrycie to wywołało przewrót w naszych poglądach na wiele rzeczy, a w szczególności na budowę materii. Nie uznajemy już dłużej, że atom jest najmniejszą istniejącą cząsteczką, miejsce jego zajął obecnie elektron, ujęty po raz pierwszy w ramy ścisłej teorii przez sławnego fizyka J. J. Thomsona w roku 1899. Atomy składają się z elektronów, jak cząsteczki z atomów. Ciężar elektronu wynosi prawie jedną dwóch tysięczną ciężaru atomu wodoru i wewnątrz niego zajmuje on

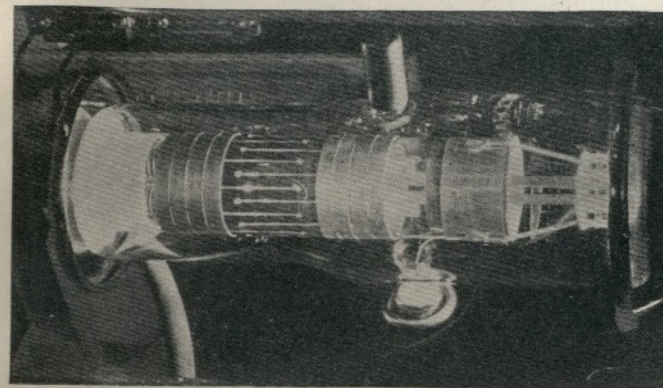
tyle miejsca, ile pyłek kurzu w pokoju. czy mucha w katedrze.

Odkrycie elektronu otwarło nam drogę do tajemnicy budowy materii. Wszystkie elektrony, bez względu na ich pochodzenie, są jednakowe i mają ładunek elektryczny ujemny. Liczba elektronów w atomie danego pierwiastka jest określona i nazywa się liczbą atomową tego pierwiastka. Masa tych elektronów jest jednak tak drobna, że w utworzeniu masy całego pierwiastka nie odgrywa niemal roli. Masa pierwiastka skupiona jest w jądrach, które stanowią naładowaną dodatnio część atomu i są różne w atomach różnych pierwiastków. Na istnienie tych jąder wskazuje zachowanie się elektronów. Od ilości tych elektronów, od ich ugrupowania wewnątrz atomu zależą własności chemiczne pierwiastków. Najmniej elektronów zawiera atom wodoru: tylko jeden. Elektrony są wewnątrz atomu ugrupowane w warstwy i krążą dokoła jądra, złożonego głównie z protonów, tj. cząstek o wiele cięższych od elektronów, o dodatnim ładunku, lecz wciąż jeszcze niezmiernie małych. Atom jest często porównywany z układem słonecznym, w którym jądro odpowiada słońcu, a elektrony planetom.

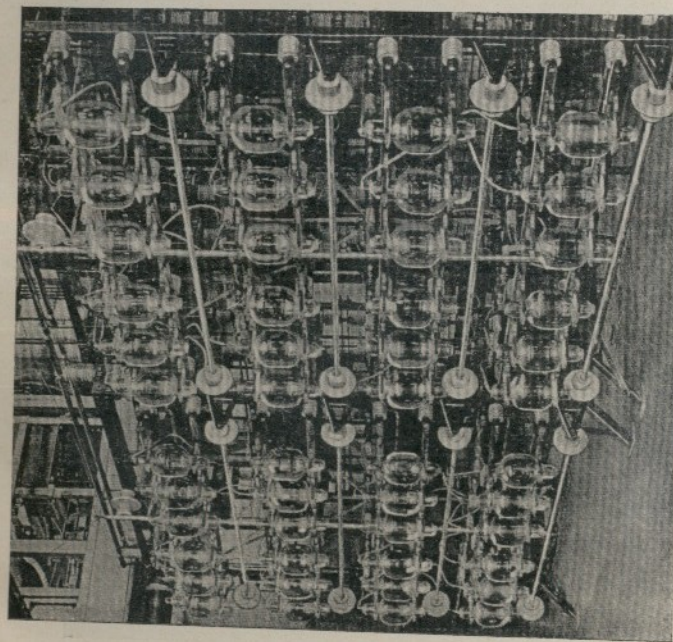
Elektrony są nierozłącznie związane z elektrycznością: wszelki ujemny ładunek elektryczny składa się z pewnej całkowitej liczby elektronów, z których każdy ma zawsze ten sam ładunek, najmniejszą spotykaną ilość elektryczności. Prąd elektryczny jest strumieniem elektronów płynącym przez przewodnik. Natężenie prądu zależy od ilości przepływających przez przekrój przewodnika elektronów.

4. DZIAŁANIE LAMPY ELEKTRONOWEJ JAKO PROSTOWNIKA I WZMACNIACZA

Lampa radiowa (czy katodowa) dawniej chętniej była nazywana elektronową, gdyż działanie jej jest oparte na stru-



B. JEDNA Z LAMP NADAWCZYCH RADIO-
STACJI POLSKIEGO RADIA W RASZYŃIE

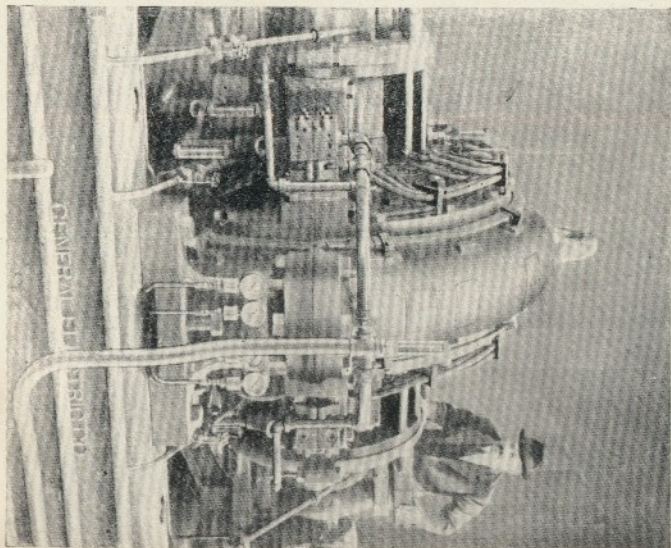


A. NAJWIĘKSZY UKŁAD LAMP NA ŚWIECIE
48 lamp nadawczych na stacji Marconiego w Caernarvon

A. IRVING LANGMUIR, SŁAWNY FIZYK AMERYKAŃSKI, TRZYMA LAMPĘ O MOCY 20 KW I LAMPĘ MINIAKTUROWĄ

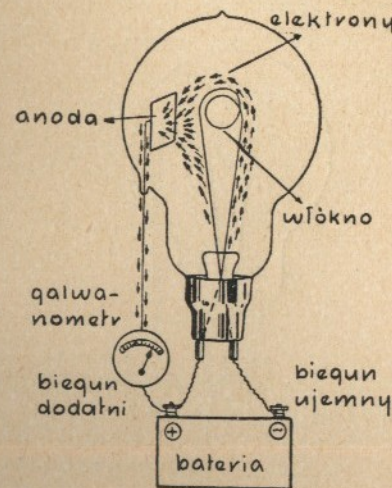


B. E. F. W. ALEXANDERSON PRZY SWEJ PRACOWNICY INDUKTOROWEJ WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI



mieniu elektronów. Jest to jeden z najcudowniejszych wynalazków naszych czasów: ktoś nazwał ją „współczesną lampą Aladyna“. Lecz cuda przez nią sprawiane przewyższają nawet potęgę wyobraźni autorów Tysiąca i Jednej Nocy.

Wygląd zewnętrzny lampy katodowej przypomina żarówkę, ale po bliższym przyjrzeniu się (rys. 74) dostrzegamy w niej dwa nowe elementy: siatkę i anodę. Na początku swej pracy nad żarówką elektryczną Edison zauważył osobliwe zjawisko, które pozostało dlań tajemnicą: oto wewnętrzne ściany żarówki ciemniały wskutek pokrycia czarnym osadem; po pewnym czasie żarówka nie nadawała się do użytku. Ażeby je zbadać, umieścił wewnątrz kuli małą izolowaną płytkę metalową i zauważył ze zdziwieniem, że gdy ją łączył z dodatnim biegunem baterii, a włókno z ujemnym, przepływał przez żarówkę prąd od włókna rozżarzonego do płytki metalowej, chociaż nie było między nimi połączenia galwanicznego (rys. 71).



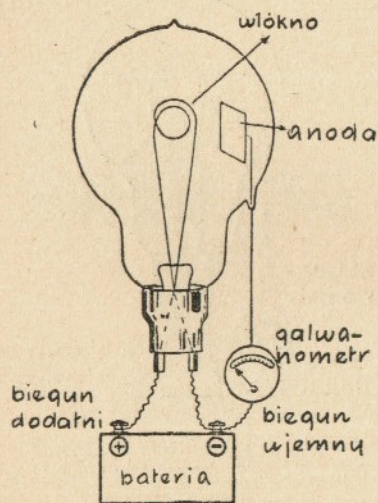
Rys. 71. PROMIENIE KATODOWE UKŁAD EDISONA

Edison przyszedł do wniosku, że prąd jakoś przeskakuje przez lukę. Zauważył poza tym, że prąd ten znika, jeżeli płytkę połączyć z ujemnym biegunem baterii i to bez względu na siłę baterii: najczulszy galwanometr nie

wykazywał najmniejszego odchylenia przy tym połączeniu (rys. 72).

Zasadnicze prawo przyciągania ładunków różnoimiennych, odpychania jednoimiennych, stosuje się również do elektronów. Dwa elektrony zawsze się odpychają, ale proton i elektron przyciągają się wzajemnie. W przewodnikach elektrycznych zawsze znajduje się pewna liczba elektronów wolnych, tj. nie związanych w żadnych atomach, z których się materiał przewodnika składa. Te wolne elektrony poruszają się we wszystkich kierunkach między atomami przewodnika. Lecz gdy przewodnik staje się częścią obwodu elektrycznego, powstaje w nim siła elektrodynamiczna i ta działa na wolne elektrony, popychając je w jednym i tym samym kierunku. Jeżeli ogrzać przewodnik, ruch ten staje się jeszcze wyraźniejszy; jeżeli zaś temperaturę jego podnieść bardzo wysoko, elektrony będą „wyskakiwały” z przewodnika, osiadając na pobliskich ciałach.

Edisonowi wszystkie te sprawy były jeszcze nieznanymi, ale nam tłumaczą one doskonale, co się właściwie odbywało w jego doświadczeniach. Gdy włókno było rozżarzone, opuszczał je strumień elektronów i biegł w kierunku dodatniego bieguna, tj. płytki metalowej, niosąc jej swój ujemny ładunek. Z płyty tej biegły w dalszym ciągu do dodatniego bieguna

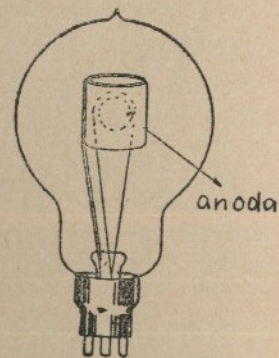


Rys. 72. GDY W UKŁADZIE EDISONA ANODA JEST POŁĄCZONA Z UJEMNYM BIEGUNEM BATERII, NIE MA PRĄDU. (Por. rys. 71).

baterii przez galwanometr, meldując się w nim jako prąd. Gdy natomiast płytka była połączona z ujemnym biegunem baterii, odpychała ona elektrony zamiast je przyciągać. Edison, zajęty naówczas całkowicie ulepszeniem żarówki, zarzucił badania nad tym zjawiskiem. Niemniej jednak było ono długo znane pod nazwą „zjawiska Edisona”.

Jeżeli umieścić zmodyfikowaną w ten sposób żarówkę Edisona w obwodzie prądu zmiennego, elektrony będą przeskakiwały tylko w jednym kierunku, od włókna do płytki, ale nie w przeciwnym; przez żarówkę będzie przebiegał tylko prąd w jednym kierunku, niejako tylko jedna połowa prądu zmiennego. Zjawisko Edisona może zatem służyć do prostowania prądów zmiennych, indukowanych w antenie, a więc umożliwia usłyszanie ich w telefonie: uzyskujemy w ten sposób doskonały detektor fal elektromagnetycznych. Fleming zauważył to już w roku 1904 i zmienił nieco model Edisona: zbliżył płytkę metalową do włókna rozżarzonego i zmienił jej kształt z płaskiego na walcowy, otoczywszy w ten sposób włókno dokoła (rys. 73). Wydajność lampy zwiększyło się dzięki temu znacznie, gdyż okrągła „anoda”, jak ją teraz nazywamy, chwyta elektrony z wszystkich stron, podczas gdy płytka Edisona chwytała je tylko z jednej, uzyskując prąd słabszy. Na tabl. XXII widzimy pierwsze lampy Fleminga.

Następnym etapem w rozwoju lampy elektronowej, i to etapem pierwszorzędnie ważnym, było wprowadzenie „siatki”, podziurawionej płytki metalowej między włóknem i anodą.



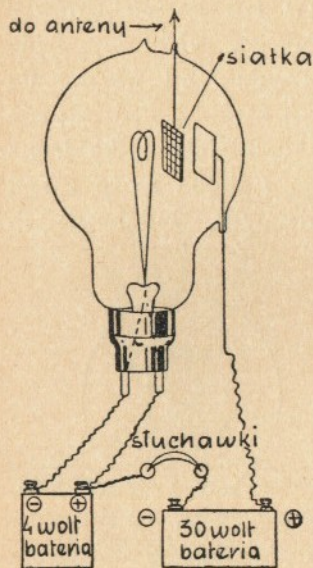
Rys. 73. ANODA CYLINDRYCZNA DOKOŁA WŁÓKNA WPROWADZONA PRZEZ FLEMINGA

Uczył to Lee de Forest w roku 1907. Umieszczona jest ta siatka na oddzielnym druciku, wtopionym w szkło lampy (rys. 74). Elektrony muszą ją przebyć, zanim dotrą do anody; jeżeli więc siatkę naładować na potencjał niższy niż włókno, odepchnie ona elektrony z powrotem, jeżeli na wyższy — wy-

ciągnie ich jeszcze więcej. Zmiany potencjału na siatce wywołują więc podobne zmiany natężenia prądu płynącego przez lampę. Jeżeli siatkę połączyć z anteną, indukowane w antenie drgania będą sterowały prądem przebiegającym przez lampę.

Ażeby to zjawisko lepiej sobie uzmysłwić, porównajmy włókno lampy o trzech elektrodach z karabinem maszynowym, który ostrzeliwuje tarczę (anodę, tj. płytkę) pociskami elektronowymi. Siatkę porównamy z żaluzją, która się otwiera lub zamyka, odpowiednio do impulsów z anteny: zamyka się, gdy jej potencjał spada poniżej potencjału włókna, otwiera się w przypadku przeciwnym.

Prąd z lampy przebiega po „wyprostowaniu“ przez słuchawki telefonu i zmiany jego przekształcają się w znany sposób na fale dźwiękowe. Zmiany jego można uczynić znacznie większymi niż zmiany prądu w antenie, dzięki lokalnemu prądowi płynącemu z baterii. Można siatkę lampy elektronowej porównać ze spustem broni palnej: prąd z anteny naciska ten spust i wyzwala wielką energię baterii miejscowej,



Rys. 74. SIATKA CZYLI TRZECIA ELEKTRODA LAMPY KATODOWEJ.

która w tym porównaniu odpowiada prochowi. W tym układzie lampa działa jako „wzmacniacz“.

W układzie Fleminga lampa elektronowa nadawała się jedynie do odkrywania sygnałów elektromagnetycznych, w układzie de Foresta pozwalała jeszcze te sygnały dowolnie wzmacniać. Stosowanie kilku lamp w kolejnym układzie pozwala wzmacniać („amplifikować“) te sygnały niemal nieograniczenie. Dzieje się to w ten sposób, że prąd płynący z jednej lampy idzie na siatkę drugiej, prąd z drugiej na siatkę trzeciej itd. Dostateczna ilość lamp pozwoli podchwycić niesłychanie słabe impulsy indukowane w antenie.

5. LAMPY NADAWCZE

Jedną z najważniejszych zasług lampy elektronowej de Foresta jest, że — obok detekcji i wzmacniania — może służyć do wytwarzania ciągłego strumienia fal elektromagnetycznych*). Jest to najmniejszy i najoszczędniejszy typ generatora takich fal, zawdzięczamy mu możliwości współczesnego rozwoju radia.

Lampy te oczywiście stale ulepszone i w chwili obecnej umiemy je produkować w rozmiarach pozwalających na wysyłanie olbrzymiej stosunkowo energii. Przy transmisjach na 5 000 km niezbędna jest dzielność 200—300 kilowatów i dawniej musiano stosować baterie mniejszych lamp. Wielkie lampy sprawiają jednak ten kłopot, że od silnego bombardowania anody, wywołanego przez użycie silnych prądów, wewnątrz ogrzewa się gwałtownie grożąc stopieniem wszystkich

* Z schematami układów, w których lampa katodowa działa jako detektor, wzmacniacz albo generator fal niegasnących (nadajnik) można się zapoznać z książki St. Noworolski, Zasady radiofonii, W-wa 1928. Tam też znajdzie czytelnik szczegóły o współczesnym odbiorniku i budowie głośnika.

części składowych. Żeby temu zapobiec, buduje się je z metalu i umieszcza w naczyniu z wodą dla chłodzenia.

W roku 1922 zbudowano lampę o mocy 5 kW z anodą z molibdenu, znoszącego dobrze wysokie temperatury. Na tabl. XXIV^A widzimy lampę o mocy 20 kW, obliczoną na napięciu 15 000 woltów. Włókno jej jest z wolframu, ma średnicę 1/25 mm i zużywa na żarzenie 1 kW. Próby na Long Island wykazały, że lampy te wystarczają do przesłania sygnałów aż do Nauen w Niemczech, przy prądzie antenowym dwa razy mniejszym od stosowanego przy alternatorze Alexandersona.

Wielkim postępem była konstrukcja lampy 50 kW przez Irvinga Langmuira⁵¹, laureata Nobla w dziedzinie fizyki. Gdy się pojawiła, uważano jej moc za granicę tego, co można osiągnąć. Pracowano nad nią przez lat 10, przeszła ona na potężnej stacji w Rocky Point na Long Island ciężkie próby. Zespół lamp, który z łatwością mieścił się w niewielkiej walizce, dawał ten sam wynik, co przedtem kosztowne prądnice wagi wielu ton. Sześć lamp wystarczyło do przesłania sygnałów z Ameryki do Anglii pracując pod napięciem 15 000 woltów. Zabawne, że na stacji odbiorczej, której umyślnie o tym nie powiadomiono, nie zauważono nawet zmiany po zastąpieniu alternatorów przez lampy.

Lecz lampa Langmuira została całkowicie zaćmiona przez magnetron Housekeepera⁵² o nieprawdopodobnej mocy 1000 kW. Olbrzymie te lampy mają włókno lekko zanieczyszczone tlenkiem toru, który podnosi emisję elektronów 13 000 razy! Rzecz jasna, że daje to olbrzymią oszczędność w prądzie żarzenia włókna i podnosi jego trwałość.

Lampa radiowa stanowi zupełnie zadowalające rozwiązanie wytwarzania ciągłych drgań o wysokiej częstotliwości i przyniosła z sobą cuda, które przed ćwierćwieczem wydawały się nieziszczalną fantazją. Radiotelefonia dalekodystansowa jest faktem od roku 1915, kiedy American Telephone and Tele-

graph Company przesłało rozmowę z Arlington w Stanach do Honolulu i Paryża, na odległość 7200 km! Towarzystwo Marconiego odpowiedziało na to przeprowadzeniem rozmowy między Rzymem i Ameryką, a w roku 1923 Western Electric Company znowu przeskoczyło Atlantyk na odległości 5100 km.

Z początku używano wielkiej liczby lamp połączonych w sposób „kaskadowy”: siatka jednej w obwodzie prądowym poprzedniej. Później jednak znaleziono oszczędniejsze układy: w roku 1919 towarzystwo Marconiego przesłało rozmowę z Irlandii do Kanady przy pomocy tylko dwóch lamp o mocy 2,5 kW. W roku 1927 zorganizowano bezpośrednie połączenie radiowe abonentów telefonicznych Anglii i Stanów. Rozszerzono je później na większą część państw europejskich.

Wspomniemy o jeszcze jednym, na pozór nieznacznym ulepszeniu, które pozwoliło jednak zbudować pierwszorzędnie sprawną lampę, wolną od różnych uciążliwych wad. Niedawno odkryto pewne ciecze, produkty ropy naftowej, które parują tak niezmiernie powoli, że można je umieścić w próżni niemal jej nie psując. Rzecz jasna, że takie ciecze nadają się doskonale do pomp próżniowych, w szczególności do pomp wysysających powietrze z lamp radiowych. Wyzyskano to odkrycie w ten sposób, że zmontowano na stałe lampę z pompą i przez cały czas działania lampy poprawia się próżnię. Co więcej, urządzenie takie pozwala budować lampy z metalu albo porcelany tak, żeby je można było rozbierać, dla naprawy czy remontu, podczas gdy w zwykłym wykonaniu lampy musiały być stapiane.

W ten sposób zbudowano 500 kilowatową lampę w Metropolitan Vickers Electrical Company i umieszczono ją na stacji nadawczej w Rugby w roku 1932. Była ona wtedy najsilniejszą lampą na świecie i zastąpiła baterię z 50 silnych lamp. Wysokość jej wynosiła 3 metry, stalowa anoda ważyła 152 kg,

a miała 65 cm długości i 35 średnicy. Włókno składało się z 9 części, podobnie siatka. Ciężar całości wynosił około tony. Prąd żarzenia miał 500 amp. a więc był 5 000 razy większy niż w lampie odbiorczej. Do chłodzenia zużywało się 180 litrów wody na minutę.

Lecz na tym nie kończą się cuda lampy elektronowej: oto ukazuje ona nam — niespełnione jeszcze — możliwości rozsyłania energii bez pomocy przewodów. Gdy to nastąpi, będzie można np. energię wodospadu Niagara przesłać do żarówek nie wchodzących w skład żadnej sieci elektrycznej, nieosiągalnych nawet na zwykłych drogach. Trudno zresztą przewidzieć, co nam „lampa Aladyna“ może jeszcze przynieść.

ROZDZIAŁ IX

ODKRYCIE PROMIENI RENTGENA

1. JAK PRĄD PŁYNIE PRZEZ GAZY

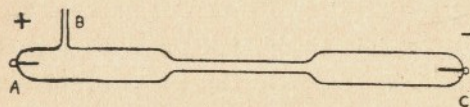
W roku 1895 profesor niemiecki Wilhelm Konrad Röntgen odkrył osobliwy rodzaj promieniowania elektromagnetycznego. Z tą chwilą zarówno dzieje fizyki, jak pewnych innych dziedzin twórczości ludzkiej, potoczyły się po nowych, nieoczekiwanych torach.

Rodowód tego odkrycia sięga daleko wstecz aż do połowy osiemnastego stulecia, kiedy to w modzie było zabawać się elektrycznością. „Jajko elektryczne“ należało wtedy do zabawek najbardziej lubianych; była to szklana kula, w której powietrze zostało nieco rozrzedzone i w której tkwiły dwie płytki metalowe. Z płytek tych wychodziły przewodniki załączone do biegunów butelki lejdejskiej. Po wyładowaniu przebiegały wewnątrz iskry i kula poczyniała się mienić pięknymi kolorami. Dopiero po stu latach spojrzano na jajko elektryczne inaczej niż na zabawkę i rozpoczęto systematyczne badania nad przepływem elektryczności w rozrzedzonych gazach.

Jeżeli dwie metalowe płytki albo kulki umieścić blisko siebie i połączyć z biegunami baterii niewielkiego napięcia, prądu zrazu nie zauważymy. Jeżeli jednak będziemy napięcie stale powiększali, po przekroczeniu pewnej granicy zawiedzie izolacja przez powietrze i przebiegnie iskra elektryczna. W warunkach normalnych niezbędne jest napięcie około 5 000 woltów, by przebić warstwę powietrza między dwiema mosiężnymi kulkami odległymi o 25 mm. Napięcie to można silnie zmniejszyć, rozrzedzając powietrze między kulkami. Im

większe rozrzedzenie, tym dłuższe będą iskry, aż wreszcie zaczynają się pojawiać piękne efekty świetlne. Dzisiaj używa się do badania tych zjawisk tzw. rur próżniowych w postaci nadanej im przez fizyka niemieckiego Heinricha Geisslera, który zmierzał do najefektowniejszego ukazania tych zjawisk.

Schemat rury próżniowej widzimy na rys. 75. Jest to szklana rura zwykle od 12 do 20 cm długości, zwężona w środku i często dziwacznie poskręcana dla efektu. Dwa niewielkie druciki platynowe, zwane elektrodami, są wtopione po obu jej stronach; połączony z dodatnim biegunem baterii



Rys. 75. PROSTA RURA PRÓŻNIOWA

drugi nazywamy katodą. Na jednym z końców rury znajduje się boczna odnoga, przez którą można wypompować powietrze dożądanego rozrzedzenia i potem stopić jej koniec. Rozrzedzenie nigdy nie dochodzi do próżni, wbrew nazwie rury: nie by się wtedy w rurze nie działo.

Napięcia niezbędne do tych doświadczeń muszą być znacznie większe niż napięcia otrzymywane z pospolitych źródeł prądu, chociaż natężenie prądu może być małe. Maszyny elektryczne frykcyjne, jak np. Wimshursta⁵, nadają się do nich dobrze i w Stanach Zjednoczonych stosowano takie przyrządy wielkich rozmiarów napędzane przez silnik elektryczny. Lecz zwykłym tutaj źródłem prądu jest cewka indukcyjna, która — jak wiemy — jest transformatorem służącym do zmiany napięcia prądu dostarczonego pierwotnemu uzwojeniu. Zauważmy przy sposobności, że do największych takich cewek indukcyjnych należy zbudowana przez Spottiswoode'a⁵³ w Royal Institution (Instytut Królewski) w Londynie: zawiera ona 448 kilometrów drutu w 340 000 zwojach i daje

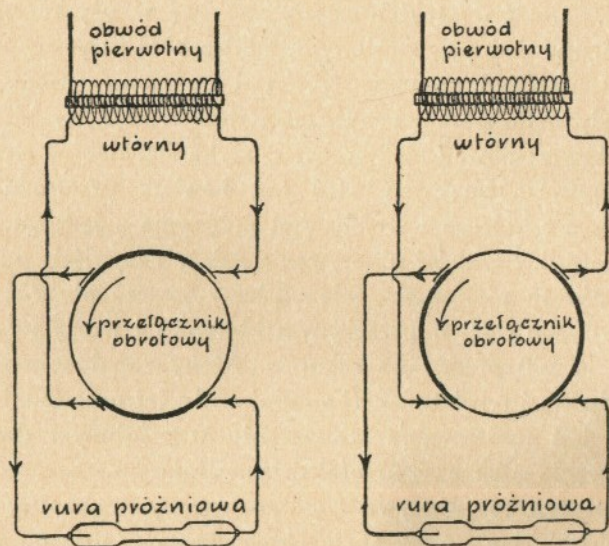
iskry długości do 105 cm. Lecz do doświadczeń z rurą próżniową 20 cm długości wystarczy cewka dająca iskry 122 mm i zasycana z akumulatorów.

Jeżeli przez uzwojenie pierwotne cewki płynie prąd stały, w uzwojeniu wtórnym powstanie prąd tylko przy przzerwaniu i włączeniu prądu pierwotnego. Niezbędne jest więc jakieś urządzenie automatyczne przerywające prąd z wielką częstotnością. Dwa typy takich przerywaczy są w użytku powszechnym. W jednym, rtęciowym, silniczek elektryczny szybko obraca pierścień opatrzony stykami na swym okręgu, podczas gdy mała pompka wyrzuca strumień rtęci, w kierunku tego okręgu: obwód elektryczny zamyka się, ilekroć strumień rtęci natrafia na styk; rtęć jest bowiem przewodnikiem, a miejsce z którego wytryska jest połączone z jednym biegunem baterii. Szybkość przerywania zależy oczywiście od szybkości obrotu pierścienia, ale możemy jeszcze obracać miejsce wytrysku rtęci w przeciwnym kierunku i wtedy udaje się dojść do 200 przzerw na sekundę. Ażeby zapobiec zanieczyszczeniu rtęci powietrzem (i zmniejszeniu jej przewodnictwa), całość jest umieszczona w naczyniu wypełnionym dwutlenkiem węgla albo czasem olejem parafinowym.

Drugi typ to przerywacz elektrolityczny Wehnelta; znosi on dobrze silne prądy. Dwie elektrody są zanurzone w małym naczynku z kwasem siarkowym. Katoda jest ołowiana, podczas gdy anodę stanowi drucik platynowy wystający z rurki porcelanowej. Gdy przepuszczamy prąd, tworzy się mały pęcherzyk gazu na ostrzu platynowym i — jako zły przewodnik — przerywa prąd. Wtedy następuje błyskawiczne oziębienie i pęcherzyk rozplywa się w cieczy, po czym prąd płynie ponownie. Szybkość przzerw zależy od wielkości ostrza platynowego. Przyrząd ten uderza swą prostotą i pomysłowością.

W każdym transformatorze prądy powstające po zamknięciu i po otwarciu prądu pierwotnego mają kierunki przeciw-

ne, podczas gdy dla badań przepływu prądu przez gazy niezbędny jest prąd płynący stale w tym samym kierunku. Trzeba więc „wyprostować” prąd płynący z cewki indukcyjnej. Czyni to przełącznik z rozciętego pierścienia miedzianego, odpowiednio izolowanego, wirującego z szybkością dostosowaną do szybkości zmian prądu w obwodzie wtórnym. Prąd



Rys. 76. PRZEŁĄCZNIK PROSTUJĄCY PRĄD DO RURY PRÓŻNIOWEJ

Dwa różne położenia przełącznika, odpowiadające przeciwnym kierunkom prądu w uzwojeniu wtórnym. Do rury wchodzi prąd zawsze o tym samym kierunku.

z tego obwodu musi przejść do rury próżniowej przez ten właśnie pierścień, który obraca się tak, że niez izolowane jego części stykają się z cewką właśnie w chwili, gdy przepływa np. prąd otwarcia. Na rys. 76 widzimy pospolity układ transformatora, prostownika i rury próżniowej w dwóch różnych położeniach przełącznika.

Już małe rury próżniowe, np. długości 20 cm, pozwalają z akumulatorem, cewką indukcyjną i pompą wykonać różne ciekawe doświadczenia. Łatwo np. pokazać skutek rozrzedzenia powietrza, powstawanie iskier przy coraz mniejszym napięciu, stopniowe wydłużanie się oraz rozpraszanie iskry i wreszcie żarzenie się całej rury w barwie zależnej od gazu, który ją wypełnia. Jeżeli w rurze jest azot, przeważa różowy odcień z fioletowym w pobliżu katody, jeżeli wodór — w wąskiej części widzimy wspaniałą purpurę. Przy dalszym rozrzedzeniu w środku ukazuje się szereg plam świetlnych, o zarysach sierpa, drgających bardzo szybko. Piękne efekty daje użycie rury ze szkła uranowego, albo zamknięcie rury w naczyniu szklanym z roztworem chininy. Obie te substancje mają własność fluoryzowania, tj. samodzielnego świecenia po naświetleniu ich odpowiednim światłem. Do takich ciał należy również platynocjanek baru, z którym się później stale będziemy spotykali.

2. PROMIENIE KATODOWE

Z punktu widzenia fizyki katoda jest najważniejszą częścią rury próżniowej. W miarę postępowania rozrzedzenia tworzy się dokoła niej mała czarna smuga, która rośnie wypełniając wreszcie całą rurę, skoro ciśnienie spada do jednej milionowej ciśnienia atmosferycznego. Jeszcze wcześniej zaczyna fluoryzować szkło, a pewne przedmioty — diamenty i rubiny — żarzyć się, gdy znajdują się wewnątrz rury. William Crookes⁵⁴, jeden z pierwszych badaczy tego zjawiska, odkrył, że fluorescencję tę wywołują pewne promienie biegnące przez ciemną przestrzeń dokoła katody. Promienie te, zwane katodowymi, poruszają się po liniach prostych, gdyż ustawiony na ich drodze krzyż mikowy daje wyraźny cień na fosforyzującym szkłe. Inne doświadczenia Crookesa wskazywały na to, że promienie te składają się z cząstek materii. Umieścił on

np. wewnątrz rury mały wiatraczek, którego oś spoczywała na dwóch równoległych pałeczkach szklanych. Górne skrzydła wiatraczka znajdowały się na drodze promieni. Okazało się, że wiatraczek poruszał się w kierunku od katody, tak jakgdyby coś uderzało w jego skrzydła. Odkrył dalej, że promienie można było odchylić przy pomocy magnesu, i odchylenie to miało wielkość i kierunek zgodny z założeniem, że cząsteczki te mają mały ujemny ładunek elektryczny. Sprawa się tak przedstawiała, jak gdyby odkrył nowy rodzaj materii, ani stałej, ani ciekłej, ani gazowej, lecz złożonej z cząsteczek o wiele mniejszych od atomów. Były to istotnie cząsteczki, z których są zbudowane atomy. Crookes nazwał je „materią promienistą“.

Wszystkie jego doświadczenia zostały w świetny sposób potwierdzone przez znakomitego fizyka, J. J. Thomsona, głowę pracowni im. Cavendisha w Cambridge⁵⁵. Thomson zmierzył szybkość i rozmiary drobnutkich cząsteczek promieni katodowych. Były to właśnie elektrony, o których już mówiliśmy, cząsteczki elektryczności ujemnej wyrwane z atomów, w których się normalnie znajdują, i które na bardzo krótki czas próbują szczęścia na własną rękę. O ich rozmiarach staraliśmy się dać wyobrażenie w poprzednim rozdziale (str. 191). Lecz osobliwości elektronu nie kończą się na jego rozmiarach: może on osiągać prędkości 100 000 km na sekundę, a nawet większe. Właśnie bombardowanie szkła i innych ciał przy pomocy tych niezmiernie małych i niezmiernie szybkich cząsteczek wywołuje opisane zjawiska fluorescencji.

Zanim J. J. Thomson udowodnił niezbicie, że promienie katodowe składają się z elektronów, między angielskimi fizykami (pod wodzą Crookesa) a kontynentalnymi toczyły się długotrwałe spory: ci ostatni przypuszczali, że są to promienie w rodzaju światła. Niemcy np. twierdzili, że wiatraczek w doświadczeniu Crookesa obracał się na skutek wydzielo-

nego ciepła i... mieli słuszną, bo okazało się, że zjawisko to nie występuje, gdy skrzydła wykonać z aluminium, które jest dobrym przewodnikiem ciepła i nie zdąży się ogrzać.

W sporach tych brał między innymi udział Röntgen, który wówczas wykładał na uniwersytecie w Würzburgu. Przy pewnej sposobności „dłubał“, jak się wyraził Lodge, przy rurze próżniowej owiniętej czarnym papierem. W odległości metra znajdował się przypadkiem ekran z platynocjankiem baru, właśnie jedną z tych substancji, które fluoryzują pod działaniem promieni katodowych. Ze zdziwieniem zauważył Röntgen, że ekran ten zaczął świecić z włączeniem, a przestał po wyłączeniu prądu w rurze. Najwidoczniej działało się to za sprawą czegoś w rurze, lecz nie promieni katodowych, które nie mogły przecie przejść przez szkło. Zaczął dokładne badania, które wykazały, że zjawisko to wywołały pewne promienie, zwane przez pewien czas promieniami „X“ albo „nieznanyymi“: powstawały one w rurze i przechodziły przez szkło, a nawet przez czarny papier. Co więcej: promienie te działały na płytę fotograficzną, od której rura była oddzielona np. ciałem ludzkim, a więc przeświećlały ciało!

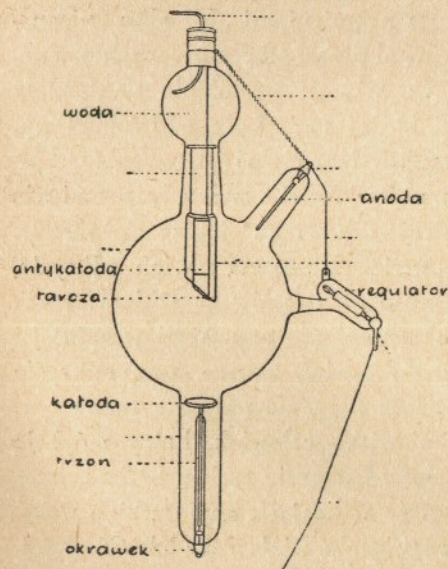
Wkrótce się okazało, że pojawiały się one, gdy promienie katodowe natrafiały na swej drodze na jakieś ciało stałe. W przypadku, który naprowadził Röntgena na ich odkrycie, powstawały one przy zderzeniu elektronów ze szkłem: rzecz uderzająca, że stałej ich obecności nie zauważyli wcześniejsi badacze! Röntgen sam przedstawiał zawsze swe odkrycie jako szczęśliwy przypadek, lecz szczęście polegało tu na tym raczej, że dostrzegł owo zjawisko człowiek, który mógł je zbadać i ocenić jego doniosłość. Odkrycie tych promieni, zwanych promieniami Rentgena (a w krajach anglosaskich wciąż jeszcze promieniami X!) rozwiązało wiele zagadek Crookesa. Zrozumiał teraz, dlaczego były zadymione płyty fotograficzne, które kiedyś zwrócił fabrykantowi z wyrzutami (fabry-

kant zresztą przeproszał długo i zamienił płyty na inne!): były to pierwsze fotografie wykonane promieniami Rentgena. Zresztą Crookes był niedaleko tego odkrycia: okazało się, że stare jego rury dawały później zupełnie dobre fotografie rentgenowskie.

Röntgen był człowiekiem uprzejmym i miłym, który do końca dni swych pozostał skromny, nawet widząc dokoła bezcenne usługi oddawane ludzkości przez swój wynalazek. Zmarł w roku 1923 w Monachium, podczas gdy Crookes zmarł w Londynie w roku 1919: rzadki to wypadek, gdy badacz ujrzał przed śmiercią dojrziałe owoce swych odkryć!

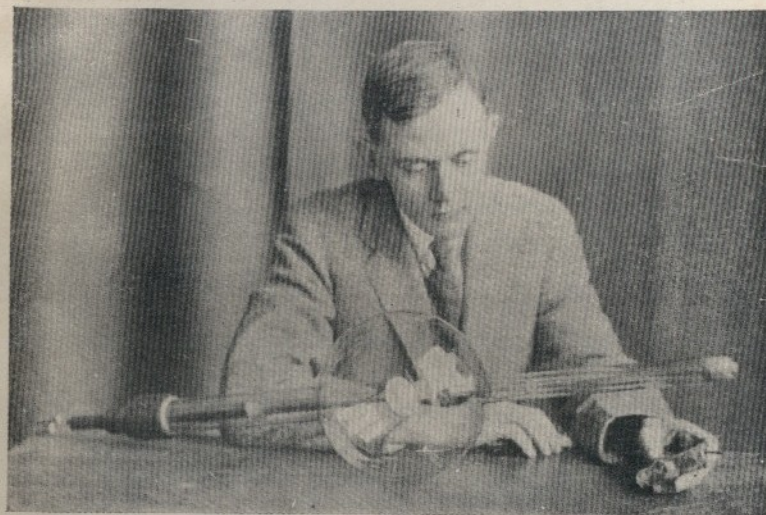
3. WSPÓLCZESNE RURY RENTGENOWSKIE

Wkrótce po odkryciu promieni rentgenowskich zbudowano wygodniejsze i wydatniejsze rury do ich produkcji. Postać

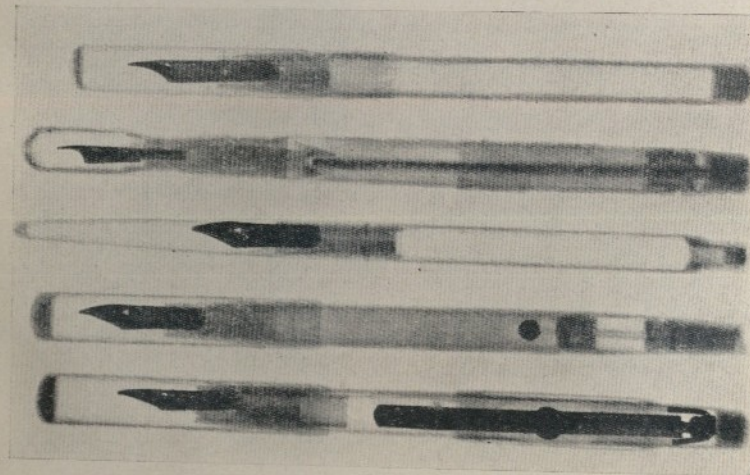


Rys. 77. POSTAĆ RURY RENTGENOWSKIEJ, UŻYWANEJ DO NIEDAWNA

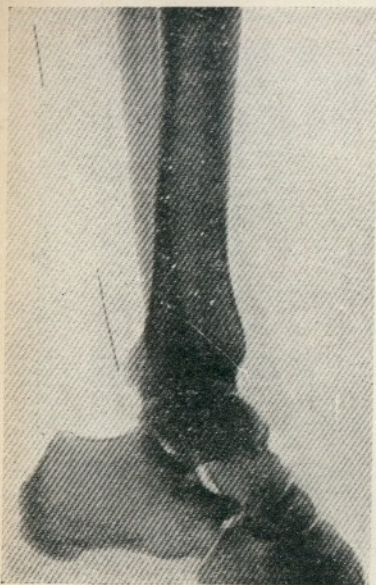
takiej rury jest przedstawiona na rys. 77. Zbudowana jest ona ze szkła z sodą, a bez ołowiu (a więc jak szyby okienne), gdyż ołów powstrzymuje promienie Rentgena. Katoda, wykonana z aluminium, ma kształt czaśzy tak obliczony, żeby promienie katodowe wybiegały w jednym kierunku, zamiast rozpraszać się dokoła. Anoda i tzw. antykatoda — przewodząca obsada tarczy, w któ-



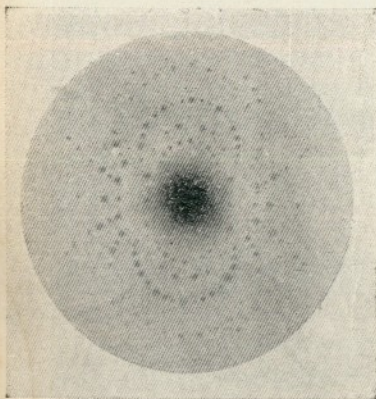
A. NAJWIĘKSZA I NAJMNIJSZA RURA COOLIDGE'A



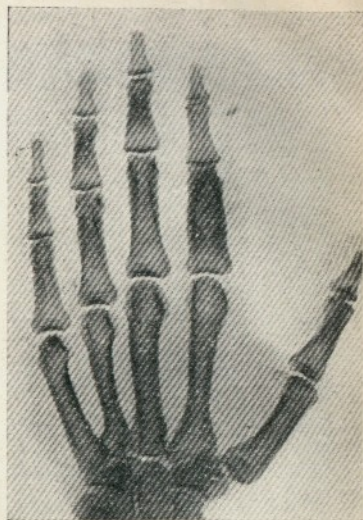
B. ZDJĘCIE RENTGENOWSKIE PUDEŁKA Z WIECZNYMI PIÓRAMI



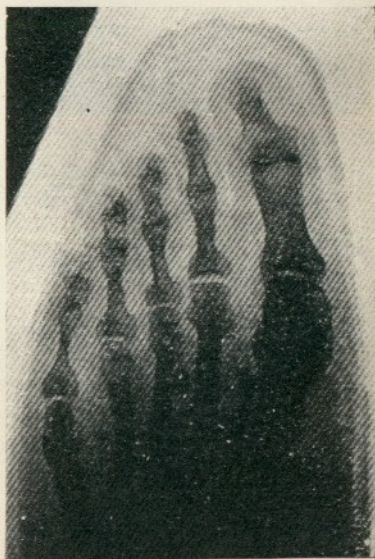
A. RENTGENOGRAM LEKARSKI: IGLA
W NODZE



D. RENTGENOGRAM DYFRAKCYJNY
UTWORZONY PRZEZ PROMIENIE, KTÓRE
PRZESZŁY PRZEZ KRYSZTAŁ GIPSU



B. RENTGENOGRAM LEKARSKI: ZMIA-
NY GRUŻLICZE W PALCU WSKAZUJĄCYM



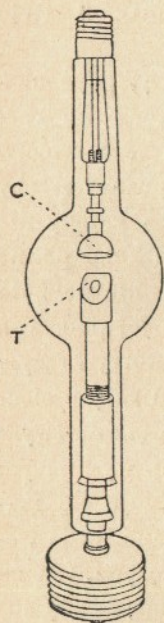
C. RENTGENOGRAM OBUTEJ NOGI OGŁA-
DANEJ PRZED KUPNEM, OBUWIA

rą uderzają elektrony — są zazwyczaj połączone drutem przebiegającym na zewnątrz rury. Materiał, z którego się tarcza składa, z dwóch względów jest ważny: po pierwsze nie powinien się topić od ciepła wytwarzanego przez uderzenie elektronów, po wtóre różne metale z różną siłą emitują promienie rentgenowskie. Lecz na szczęście metale o wysokim punkcie topliwości są ciężkie, a takie właśnie najlepiej emitują promienie. Używa się więc zazwyczaj wolframu (topnieje przy 3 500°) albo platyny (1 700°).

Prócz tego ważne jest ciśnienie wewnątrz rury, gdyż okazało się, że przy niskim ciśnieniu powstają promienie bardziej przenikliwe, „twardsze“, jak to się mówi. Jak wiemy, rury próżniowe, wbrew swej nazwie, nie są puste. Ażeby uniknąć nadmiernego wydzielania ciepła, rysunek katody nie był ściśle dotrzymywany; pociągało to za sobą z kolei pewne rozproszenie wytworzonych promieni Rentgena. Można było tego uniknąć przez chłodzenie tarczy: metalowa jej podstawa była częściowo zawarta w rurze szklanej, w której krążyła woda. Inna metoda chłodzenia polega na użyciu rury z cienkiej miedzi jako antykatody; rura ta jest zamknięta na swym końcu wewnętrznym, otwarta na zewnętrznym, tj. wystającym poza szkło. Na wewnętrznym jej końcu znajduje się maszynowa tarcza platynowa. Ciężkie szczypce miedziane tkwią wewnątrz tej rury, przyciśnięte do niej mocno sprężyną, tak że powstaje niemal sztywny blok miedzi. Gdy widać, że się antykatoda rozgrzewa, można szybko wyciągnąć te szczypce i zastąpić je przez zimne. Można też przyspieszać chłodzenie przez dołączenie do zakończeń owych szczypiec odpowiednich przystawek.

Jeszcze jedna trudność: po dłuższym użyciu rura rentgenowska staje się „twardsza“, gdyż szkło rury wchłania atomy gazu, który ją wypełnia, i próżnia się powiększa, czasem nawet czyniąc rurę niezdatną do użytku. Ażeby utrzymać ci-

śnienie w niezmiennej wysokości, umieszcza się w szklanej przystawce rury kawałek azbestu posypanego proszkiem platynowym, rozgrzewanym za pomocą prądu elektrycznego. Te ciała i podobne mają własność pochłaniania gazów, które jednak po ogrzaniu z powrotem wydzielają. Urządzenie to, pokazane na rys. 77, nosi nazwę „regulatora”. Ażeby regulować



Rys. 78. WSPÓŁ-
CZESNA RURA
RENTGENOWSKA
(COOLIDGE' A)
T — tarcza, C — ka-
toda rozżarzona

ciśnienie, łączy się krótki drut regulatora z zakończeniem anody, a długi drut regulatora zbliża się na odległość około 15 cm do zakończenia katody. Jeżeli rura jest zbyt „twarda”, między tym zakończeniem a drutem przebiegną iskry, przez regulator i azbest do anody przejdzie prąd, ogrzeje regulator i wyzwoli gaz, który zmniejszy próżnię, powiększając ciśnienie. Gdy osiągnie ono żądaną wysokość, drut oddalamy od katody.

W ostatnich czasach potrzebne są często promienie rentgenowskie o wysokiej przenikliwości, mianowicie do badania różnych ciał, jak metali, które stawiają im silny opór. By sprostać tym zadaniom, powstała rura o rozżarzonej katodzie (rys. 78); zbudowali ją niezależnie od siebie Coolidge⁵⁶ w Ameryce i Lilienfeld w Niemczech. Dziś wyparła już ona całkowicie opisany przed chwilą typ rury. Działanie jej jest oparte na fakcie, że wiele ciał — np. wapń i różne metale, jak wolfram — wysyła elektrony po ogrzaniu.

Znamy już to zjawisko z opisu lampy radiowej, która tylko dlatego nie wysyła promieni Rentgena, że nie ma antykatody i że pracuje pod zbyt małym napięciem: niezbędne jest przynajmniej 10 000 woltów. W rurach Coolidge'a

dochodzi nawet do 200 000 woltów: im silniejsze jest bombardowanie tarczy, tym twardsze, tj. przenikliwsze promieniowanie.

Wysokie napięcie daje jeszcze tę korzyść, że można ciśnienie obniżyć bardzo silnie i obyć się bez urządzeń regulacyjnych. Niektóre fabryki rur rentgenowskich twierdzą, że osiągnęły ciśnienia wynoszące jedną tysięczną jednej milionowej atmosferycznego. Umożliwiamy stosowanie tak niskiego ciśnienia, wydobywając elektrony już nie z gazu w rurze, lecz wprost z materiału katody. Przynosi to jeszcze korzyść większego opanowania strumienia elektronów, gdyż szybkość ich można zmieniać przez zmianę napięcia; a z szybkością elektronów można regulować twardość promieniowania rentgenowskiego.

W niektórych postaciach tych rur katodę stanowi spirala zamknięta w czaszy z molibdenu, który się okazał najbardziej zdatnym do tego celu metalem. Spirala z wolframu rozgrzewa się dzięki prądowi ze specjalnego obwodu emitując elektrony. Wysokie napięcie nadaje im wielką szybkość, która je niesie na tarczę, w opisywanym modelu wykonaną z wolframu osadzonego w miedzianym bloku. Tu miedź, jak wyżej, służy by ułatwić chłodzenie; pomagają w tym jeszcze dodatkowe przysadki do bloku.

Dla tych potężnych rur cewka nie jest już wystarczającym źródłem prądu. Na ogół używa się transformatora zasycanego z sieci świetlnej. Prąd zmienny z tego transformatora jest prostowany przy pomocy mechanicznego prostownika pędzonego przez silnik elektryczny. Używa się też do prostowania lamp katodowych. Warto jeszcze zauważyć, że rura Coolidge'a podobnie jak lampa radiowa przepuszcza prąd w jednym tylko kierunku, a więc jest prostownikiem: tak długo zresztą tylko, dopóki tarcza rozgrzana zbyt silnie przez bombardowanie nie zacznie sama wysyłać elektronów.

4. PRZYSZŁOŚĆ

Jeszcze Henryk Hertz zauważył, że promienie katodowe, stanowiące strumień elektronów, mogą przenikać przez cienkie folie metalowe. W roku 1894 fizyk niemiecki Filip Lenard otrzymał elektrony w powietrzu dzięki okienku z cienkiego aluminium, które umieścił w rurze próżniowej. Miało to być właśnie doświadczenie, dowodzące że promienie katodowe nie składały się z cząsteczek materialnych: nikt nie wyobrażał sobie naówczas, żeby cząsteczki materialne mogły przechodzić przez grube stosunkowo warstwy materii bez widocznych zmian. Nawet dziś, chociaż oswoiliśmy się z cudami przenikliwości promieni radu, wydaje się to nam uderzające. Tłumaczy się to zjawisko tym, że ciała stałe, nawet ciężkie metale, nie są tak masywne, jak wyglądają: składają się wprawdzie z ciasno spakowanych atomów, ale same atomy są bardzo puste. Rozmiary atomu są określone przez rozmiary orbity jego elektronu, a promień tej orbity jest tak znacznie większy od średnicy elektronu, że zostaje dość miejsca dla wolnego elektronu, by przedostać się nie tylko przez jeden, lecz całą masę tych atomów.

Coolidge usunął tarczę i umieścił okienko z folii niklowej na końcu jednej ze swych rur umożliwiając elektronom wydostanie się przez nie. Folia ta miała tylko jedną setną milimetra grubości i podziurawiona płytka z molibdenu musiała ją podtrzymywać, by nie została wciśnięta do wnętrza rury przez powietrze. Lecz nawet wtedy różnica obu ciśnień wciśkała ją w otwory w molibdenie. Po zastosowaniu napięcia 350 000 woltów między elektrodami swej rury, otrzymywał Coolidge strumień elektronów o szybkości 230 000 km na sekundę i sięgający w powietrzu na 180 cm! A w pierwszych doświadczeniach Lenarda wydostawał się on zaledwie na kilka milimetrów. (Tabl. XXV^A).

Ale ta rura Coolidge'a — zbudowana na jesieni 1926 r. —

była tylko odskocznią do jeszcze potężniejszej, po której się spodziewano elektronów o szybkości dorównywiającej szybkości światła — najwyższej, jaka jest w ogóle dla poruszającej się materii możliwa. Taka rura powinna działać w sposób zbliżony do radu; część bowiem jego działania tłumaczy się wysyłaniem promieni beta, które są strumieniem niezmiernie szybkich elektronów. W roku 1928 powstała nowa rura, pracująca przy napięciu 900 000 wolt, a więc trzy razy większym niż poprzednia. Składa się ona właściwie z trzech rur połączonych „kaskadowo“: elektrony z jednej wbiegają do drugiej, a potem do trzeciej. W każdej rurze mamy napięcie 300 000 wolt i po trzech takich przyspieszeniach elektrony nabierają szybkości prawie 280 000 km na sekundę, podczas gdy szybkość światła wynosi 300 000 km na sekundę.

Długość tej rury Coolidge'a wynosi 240 cm, a każda z trzech kul składowych ma około 30 cm średnicy. Okienko, przez które przedostają się elektrony, składa się z niezmiernie cienkiej folii metalowej, około 1/40 mm grubości, tak zmontowanej, że może się oprzeć różnicy między ciśnieniem zewnętrznym a wewnętrznym, a przy tym zupełnie pozbawionej otworów. Elektrony pochodzą, jak zwykle, z rozżarzonego włókna. Szkło rury jest wewnątrz osłonięte miedzianą powłoką, żeby elektrony nie mogły go pokaleczyć. Oddajmy głos Coolidge'owi:

Przeprowadziliśmy z powodzeniem doświadczenia na rurze katodowej z trzech odcinków, które łącznie dawały 900 000 wolt. Ten „kaskadowy“ czy „wielo-odcinkowy“ sposób łączenia rur obiecuje zastosowanie do rur próżniowych napięć tak wysokich, jakie w ogóle będziemy umieli wytworzyć. Odnosi się to zarówno do rur katodowych, jak próżniowych: różnią się one tylko dodaniem odpowiedniej tarczy.

Otwiera to przed nami obiecujące możliwości. Trapiło nas od wielu lat, że nie umiemy wytworzyć w pracowni elektronów o szybkościach tak wielkich, jak promienie beta radu, i tak twardeych

promieni rentgenowskich jak promienie gamma radu. Według Ernesta Rutherforda do tego ostatniego potrzebne nam jest napięcia tylko dwukrotnie przynoszące już przez nas stosowane, a do promieni beta — musimy mieć 3 miliony. Gdybyśmy to osiągnęli, ilościowo sprawa przedstawiałaby się na naszą korzyść, gdyż 12 miliamperów prądu da nam tyle elektronów z rury, ile tona radu. Prócz tego moglibyśmy kierować dowolną wydajnością urządzenia, podczas gdy na ilość produktu promieniowania radu nie umiemy w żaden sposób oddziaływać.

ROZDZIAŁ X

PROMIENIE RENTGENA W MEDYCYNIE

1. O PROMIENIOWANIU W OGÓLE

Obecność promieni Rentgena wykazuje się często metodą najdawniejszą, tj. przy pomocy fluorescencji platynocjanu baru, który żarzy się zielono pod ich działaniem. Pociągamy ekran tekturowy kryształami tego ciała i umieszczamy na wprost rury. Jeżeli różne przedmioty ustawiać teraz między rurą a ekranem, okaże się, że pewne rzucają cień na ekran, inne nie; tzn. jedne są dla promieni nieprzenikliwe, inne przenikliwe. Jeżeli przed ekranem umieścić rękę, mięśnie dadzą słaby cień, ale kości znacznie gęstszy. Na ogół drzewo, papier, lekkie metale, tj. cynk, aluminium, łatwo przepuszczają promienie, natomiast metale ciężkie, jak platyna i ołów, zatrzymują je w silnym stopniu.

Lecz we współczesnych zastosowaniach wykrywa się przeważnie promienie Rentgena za pomocą płyty fotograficznej. Fotografie rentgenowskie — właściwie sylwetki (tabl. XXVI, XXVII) — mogą być dokonane na zwykłych płytach, lecz do pracy odpowiedzialnej używa się emulsji specjalnie przyrządzonej. Emulsja zwykła zatrzymuje bowiem te promienie tylko częściowo, część ich przechodzi przez nią swobodnie. Bromek srebra, owa czuła substancja emulsji, nie zmienia się chemicznie od promieni, które przepuścił, tak że wiele energii idzie na marne. Znacznie więcej promieni można zatrzymać, jeżeli stosować emulsje bardzo grube, najlepiej na celulozidzie, który można pokryć z obu stron. Jednak różne trudności związane z późniejszym wywoływaniem, utrwala-

niem i płukaniem, nie pozwalają stosować emulsji zbyt grubych. Inna metoda uczulania emulsji na promienie Rentgena polega na przesycaniu jej solami różnych metali, szczególnie nieprzenikliwych.

Ażeby zwiększyć szybkość działania promieni na emulsję, gdy czas naświetlania musi być bardzo krótki, stosuje się jeszcze następujący pomysł: arkusz tektury pociąga się z obu stron emulsją zawierającą jakieś z ciał, które fluoryzują pod działaniem promieni Rentgena. Platynocjanek baru okazuje się tu mniej stosowny niż np. związek wapnia z wolframem, którego światło zawiera dużo promieni fiołkowych i pozafiołkowych, działających szczególnie silnie na emulsję fotograficzną. Ten arkusz przykładają ściśle do emulsji, a w przypadku filmu z emulsją po obu stronach, ściska się go między dwoma takimi arkuszami. Działanie promieni Rentgena jest wtedy wzmocnione przez działanie promieni świetlnych, pochodzących od ciał fluoryzujących. Ścisłe zetknięcie między ekranem a emulsją jest tu konieczne, gdyż inaczej obraz byłby silnie rozmyty.

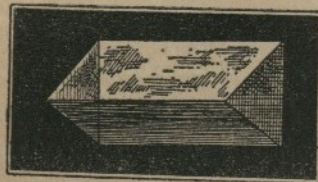
Istota promieni Rentgena była przez długi czas przedmiotem równie gorących sporów, jak w przypadku promieni katodowych. Z początku wydawało się, że nie są to fale, jak światło, gdyż nie udało się zaobserwować ani ich odbicia od jakiejś płaszczyzny, ani załamania przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego. Później jednak sprawę tę wyjaśniono dokładnie i udowodniono, że promienie te mają naturę światła, że są falami elektromagnetycznymi.

Sprawa fal jest bardzo trudna, nawet w ciałach sprężystych, wodzie czy w powietrzu, a tym bardziej w przypadku fal elektromagnetycznych. Izaak Newton w roku 1675 wypowiedział przypuszczenie, że światło składa się z niezmiernie małych cząsteczek, wysyłanych z wielką szybkością z świecących ciał. Z drugiej strony, Christian Huyghens⁵⁷ (1629—1695), sławny

matematyk i fizyk holenderski, wierzył, że światło polega na ruchu falowym pewnego ośrodka, podobnie jak głos polega na ruchu falowym powietrza. Liczne a kosztem wielkiego wysiłku obmyślane doświadczenia udowodniły wreszcie dzięki współpracy wielu badaczy, że Huyghens miał na pozór słuszność, i wierzono do niedawna, że ten ruch falowy odbywa się w jakimś tajemniczym ośrodku, zwanym eterem. Lecz w naszym już stuleciu dyskusja otworzyła się ponownie w związku z odkryciem nowych dziwnych zjawisk i podjęto teorię Newtona o cząsteczkowej istocie światła, przy czym okazało się, że obie teorie są w pewnym sensie słuszne. Ale jest to sprawa zbyt skomplikowana, żeby ją tu omawiać.

Fale świetlne nie polegają na ruchu żadnej materii, są to drgania sił elektromagnetycznych w przestrzeni. Niemniej jednak mają one wiele cech wspólnych ze zwykłymi falami. Np. fala na powierzchni wody będzie kołysała korek, który po niej pływa; podobnie fala elektromagnetyczna wywoła drganie elektryczności wewnątrz przewodnika; poznaliśmy je w postaci prądu zmiennego.

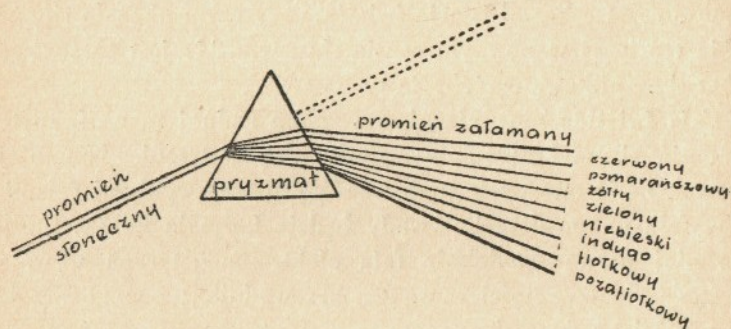
Już Hertz wykazał, że fale elektromagnetyczne i świetlne mają wiele wspólnych własności. Teraz wierzymy, że różnią się one tylko długością fal. Różnica ta sprawia, że fal używanych do komunikacji radiowej nie możemy zobaczyć: nic w tym dziwnego, skoro istnieją dźwięki, których nie możemy słyszeć, wykraczające poza granice wrażliwości naszego bębenka.



Rys. 79. PRYZMAT SZKLANY

Już Izaak Newton wykazał, że światło białe jest czymś złożonym. Jeżeli promień światła przepuścić przez pryzmat (rys. 79), wyjdzie on z niego jako wielobarwna wstęga, zwana

„widmem“. Łatwo zjawisko to dostrzec na każdym kroku w różnych szklanych kryształach, jak wazy itd. Tęcza jest innym jego przykładem, gdyż pochodzi ona z rozszczepienia światła w kropkach deszczu, które tu odgrywają rolę pryzmatów. W widmie przechodzą w siebie stopniowo różne barwy, przy czym utarło się od wieków wyróżniać w nim siedem barw „głównych“, niejako najbardziej zdecydowanych (rys. 80): ale barw jest oczywiście w widmie nieskończenie



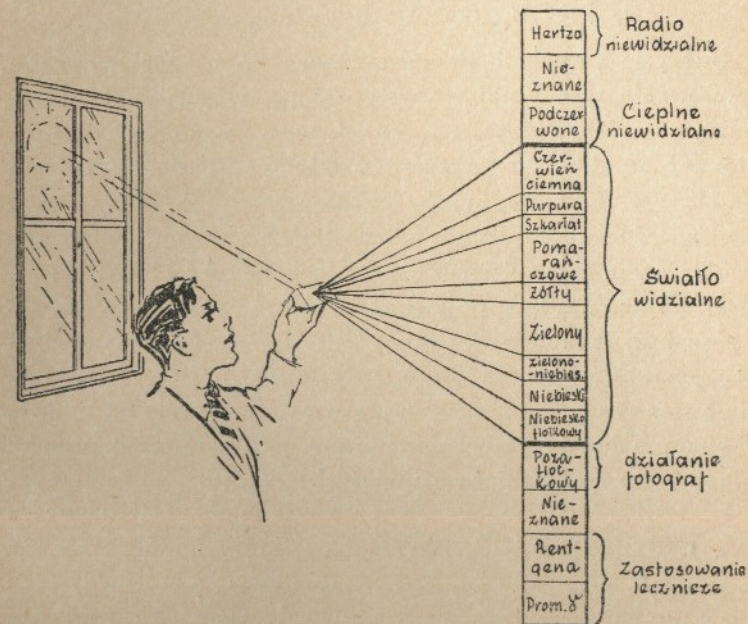
Rys. 80. WIDMO ŚWIATŁA BIAŁEGO

Światło białe po przejściu przez pryzmat rozszczepia się na barwne składniki

wiele. Poza widzialną częścią widma, po stronie fioletowej są niewidzialne, ale działające silnie na emulsję fotograficzną, na ustrój człowieka i na różne przebiegi chemiczne, promienie pozafioletkowe. One to opalają nas latem na plaży, a zimą w górach. Poza promieniami pozafioletkowymi są niewątpliwie jakieś fale, ale nie mamy dotąd wrażliwego na nie odbiornika. Dopiero dalej pojawiają się promienie Rentgena, a jeszcze dalej są promienie wysyłane przez rad, promienie γ (rys. 81).

Po przeciwnej stronie, za czerwoną częścią widma idą najprzód promienie podczerwone: ciepło promieniste. Takie

promienie wysyła każde ogrzane ciepło, mogą one ogrzewać na odległość bez pośrednictwa powietrza. Poza nimi znów pasmo fal nieznanych, a dalej idą fale elektromagnetyczne, używane do komunikacji radiowej. Te nie działają już na kliszę fotograficzną, chociaż jeszcze jest to prawdą dla fal

Rys. 81. WIDMO FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH
U góry fale długie, u dołu — krótkie

podczerwonych. Zakres fal radiowych jest od kilku tysięcy metrów do 10, fale promieni Rentgena mieszczą się w jednym metrze w ilości około biliona!

Dowód, że promienie Rentgena odbijają się i załamują, jest niezmiernie trudny, gdyż przenikają one do wnętrza wszelkich ciał stałych. Udało się to okazać dopiero niedawno

w sposób pośredni. Im mniejsza długość fali, tym trudniejszy ten dowód, gdyż promienie są twardsze, bardziej przenikliwe. Rura Coolidge'a o katodzie rozżarzonej obiecuje nam jeszcze twardsze promieniowanie niż wszystkie dotąd otrzymane.

2. NIESPODZIEWANE NIEBEZPIECZEŃSTWO

Odkrycie promieni Rentgena wywołało niesłychane zainteresowanie wśród najszerszych warstw, wszędzie urządzano odczyty o nich, demonstrowano ich otrzymywanie i działanie. Do najpospolitszych pokazów należało rzucanie cienia ręki na ekran fluoryzujący, ażeby pokazać kości. Niektórzy z tych demonstrantów czynili to tak często, że po pewnym czasie ogólna suma czasu działania promieni na rękę okazywała się dość wielka. I u tych pojawiały się dziwne zmiany na rękach. Jedne przypominały oparzenia i nazywano je zapaleniami rentgenowskimi skóry. Inne były poważniejsze; pojawiały się owrzodzenia, a niekiedy nowotwory, tj. narośle na rękach. Niebawem ludzie zdali sobie sprawę, że operowanie promieniami Rentgena wymaga ostrożności.

Do najbardziej znanych wypadków należy ofiarna praca Dra J. Hall-Edwardsa z Birmingham, który bardzo wcześnie zrozumiał znaczenie odkrycia Röntgena dla medycyny. Pierwszy raz zastosował je przed zabiegiem chirurgicznym do zbadania, gdzie się znajduje igła w ręce pewnej pacjentki. Specjalnie zmontowany ambulans pozwalał mu stosować do chirurgii promienie Rentgena podczas wojny z Burami. Później zainteresował się zastosowaniami technicznymi. Lecz niebawem wypadło mu drogo zapłacić za swe odkrycia: zapalenie skóry zmusiło go najprzód do amputacji palców prawej ręki, a potem przyszła kolej na lewe ramię. Nauczyło go to ostrożności, ale nie zniewoliło do przerywania pracy: krzepiony wiarą, że działa na użytek ludzkości, że dzięki

jego cierpieniom nauczą się ludzie używać promieni Rentgena bez szkody, nie przerwał swej pracy.

Wiemy teraz, że najbardziej szkodliwe są fale długie, miększe, tj. mniej przenikliwe i w pracowniach dzisiejszych powstrzymuje się je za pomocą dostatecznie grubej blachy aluminiowej albo miedzianej. Do zatrzymania wszystkich promieni stosuje się ołów: 3 mm wystarczą, by sprowadzić natężenie promieni do jednej tysięcznej ich wartości. Często używa się blachy ołowianej, ale najodpowiedniejsza okazała się guma ołowiana. Jest to zwykła guma z domieszką pewnych związków ołowiu, dwa do czterech razy bardziej przenikliwa niż sam ołów. Rura próżniowa jest zamknięta w skrzynce z ebonitu lub drzewa, wyłożonej gumą ołowianą i opatrzonej okienkiem, po którego zamknięciu promienie nie wychodzą zupełnie.

Laborant znajduje się na ogół za ekranem wyłożonym gumą ołowianą i zaopatrzonym w okienko ze specjalnego szkła o dużej domieszce ołowiu. Poza tym nosi fartuch i rękawiczki z gumy ołowianej i maskę z okularami ze szkła ołowianego. Chroni się również wszystkie części ciała pacjenta, które nie podlegają badaniu, a prócz tego reguluje się starannie czas prześwietlenia, utrzymując go w granicach bezpieczeństwa. Organy położone głęboko, jak serce i wątrobę, prześwietla się w kilku krótkich dawkach, kierując promienie z coraz to innej strony, żeby żadnej części powierzchni ciała nie narażać zbyt długo na ich działanie. Te środki ochronne są tak skuteczne, że wśród rentgenologów krąży powiedzenie, że kto oparzy pacjenta jest łotrem, a kto oparzy siebie — głupcem. Lecz z drugiej strony skutki naświetlenia rentgenowskiego tak powoli się rozwijają, że trudno twierdzić, iż znamy dokładnie stopień szkodliwości promieni. Przy użyciu silnych rur o bardzo twardym promieniowaniu stosuje się specjalne środki ostrożności: do komory wpuszcza się tylko

pacjenta, lekarz obserwuje cały przebieg naświetlenia przez okno ze szkła ołowianego.

3. PROMIENIE RENTGENA NA USŁUGACH CHIRURGA

Najwcześniejszym zastosowaniem promieni Rentgena było prześwietlenie, gdy chodziło o znalezienie położenia obcych ciał w organizmie, potem przyszło badanie chorób kości. Gdy w ciele znajduje się kula, dwa zdjęcia rentgenowskie („rentgenogramy“) z różnych miejsc dają rentgenogram stereoskopowy; zestawienie obu pozwala chirurgowi dokładnie ustalić położenie kuli, zdecydować czy można ją wyjąć i ułatwić sobie tym pracę. Równie często wypada stosować fotografię rentgenowską przy ustalaniu miejsca połamania — nieostroźnie lub umyślnie (przez dziecko) — przedmiotu metalowego. Można z niej wywnioskować, jaki będzie najrozsądniejszy sposób usunięcia. Zdarza się również obawa, że coś zostało połknięte, i urojone cierpienia z tego powodu: wtedy rentgenogram usuwa niepokój. Złamanie kości, wadliwe zrośnięcie się po nastawieniu, oto inne pola do zastosowania prześwietlenia.

Rentgenogram pomaga teraz wydatnie i przy innych diagnozach: zapaleniu wyrostka robaczkowego, kamieni żółciowych; przed doświadczonym okiem rentgenologa nic się niemal nie ukryje. Twardsze rury rentgenowskie pozwalają badać głębiej ukryte organy, jak serce, i to zarówno fotograficznie jak na ekranie. Specjalne urządzenie pozwala obserwować dokładnie kontury serca i ustalić pewne choroby znacznie wcześniej, niżby się objawiły na inny sposób. Bada się również ruchy przepony oddzielającej klatkę piersiową od jamy brzusznej.

Do najciekawszych zastosowań należy badanie przewodu pokarmowego. W tym celu podaje się pacjentowi tzw. „pokarm kontrastowy“, mieszaninę kleiku, kakao, siarczanu barowego z mlekiem i wodą. Ogrzewa się to i miesza aż do zgęst-

nienia; według powszechnej opinii jest to najmniej właściwy posiłek dla człowieka głodnego. Dla promieni Rentgena najważniejszym składnikiem jest tu siarczan barowy. Bar jest metalem ciężkim i związki jego rzucają zatem na ekran cień gęstszy: przebieg pokarmu można z łatwością obserwować na ekranie. Zarysy przewodu ukazują się z całą wyrazistością, obce ciała w żołądku wywołują zazwyczaj wiry w pokarmie kontrastowym w czasie jego ruchu.

Prócz tego, niszczące działanie promieni Rentgena może być wykorzystane dla celów leczniczych. W starannie regulowanych dawkach są one stosowane do leczenia chorób skórnych, owrzodzeń i nawet raka. Najprawdopodobniej nie mogą one całkowicie zastąpić zabiegu chirurgicznego, lecz mają one duże znaczenie zapobiegawcze po udanej operacji powstrzymując tworzenie się nowych narośli. Kilka lat temu okazało się, że pewne żrące wrzody lepiej naświetlać radem niż promieniami Rentgena, co wskazywało na to, że niezbędne są promienie bardzo twarde. Ponieważ ostatnio nauczyliśmy się przy pomocy rury Coolidge'a wytwarzać sztucznie znacznie twardsze promieniowanie rentgenowskie, jest nadzieja, że będzie można obyć się tu bez radu. Największa rura w użyciu szpitalnym jest właśnie typu Coolidge'a i znajduje się w Chicago, w Mercy Hospital Institute. Napięcie jej wynosi 800 000 woltów.

Wydaje się w chwili obecnej rzeczą pewną, że promienie Rentgena hamują rozwój młodych zwierząt i że działanie to rozciąga się na wszelkie w ogóle żywe komórki. Promienie powstrzymują wzrost gruczołów potowych i cebulek włosowych, a nawet je niszczą, co może być wykorzystane do leczenia pewnych chorób. Przy dłuższym ich działaniu może dojść do całkowitego wyłysienia. Tłumaczymy to sobie tym, że gdy promienie Rentgena przechodzą przez materię, przenikają do wnętrza atomu, wyrzucając z niego elektrony. Nazywa się to „jonizacją“ i tej jonizacji prawdopodobnie zawdzięczamy

działanie na emulsję fotograficzną tych promieni, które przez nią nie przechodzą. Otóż burzące działanie promieni na atomy tkanki może wywoływać jej zanik i leczyć owrzodzenia i nowotwory. Dzięki temu rura Coolidge'a odda jeszcze chirurgii zapewne wielkie usługi.

Lecz promienie Rentgena nie tylko niszczą żywe komórki, w pewnych przypadkach mogą przyspieszać ich rozwój: podobne było działanie łuku elektrycznego (str. 82). Na przykład jajeczka jedwabnika po umiarkowanym naświetleniu rozwinęły się wcześniej; za to zastosowanie tej samej metody do gąsienic przyniosło im tylko śmierć.

Poza tym naświetlenie nasion przed kiełkowaniem daje dziwne wyniki. Otrzymuje się na przykład bawełnę o olbrzymich nasionach albo o nasionach oddzielonych od skorupki, grejfruty kwitnące po 5 tygodniach, zamiast po 5 latach. Na pewien gatunek muchy owocowej, małego szarobrazowego owada z jasno czerwonymi oczami (*Drosophila*) naświetlanie podziałało w ten sposób, że w potomstwie jego pojawiły się nowe odmiany: olbrzymy, karły niezdolne do życia i tysiące dziwacznych stworzeń, różniących się znacznie od swych przodków.

Podobne doświadczenia przeprowadza się zresztą również z promieniami katodowymi. Nie są one tak przenikliwe jak promienie Rentgena, ale na żywą materię działają podobnie, być może dla tego, że wewnątrz niej wytwarzają promienie rentgenowskie, gdy trafiają w atomy. Trudno przewidzieć, jakie wyniki przyniosą ostatecznie te eksperymenty, ale wolno je z pewnością uważać za bardzo obiecujące. Np. na uchu królika, naświetlanym przez jedną sekundę promieniami katodowymi, pojawiła się po kilku dniach blizna, a włosy zaczęły wypadać, ustępując miejsca nowemu, śnieżnobiałemu owłosieniu. Nie należy się jednak spodziewać po nich innego działania niż na powierzchnię skóry.

4. ELEKTROTHERAPIA

W tym samym rozdziale będzie może na miejscu omówić różne inne lecznicze zastosowania elektryczności, chociaż nie posługują się one promieniami Rentgena. Okazało się, że i inne zjawiska elektromagnetyczne, prócz tych i promieni katodowych, oddziałują na organizm ludzki. W szczególności obiecujące wyniki uzyskano przez stosowanie prądów bardzo szybko zmiennych.

Jeszcze na początku bieżącego stulecia przepisywano traktowanie elektrycznością wszystkim pacjentom, którym nie można było nic innego poradzić. Postępowanie to niewiele różniło się właściwie od zwykłego znachorstwa, tym bardziej, że większość lekarzy nie znała się dostatecznie na przyrządach elektrycznych i ich działaniu. Lecz w ciągu lat ostatnich sprawa ta weszła w okres poważnych badań i pogarda, z którą elektroterapię traktowano pod koniec XIX stulecia, ustąpiła miejsca powszechnemu uznaniu. Zewnętrzny tego świadectwem było ustanowienie w roku 1919 na uniwersytecie w Cambridge⁵⁵ tytułu naukowego w zakresie elektromedycyny i radiologii; za tym przykładem poszedł niedawno Paryż.

Przełomową datą dla elektromedycyny jest rok 1903, gdy Stefan Leduc⁵⁸, profesor szkoły lekarskiej w Nantes ogłosił szereg mistrzowskich rozpraw z tego zakresu. Leduc zaczął od badań nad rozkładem cieczy przez prąd elektryczny, tj. od elektrolizy. Prąd przez cieczę przewodzi „jony“ tj. atomy, opatrzone ładunkiem elektrycznym, dzięki utracie lub pozyskaniu jednego lub kilku elektronów. Leduc okazał, że jony można wprowadzać do organizmu ludzkiego przez skórę za pomocą prądu elektrycznego i że zabieg ten ma w pewnych cierpieniach zbawienny skutek. Polega on na tym, że powierzchnię skóry pacjenta okłada się roztworem zjonizowanym i przepuszcza się przez niego prąd elektryczny; gorsze wyniki daje zwykle zastrzyk.

Metoda jonizacji daje dobre wyniki przy leczeniu wrzodów lub zakażonych ropnymi bakteriami zatok, do których trudno przeniknąć zwykłym chemikaliom. Jony cynku, silnie bakteriobójcze, mogą wędrować pod powierzchnią skóry, by stoczyć walkę z bakteriami. Czasami udaje się wprowadzić te jony do każdej komórki schorzałej tkanki, nawet w przypadku wrzodu żrącego, pewnej odmiany nowotworu złośliwego. Inny złośliwy wrzód występuje na rogówce oka i może się rozszerzyć na całą jego powierzchnię, wywołując ostatecznie przedziurawienie jej powierzchni. I tu jony cynku często przynoszą całkowite wyleczenie. Leduc badał również działanie jonów chloru i salicylu i znalazł, że te pierwsze pomagają przy rozrywaniu zrostów i zmiękczeniu tkanki zablizniającej, podczas gdy drugie łagodzą bóle przy pewnych nerwicach.

Po tym badaczu odkryto szereg różnych jonów o własnościach leczniczych. Podobnie jak promienie Rentgena, stosuje się je do leczenia tkanek schorzałych lub nienormalnych. Zwykle korzysta się przy tym z dwóch elektrod metalowych, przyłożonych do tkanki zwilżonej roztworem zjonizowanym. Ponieważ ciało ludzkie jest przewodnikiem elektryczności, przepływa przez nie prąd i zachowuje się ono jak elektrolit; zatem na elektrodach osadzają się różne ciała chemiczne o własnościach żrących, które mogą niszczyć schorzałą tkankę.

Wartość tej metody polega na tym, że ciała owe pojawiają się dokładnie w żądanych miejscach i że ilość ich może być najdokładniej regulowana. Zastosowanie zewnętrzne tych samych środków zapewnia ich działanie tylko na powierzchni, a z drugiej strony skutki ich mogą się rozciągać poza pożądaną obszar.

Przez zastosowanie elektrod igłowych można wywołać działanie żrące pod powierzchnią skóry i osiągnąć niemożliwe na

innej drodze wyniki. Zastosowano np. tę metodę do rzęsy, który wyrastała na wewnętrznej powierzchni powieki. Do cebulki włosowej wprowadzono cienką igłę platynową i przepuszczono słaby prąd: na tkance wytworzyła się wtedy soda żrąca w ilości wystarczającej do zniszczenia cebulki. Tę samą zasadę stosowano do leczenia wilka na błonie śluzowej.

ROZDZIAŁ XI

PROMIENIE RENTGENA W PRZEMYŚLE I NAUCE

1. ZADANIE

Zastosowania promieni Rentgena do medycyny zaćmiły — przynajmniej jeżeli idzie o szerokie masy — liczne inne ich usługi. Ale kto wie, czy historyk przyszłych czasów nie odsunie właśnie rentgenologii medycznej na drugi plan, wysuwając na plan pierwszy zastosowania przemysłowe, teraz jeszcze przebywające w okresie niemowlęctwa.

Zacznijmy od uwagi, że brytyjska dyrekcja pocztowa już w 5 lat po odkryciu Röntgena wykazała wielką przedsiębiorczość, stosując je do badania gutaperki, używanej do kabli podmorskich, a później do badania ołowianej powłoki przewodów podziemnych. Te pierwsze kroki są charakterystyczne dla dalszego rozwoju zastosowań promieni: pozwalają one badać materiał w tej postaci, w jakiej zostanie oddany do użytku. Jest to szczególnie ważne dla materiałów budowlanych, jak drzewo, stal, cement.

Ażeby ocenić należycie usługi, które nam oddają promienie Rentgena, przyjrzyjmy się najprzód innym możliwym metodom badania: mechanicznej, chemicznej i mikroskopowej.

Próby mechaniczne posługują się zazwyczaj czułymi przyrządami do badania twardości metalu albo specjalnymi maszynami, próbującymi odporność na zniszczenie. Mają one zasadniczą wadę, że niszczą materiał badany. Podobnie przy metodzie chemicznej operujemy tylko próbką, która zostaje

oczywiście zniszczona. Metoda mikroskopowa nie ma tej wady, ale za to ma bardzo ograniczony zasięg i operuje również tylko na pewnym wycinku powierzchni. Ograniczenie się do próbki ma tę oczywistą słabą stronę, że nie daje nam pewności, jak się zachowa większość użytego materiału: zbadanie na wytrzymałość kilku prętów z kilkuset pozostawia zawsze obawę, że któryś z niebadanych ma groźną skazę.

Przy tej sposobności wspomnimy nawiasem o metodzie badania, opartej na własnościach magnetycznych. Wprawdzie metoda ta nie wyszła dotąd poza stadium eksperymentu (zajmuje się nią żywo państwowy urząd miar i wag w Stanach Zjedn.), lecz jest bardzo obiecująca. Oparta jest ona na spostrzeżeniu, że zmiany strukturalne w metalu pociągają za sobą zmiany jego własności magnetycznych. Drobne pęcherze w odlewanych szynach, twardość i ostrość różnych noży i świdrów, stan łożysk kulkowych poddają się łatwo tej metodzie badania, która stosuje się oczywiście bez niszczenia badanego materiału.

Najpewniej będzie się ją stosowało również do codziennego badania stalowych lin dźwigowych w kopalniach. Urządzenie to w zasadzie polegałoby na otoczeniu liny solenoidem, połączonym z cewką próbną; lina odgrywałaby rolę rdzenia. Po przepuszczeniu przez solenoid pewnego prądu stałego, jeżeli lina będzie biegła wewnątrz solenoidu, każda zmiana w jej budowie magnetycznej wywoła w cewce próbnej siłę elektrobodźczą. Sprawę komplikuje, że taki sam może być skutek napięć mechanicznych w linie, lecz przy odpowiednim doborze pola magnetycznego wpływ ich można praktycznie usunąć. Wtedy wszystkie niebezpieczne napięcia, wywołane przez zniszczenie jakiegoś drutu, natychmiast zostaną zauważone.

Ale wróćmy do promieni Rentgena. Stosujemy je do tych badań, wychodząc z faktu, że różne ciała mają różną „prze-

zroczystość“. Przezroczystość tę mierzy się grubością warstwy, po której przebyciu natężenie promieni zmniejszy się dwa razy. W badaniach mało dokładnych przyjmuje się często, że grubość ta jest odwrotnie proporcjonalna do gęstości. Zastosowanie promieni Rentgena do przemysłu odwiekło się na długo dlatego, że pochłanianie ich w metalach jest bardzo wielkie, bez porównania większe niż w tkance mięśniowej czy kostnej. Np. przez kości głowy z łatwością przechodzą promienie, któreby do stali nie przeniknęły nawet na 2 mm. Do badania metali potrzebne są więc promienie niezmiernie przenikliwe, tj. twarde i dopiero rury Coolidge'a przyniosły możliwość badania odlewów stalowych.

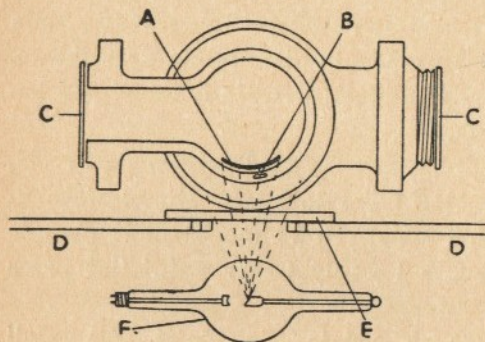
W chwili obecnej możemy prześwietlać drzewo do 37 cm, aluminium do 15 cm, a ołów tylko do 5 mm. Dla najważniejszych stopów żelaznych i stalowych 75 mm stanowi obecnie nieprzekraczalną granicę, a i wtedy trzeba naświetlać przez 30 minut.

W pewnych wypadkach udaje się dojść dla stali do 10 cm, a żelazo lane prześwietlono z powodzeniem przez 12,5 cm. Praktycznie spotykane wymagania przewyższają znacznie te grubości i przemysł z niecierpliwością oczekuje podniesienia granicy napięcia dostępnego handlowo z 250 000 woltów (75 mm stali) przynajmniej do 600 000, co odpowiada 10 cm stali. Zagadnienie takich wysokich napięć sprowadza się właściwie do chłodzenia antykathody w rurce Coolidge'a.

Do badania rentgenowskiego istnieją teraz przenośne instalacje, przystosowane w szczególności do różnych zadań specjalnych, jak badanie szwów w kotłach, czy części motorów lotniczych bez ich rozmontowania. Zwykle kieruje się promieniem na film, przylegający do wewnętrznej powierzchni. Wobec wysokich napięć, niezbędne są różne dość kłopotliwe środki ostrożności.

2. METODA

Na rys. 82 przedstawiona jest schematycznie metoda badania. Badany przedmiot, np. gotowy odlew, umieszcza się między rurą rentgenowską (F) i płytą fotograficzną (A). Rura jest osadzona w pudle metalowym (D) wyłożonym ołowiem. Pudło to ma u góry otwór kwadratowy, przykryty ebonitem albo innym ciałem przezroczystym dla promieni, na wierzch kładzie się obiekt.



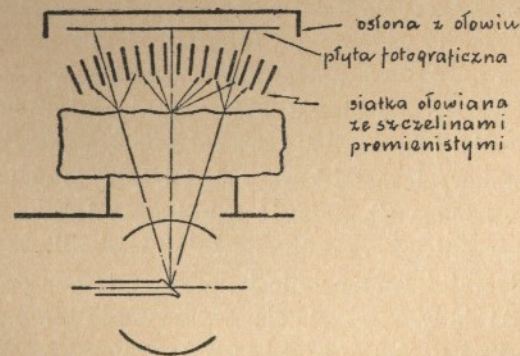
Rys. 82. JAK SIĘ ROBI RENTGENOGRAM ODLEWU
A — błona; B — pęcherz w odlewie; C — odlew;
D — płyta ołowiana; E — pokrywa

Otwarte końce odlewu przykrywa się płytami ołowianymi (C), a całe urządzenie kontrolne umieszcza się wewnątrz komory rentgenowskiej, do której laborant zagląda tylko przez peryskop również wyłożony ołowiem: wszystko to ma na celu zabez-

pieczenie ludzi przed promieniami. Defekt wewnątrz odlewu (B), ujawni się na zdjęciu, jak np. na tabl. XXVII. Prześwietlenie trwa do 30 minut, a nawet dłużej, zależnie od grubości badanego metalu. Jeżeli grubość metalu nie wszędzie jest jednakowa, zapobiega się przeeksponowaniu części cieńszych przez wyłożenie cienkim arkuszem blachy ołowianej.

powierzchnie, tak żeby tylko badana część była dla promieni odsłonięta. Do tego celu służy wosk ze sproszkowanym ołowiem, czasem używa się również rtęci.

Wspomnijmy, że to samo zagadnienie pojawia się w zastosowaniach leczniczych. Tam używa się specjalnej przesłony „Pottera Buckyego“ (rys. 83) do zatrzymania promieniowania rozproszonego. Składa się ona z pasków ołowianych, ułożonych



Rys. 83. PRZESŁONA POTTERA-BUCKYEGO

promieniście; przepuszcza ona promienie pierwotne, które biegną prosto, lecz zatrzymuje te, które idą z boków, a więc wtórne. Wyjaśnia to rys. 83. Przy nieruchomej przesłonie na płycie mielibyśmy oczywiście cienie, toteż przesłonę tę obraca się stale dokoła punktu, w którym się promieniste paski schodzą. Zapewne zostanie ona wkrótce zastosowana i do badania metali.

Najbardziej naturalnym zastosowaniem promieni do badania metali jest poszukiwanie pęcherzy w odlewach (tablica XXVII). Na fotografii ukazują się one jako jasne plamki, gdyż odpowiadające im miejsca są bardziej przezroczyste dla promieni. Im jaśniejsza plama, tym — rzecz jasna — większy

pęcherz i poważniejszy defekt. Sprawność przemysłowa metody wynika z następującego przykładu: w przedmiotach kutech, jak koła lokomotyw, wykrywano pęcherzyki, których grubość nie przekraczała 0,02 — 0,03 grubości całego przedmiotu; przy specjalnych staraniach dokładność była jeszcze większa. Najczęściej spotyka się bąble gazu z gliny czy piasku w formie, albo z pary przy formach mokrych. Na ogół pęcherze te na fotografii mają kształt okrągłych plam, lecz czasem, jeżeli gaz przeciskał się dalej przez metal i wygryzł rurkę jak kornik w drzewie, widzimy na fotografii jakby małą kometę. Jeżeli forma nie była dostatecznie stwardniała, w odlewie mogą się zdarzyć ziarnka piasku, które również ujawniają się na rentgenogramie, jako bardziej przenikliwe dla promieni. Przy odlewach stalowych metal kurczy się i jeżeli nie ma dostatecznego zapasu, mogą się pojawić gąbczaste miejsca, najpospolitsze defekty odlewów, często zupełnie nieszkodliwe.

Najbezpieczniejsze są pęknięcia, gdyż mają one dobrze znaną skłonność do rozszerzania się. Wykrywanie ich przy pomocy promieni na początku przedstawiało trudności, gdyż mogło ono być położone właśnie równoległe do biegu promieni. Rozwiązanie przyniosło tu prześwietlanie przedmiotu w kilku różnych kierunkach. Ale wykrycie pęknięcia to nie koniec jeszcze sprawy: trzeba ustalić jego położenie, a tego nam jeden rentgenogram nie mówi! może się ono znajdować na samej powierzchni, może być głębiej. I tu przychodzi z pomocą powtórzenie zdjęcia z innego stanowiska, bez żadnych zmian poza tym; oba rentgenogramy dają parę zdjęć stereoskopowych, jak już to opisywaliśmy na str. 222.

Zbyt często bezpieczeństwo ludzkie zależy od dobrego spawania czy nitowania, aby lekceważyć jakąkolwiek metodę kontroli tych czynności. Jedyna metoda (poza magnetyczną) w chwili obecnej znana i nie niszcząca badanego przedmiotu to rentgenogram. Miejsca złego spojenia ujawniają się, gdy wy-

trzymałość miejsca wadliwego spojenia wynosi mniej niż 80% wytrzymałości płyty niespojonej, a jeżeli wynosi mniej niż 90%, rentgenogram już nasuwa podejrzenia. Przed kilku laty załamał się ściągacz na jednym z dworców kolejowych w Londynie i wielka część dachu runęła. Okazało się, że przyczyną katastrofy było spojenie na pozór doskonałe; lecz wewnątrz wadliwego miejsca znajdował się kawałek żużla. Rentgenogram wykazałby jego obecność bez zawodu i zapobiegłby wielkim szkodom. Promienie Rentgena wykrywają powstanie naprężeń w próbce metalu, zanim jeszcze krysztalały jego odkształca się w sposób widoczny.

Inny przykład ważnego zastosowania rentgenografii to badanie żelazobetonu. Przy wzmacnianym betonie można badać żelazo i cement oddzielnie, ale skoro blok żelbetowy jest gotowy, promienie Rentgena są jedyną możliwą tu metodą badania. Pozwalają one stwierdzić, czy pręty żelazne są wolne od rdzy i skrzywień, czy beton nie ma pęknięć itd. Badania te są szczególnie ważne przy konstrukcjach morskich, gdyż załamanie się betonu często jest spowodowane przez rdzewienie stali, które wywołuje rozszerzanie się jej. I tu rentgenogram jest jedyną pomocą.

Jeszcze ważniejsza jest kontrola aparatów lotniczych, gdzie najłżejszy defekt w materiale czy montażu może wywołać katastrofę. Metal i drzewo do budowy samolotów są badane we wszystkich stadiach produkcji. Ukryte sęki, kanały od korników, wady włókna, żywica, to główne defekty: łatwo je wykryć przy pomocy promieni. Podobnie ujawniają one błędy w wykonaniu, jak złe spoiny, niejednostajne sklejenie, pęknięcia drzewa od śrub: na nic tu nie zda się ukrywanie partackiej roboty za pomocą kleju albo hebla. Używa się przy tych badaniach gotowych przenośnych kompletów do badania rentgenowskiego, zarówno doraźnego na ekranie fluoryzującym, jak przy pomocy fotografii.

Wspominaliśmy już dwukrotnie o rentgenogramach spektroskopowych: wystarczy do tego wykonać dwie fotografie z dwóch odpowiednio dobranych punktów. Ciekawe jest zastosowanie tej metody do badania próbek węgla. Pojedyncza fotografia przedstawia warstwy minerału jako plamy albo pasy, podczas gdy w stereoskopie obce ciała widzimy jak w rzeczywistości i możemy się zorientować znacznie lepiej. Podobnie postępuje się z żyłami metalowymi w minerałach.

Do dokładniejszego badania zawartości obcych minerałów w węglu postępuje się jeszcze inaczej: sproszkowuje się węgiel i wstrząsa w naczyniu aluminiowym. Ciała mineralne mają skłonność do osadzania się na dole, i prześwietlenie pozwala ocenić rozmiary tego „osadu“.

Przenośny komplet do badania rentgenowskiego aeroplanów pozwala wyobrazić sobie, jak się przyszłość tych badań przedstawia. Nie jest rzeczą nieprawdopodobną, że badanie rentgenowskie stanie się powszednim i obowiązującym zabiegiem we wszelkich wytwórniach przemysłowych, tak jak już to się teraz dzieje w dobrych szpitalach.

3. DALSZY ZASTOSOWANIA

W wielu zagadnieniach przemysłowych mogą być z powodzeniem zastosowane „miększe“ promienie. Np. wszelkie zanieczyszczenia wpływają szkodliwie na zdolności izolacyjne ebonitu, stosowanego teraz powszechnie w aparatach radiowych i elektrycznych. Zanieczyszczenia te wywołują zawsze niejednorodność ebonitu pod względem jego przezroczystości na promienie i mogą być wykryte przez prześwietlenie. Miękkie promienie wystarczą również do badania piłek golfowych składających się z ciężkiego jądra gumowego, na które nawija się paski gumowe. Jeżeli jądro to nie jest dokładnie kuliste, ruch piłki po uderzeniu nie będzie prostoliniowy — ze szkodą dla gry i humoru. Toteż przed wypuszczeniem z poważnej fa-

bryki piłka musi się przetoczyć między rurą rentgenowską a ekranem fluoryzującym. Podobnie bada się opony samochodowe, ale do tego surowiec musi być uprzednio nasycony lekko solami ołowiu.

Przy pomocy fluoryzującego ekranu można badać ślepe naboje z szybkością 20 000 na godzinę, a badanie takie jest bardzo potrzebne, gdyż w produkcji masowej, mimo największych ostrożności, zdarzają się naboje niedostatecznie bezpieczne. Złożone spłonki bada się w tempie od 300 do 1000 na godzinę. Można również bezpiecznie poddać badaniu rentgenowskiemu bomby i pudełka podejrzane o to, że zawierają maszynę piekielną.

Wiele jest jeszcze innych dziedzin przemysłu i handlu, w których prześwietlenie rentgenowskie mogłoby się przydać. W sklepach pewnej wielkiej fabryki obuwia są ustawione aparaty, które każdemu klientowi pozwalają natychmiast zobaczyć położenie swej nogi w mierzonym obuwiu: wystarczy stanąć na specjalnej podstawie i przekręcić wyłącznik. Można odróżniać dzięki prześwietleniu jaja świeże od zepsutych, można badać ser, cygara, szprychy drewniane, piłki do krikietu. Można poznać natychmiast fałszywe diamenty po gęstym cieniu ołowianego szkła, z którego się je robi. Jednym z najwcześniejszych zastosowań promieni było wykrywanie pereł w muszlach. Perły hodowane ukazują przy prześwietlaniu wyraźnie jądro, dokoła którego rosną.

Często promienie Rentgena pozwalają wykryć oszustwo i fałszerstwo przy sprzedaży obrazów. Podrabianie starych mistrzów jest zajęciem bardzo popłatnym i „sztuka“ ta doszła do wielkiej doskonałości. Fałszerz potrafi nawet naśladować pęknięcia farby charakterystyczne dla wielu starych obrazów. Lecz mikroskop i promienie rentgenowskie pozwalają teraz każdemu znawcy nieomylnie rozstrzygnąć sprawę wieku obrazu. Najzdolniejszy imitator nie zdobędzie farb z piętnastego

stulecia, a pod mikroskopem łatwo bez żadnych wątpliwości stwierdzić, że farba jest współczesna. Promienie Rentgena zaostrzyły jeszcze to badanie: niedawno w Holandii odkryto obraz przypisywany przez najlepszych znawców Fransowi Halsowi. Mikroskop stwierdził, że farby były współczesne, a badanie Rentgenowskie, że deska, na której obraz był namalowany, była zbita współczesnymi druciakami, zręcznie pokrytymi przez „stare“ płótno. Metody te są tak nieomyślne, że można uznać, że krytycy, którzy spierają się o to, czy obraz jest fałszykiem — zajmują się nie swymi sprawami: jest to sprawa czysto techniczna, dla rentgenologa i laboranta mikroskopowego. Podobnie ma się rzecz ze starożytnymi meblami.

Na zakończenie opowiemy o pewnym zastosowaniu promieni rentgenowskich w okolicznościach nieco humorystycznych. Przed kilku laty żywo zainteresowano się w Ameryce metodą diagnostyczną „ERA“, co oznaczało „elektryczną reakcję Abrahamsa“. Metoda ta, „wynaleziona“ przez lekarza amerykańskiego tego nazwiska, posługiwała się „skrzynką magiczną“ o tajemniczej zawartości. Lekarze, którzy ją nabywali, zobowiązywali się uroczyście nie zdejmować z niej pieczęci. Diagnostę stawiano łącząc z zaciskami na skrzynce dwa druty biegnące od elektrod przyłożonych do ciała pacjenta. Po pewnych manipulacjach odczytywano na skali pewne wskazania, z których nieomyślnie wyciągano rozpoznanie. Nie brakło oczywiście niedowiarków, niemniej jednak skrzynka miała wielkie powodzenie. Wreszcie jedna z „magicznych skrzynek“ przepłynęła Atlantyk i zawędrowała do pewnego lekarza angielskiego za cenę solennego przyrzeczenia, że z nienaruszonymi pieczęciami wróci do Ameryki. Lekarz dotrzymał słowa — ale po pół godzinie rura rentgenowska przyniosła rozwiązanie — skrzynka zawierała kondensator radiowy i kilka cewek! Do Stanów Zjednoczonych wróciła z całymi pieczęciami, ale ze złamaną karierą!

4. BADANIE BUDOWY KRYSZTALICZNEJ

Promienie Rentgena okazały się stosownym narzędziem do pewnych badań naukowych sięgających niezmiernie głęboko w budowę materii, mianowicie do badania budowy krystalicznej ciał stałych. Żeby zrozumieć istotę tego badania, musimy powiedzieć jeszcze kilka słów o własnościach tych promieni. Wiemy, że różnią się one od światła tylko długością fali, ale ta różnica pociąga za sobą różne inne. Jedną z najważniejszych jest zachowanie się przy odbiciu, które właśnie budziło — jak wspomnieliśmy — wątpliwości co do falowej natury promieni. Jeżeli zwyczajne światło padnie na powierzchnię chropowatą, ulegnie rozproszeniu; jeżeli padnie na powierzchnię polerowaną, jak w zwierciadle, odbije się. Czy powierzchnia jest dostatecznie gładka, zależy od długości fali. Promienie Rentgena mają falę tak krótką (10 000 razy krótszą od fioletowego), że żadna powierzchnia, którą możemy wypolerować, nie będzie dla nich dostatecznie gładka.

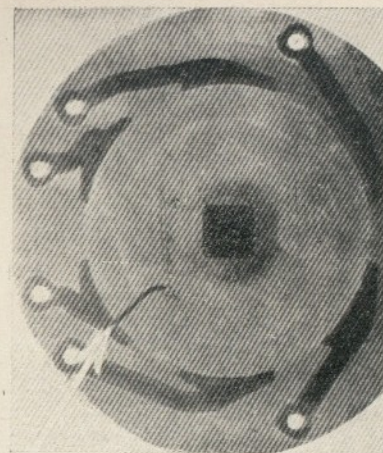
Podobnie jak z odbiciem, jest z załamaniem i ugięciem. Zwykle światło załamuje się w pryzmatach szklanych, ugina się na siatce dyfrakcyjnej, składającej się z pęku bardzo cienkich równoległych linii na powierzchni szybki szklanej. Ugięcie polega na tym, że wąski promień światła białego, natrafiający na siatkę prostopadle do jej płaszczyzny, wychodzi na drugą stronę nie w postaci takiego samego promienia, lecz w postaci wachlarza, który ma w środku biały promień, a w równych odstępach po jego stronach ukazują się prążki kolorowe. Szerokość ich i odstęp zależy od gęstości linii na siatce.

Dla promieni Rentgena każda siatka tego rodzaju będzie jeszcze zbyt rzadka. Dla zwykłego światła trzeba 650 linii na milimetr. Ponieważ fala rentgenowska jest około 10 000 razy krótsza, musielibyśmy mieć 6 500 000 linii na milimetr! Przyroda okazuje się tu majstrem bardziej precyzyjnym: Max von

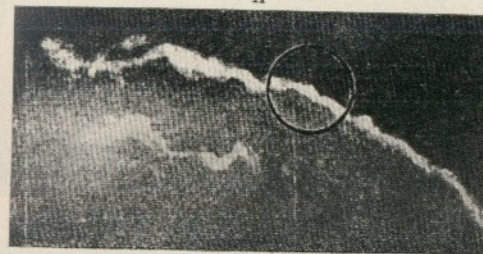
Laue, fizyk niemiecki, dostrzegł, że taką siatkę stanowi układ atomów w kryształach metalu, oczywiście oddzielnie niedostrzegalnych przez żaden możliwy mikroskop. Istotnie, okazało się, że po przejściu przez warstwę ciała krystalicznego promienie Rentgena działają na płytę fotograficzną tak, jak to wypada z rachunku ugięcia. Tylko że siatka krystaliczna jest przestrzenna, podczas gdy zwykła siatka dla fal świetlnych mieści się na powierzchni. Na tabl. XXVII^D widzimy obraz fotograficzny rozkładu promieni po przejściu przez gips: większa część promieni przechodzi bez ugięcia i wytwarza czarną plamę na środku; część natomiast ugina się, tj. zmienia kierunek i wytwarza desen, który widzimy na fotografii.

Za tym dowodem możliwości ugięcia promieni Rentgena nastąpił dowód, że regularne warstwy atomów w kryształach mogą być „zwierciadłami rentgenowskimi“, tj. że mogą odbijać te promienie. Ponieważ z odległości prążków ugiętego światła umiemy obliczyć długość jego fali, jeżeli znamy jeszcze odstęp dwóch linii siatki, więc znając odległość atomów w siatce krystalicznej potrafimy obliczyć długość fali rentgenowskiej i na odwrót. Mamy to więc drogę do badania budowy krystalicznej materii. Wielkie zasługi położyli tu Braggowie, ojciec i syn, którzy otrzymali nagrodę Nobla w roku 1915. Kryształy zdradziły nam istotę promieni Rentgena, a te zemściły się wydaniami budowy kryształów.

Wspomnimy jeszcze o pewnym prostym zastosowaniu tych badań. Jeżeli ogrzewać drut żelazny — np. prądem elektrycznym — wydłuża się on, dopóki temperatura nie podniesie się do 900° C. W tym miejscu nagle rozszerzanie przerywa się, a nawet następuje nieznaczne skurczenie, żeby ustąpić po chwili miejsca dalszemu rozszerzaniu się. Badanie promieniami Rentgena wykazuje, że atomy w kryształach układają się ciaśniej powyżej owej krytycznej temperatury. Jest więc rzeczą jasną, że dziwne zachowanie się żelaza jest związane z prze-

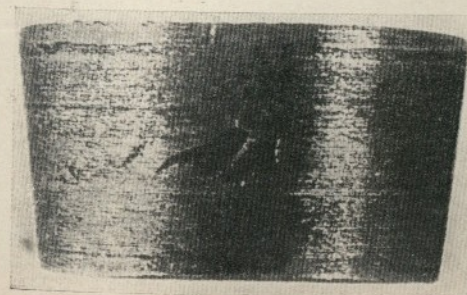


A

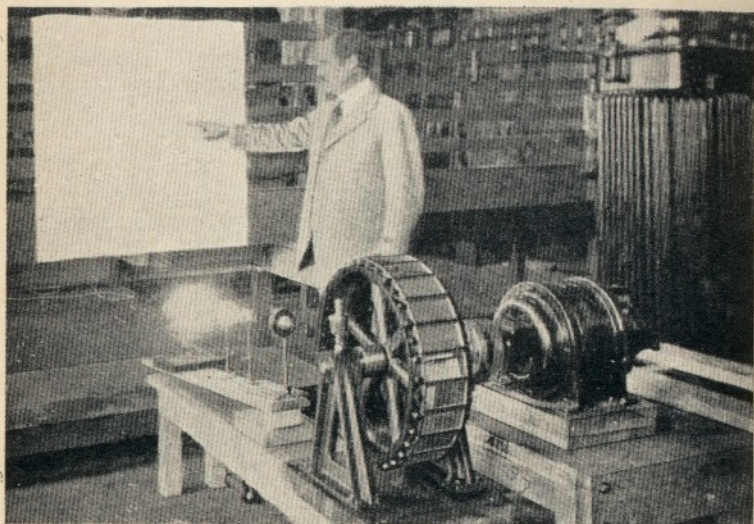


B

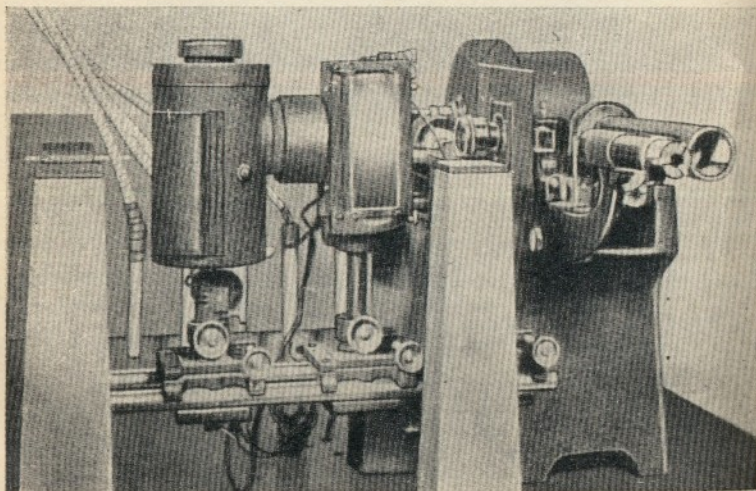
A, B. RENTGENOGRAMY ODLEWÓW Z WIDOCZNYMI DEFECTAMI



C. ZWYKŁA FOTOGRAFIA WTYCZKI B PRZECIĘTEJ W PUNKCIE OZNACZONYM KÓŁKIEM; WIDAC SKAZĘ WPROST



A. RZUTNIK TELEWIZYJNY ALEXANDERSONA
Rzutuje on jednocześnie siedem plam świetlnych obiegających ekran



B. NADAJNIK FOTOTELEGRAFICZNY IVESA (AMERICAN TELEGRAPH AND TELEPHONE COMPANY)

grupowaniem atomów, z przebudową stanu krystalicznego przy przejściu do wysokich temperatur.

Z razu wydaje się rzeczą dziwną, że metale są zbudowane z kryształów, podobnie jak cukier czy sól kuchenna. Tymczasem ciągliwość, twardość, kowalność i inne dobrze znane własności metali są właśnie następstwami ich budowy krystalicznej. Np. własności stali zależą przede wszystkim od budowy i wielkości kryształów żelaza i węgla, które się na stal składają. Badanie rentgenowskie stopów jest już obecnie szeroko stosowane w metalurgii i stanie się zapewne wkrótce niezodzownym narzędziem w każdej hucie, topielni i rafinerii. Tą metodą w połączeniu z tzw. spektrometrem udało się wykryć różne postaci żelaza (znane pod nazwą alfa, beta, gama) i nawet opracować sposób, który pozwala wyznaczyć zawartość każdej z tych odmian w danej próbce.

ROZDZIAŁ XII

ELEKTRYCZNOŚĆ PRZENOSI OBRAZY

1. CUDOWNA KOMÓRKA

Już w roku 1847 próbowano przesyłania rysunków i pisma za pomocą elektryczności. System opata Caselliego był w użyciu między Paryżem i Amiens przez kilka lat od roku 1862. W roku 1873 Edison wynalazł system ulepszony, w którym litery przesyłanego wyrazu były utworzone z dziurek wybitych w taśmie, a odbierane były na papierze przesyconym pewnymi chemikaliami. Wczesne te próby rozwinęły się w teleautograf, który przesyła na odległość kopię pisma albo rysunku czarno-białego, i fototelegraf, który przynosi obrazy z walorami pośrednimi, tzw. „półtonami“. Pomimo długotrwałej pracy nad ulepszeniem pierwszych prób, dopiero w ostatnich czasach doszliśmy do rozwiązania o wartości handlowej. Stało się to dzięki wielkim postępom w wiernym przesyłaniu elektrycznych sygnałów i dzięki pewnym specjalnym wynalazkom, jak komórka fotoelektryczna, lampa katodowa, operowanie prądami nośnymi i filtr elektryczny.

Ażeby przesłać rysunek przy pomocy elektryczności, trzeba najpierw przetłumaczyć go na impulsy elektryczne, a potem przełożyć je z powrotem na obraz pierwotny. Rzecz jasna, że pojedynczy impuls nie może przenieść całego obrazu. Z częściowych impulsów odpowiadających małym wycinkom obrazu składa się obraz całkowity.

Przekształcanie światła na elektryczność wywodzi się jeszcze z odkrycia znakomitego chemika szwedzkiego J. J. Berzeliusa.

W roku 1817 odkrył on pierwiastek, który nazwał potem „selenem“ od greckiej nazwy księżyca. Nazwa ta tłumaczy się tym, że pierwszy raz zetknął się Berzelius z tym ciałem jako z brązowym osadem w przyrządzonym świeżo kwasie siarkowym i wziął je mylnie za niedawno odkryty „telur“, („tellur“ — po łacinie ziemia); kiedy się błąd wydał, rzekome pokrewieństwo pierwiastków podsunęło mu nazwę. Po dokładniejszym badaniu ciężaru, punktu topnienia i wrzenia okazało się, że selen jest blisko spokrewniony z siarką.

Selen otrzymuje się zwykle z pyłu, który osadza się w paleńskach i przelotach instalacji do wytwarzania kwasu siarkowego z pirytów selenonośnych. Pył ten nie jest bynajmniej czysty, dopiero po przegotowaniu z rozcieńczonym kwasem siarkowym, potem z kwasem solnym, wreszcie po potraktowaniu dwutlenkiem siarki otrzymuje się selen handlowy. Istnieje on w trzech postaciach. Pierwsza, tzw. selen płynny topnieje stopniowo od 60 do 222^o, ale już przy 60^o jest zupełnie miękki. Druga to bezkształtny, wytrącony czerwony selen. Wreszcie trzecia, selen szary krystaliczny albo półmetaliczny otrzymuje się przez powolne ochłodzenie stopionego selenu i ona nas tu interesuje.

W roku 1873 Willoughby Smith⁵⁹ (który później współdziałał przy zakładaniu kabla transatlantyckiego) odkrył, że selen jest bardzo czuły na światło. Że selen jest słabym przewodnikiem elektryczności, wiadano od dawna i używano go na podmorskiej stacji kablowej (na wyspie Valentia), gdy potrzebny był wysoki opór. Lecz okazało się, że opór ten nie jest stały, a mianowicie zależy od natężenia padającego nań światła. Inaczej niż inne substancje światłoczułe, np. sole srebrne w emulsjach fotograficznych, wraca on do stanu pierwotnego po naświetleniu, a więc nie zachodzą w nim żadne trwałe zmiany. Rzecz jasna, że wobec tego selen daje nam sposób na zamianę tętniącego promienia świetlnego na tętniący

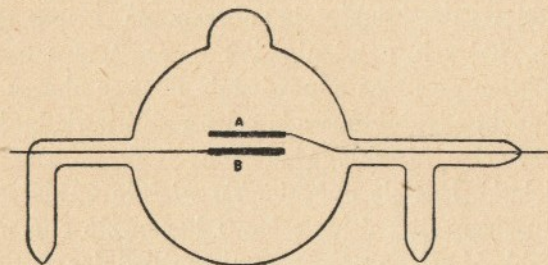
prąd. Jeżeli mianowicie do obwodu baterii selen jest włączony szeregowo i będzie nań padał promień światła, zmiany natężenia prądu będą niemal proporcjonalne do zmian natężenia światła.

Zastosowanie selenu do przesyłania rysunków wymaga przede wszystkim przekształcenia obrazu na szereg sygnałów świetlnych, których natężenie jest w prostym stosunku do światła odbijanego przez odpowiednie miejsce obrazu. Tu daje się we znaki zasadnicza wada selenu — bezwładność, która sprawia, że selen nie odpowiada natychmiastową zmianą na zmianę światła, lecz się opóźnia. To właśnie opóźnienie było powodem rezygnacji z usług selenu: hamowało ono w sposób fatalny szybkość całego procesu, uniemożliwiając zastosowanie handlowe.

Lecz w ostatnich latach wynaleziono znakomity zastępnik selenu, komórkę fotoelektryczną, przyrząd o zdumiewającej czułości i szybkości działania, którym się posługujemy w dokładnie ten sam sposób. Czułość jej wystarczy, żeby zareagować na błysk trwający jedną milionową sekundy, działa już na nią światło zwykłej świecy z odległości 3 km, a odpowiada na światło gwiazd, niedostrzegalnych okiem przez najsilniejszy teleskop. Podstawę jej działania odkrył już Henryk Hertz w czasie swej pracy nad falami elektromagnetycznymi. Zauważył on, że iskra elektryczna przebiega w jego rezonatorze znacznie łatwiej, gdy biegun ujemny jest oświetlony przez inną iskrę elektryczną. Potem okazało się, że jeżeli biegun ten wykonać z odpowiedniego materiału, wystarczy zwykle światło do uczulenia rezonatora.

Na rys. 84 widzimy schemat budowy współczesnej komórki fotoelektrycznej: odpowiedniki biegunów rezonatora Hertza, A i B, są wtopione do kuli szklanej, pozbawionej powietrza i posrebrzonej od wewnątrz. Na warstwie srebra znajduje się fotokatoda — cieniutka warstwa potasu, sodu, cezu albo rubi-

du, najlepiej tu działających ciał. Biegun B jest połączony z dodatnim biegunem baterii, biegun A przez fotokatodę z ujemnym biegunem baterii. Gdy komórka zostaje naświetlona, fotokatoda wydziela elektrony, które wywołują prąd mię-



Rys. 84. PROSTA KOMÓRKA FOTOELEKTRYCZNA
B—biegun dodatni, A—ujemny. A jest połączony z warstwą np. potasu na srebrze wydzielającą elektrony pod działaniem światła. Elektrony te pędzone przez napięcie między A i B wywołują prąd między A i B, proporcjonalny do natężenia światła.

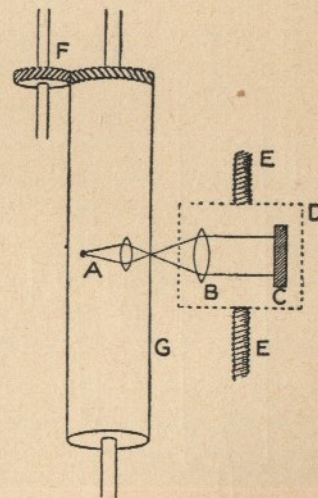
dzy A i B, proporcjonalny do natężenia światła. Brak bezwładności i większą pewność działania musi komórka opłacić ograniczeniem siły przepuszczanych prądów, ale temu złu łatwo zaradzić stosując wzmacniacze lampowe jak w aparatach radiowych.

2. SYSTEM RANGERA

W roku 1904 fizyk niemiecki Artur Korn skonstruował dowcipne połączenie komórek selenowych z różnymi innymi przyrządami, które z pewnymi zmianami służyło w latach 1907 — 1908 pewnemu pismu londyńskiemu do otrzymywania na drodze telegraficznej ilustracji z Paryża. System ten został ulepszony przez kapitana R. Rangera⁶⁰ z amerykańskiej Radio Corporation⁶¹, która potem we współpracy z towarzystwem Marconiego, American Telephone Company i Western Electric Company doprowadziła go do wysokiej doskonałości.

Zasadę systemu Rangera ilustruje rys. 85, przedstawiający urządzenie, za którego pomocą przesłano w roku 1924 podobiznę księciu Walii (tabl. XXIX^B) ze stacji Marconiego w Carnarvon do Nowego Jorku.

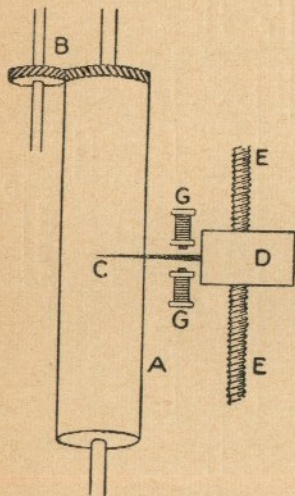
Przezroczysty pozytywny przesyłanego obrazu umieszcza się na szklanym walcu G. Wewnątrz walca znajduje się źródło światła, z którego wychodzi wiązka promieni, zbiegająca się w jednym punkcie na powierzchni walca, a więc w jednym punkcie obrazu. Po przejściu przez obraz promień wchodzi do skrzynki D, osadzonej na nagwintowanym pręcie E i przez soczewkę B pada na komórkę fotoelektryczną C. Silnik elektryczny za pośrednictwem trybów F obraca walec, zmieniając co pół obrotu jego kierunek, tak że walec wykonywa wahania. Przy każdej zmianie obrotu skrzynka z komórką posuwa się w górę o pewien stały i drobny odcinek wzdłuż nagwintowanego pręta, dzięki jego obrotowi. Wraz z nią posuwa się tak samo źródło światła. Rzecz jasna, że punkt świetlny ze źródła A obiegnie w ten sposób po pewnym czasie cały obraz. Natężenie światła padającego na komórkę jest tym mniejsze, im gęstsze dane miejsce obrazu; zatem prąd w obwodzie, do którego komórka jest włączona szeregowo, będzie tym mniejszy, im gęstsze dane miejsce obrazu. Prąd ten jest zbyt słaby, by go bezpośrednio przesyłać, stosuje się wzmacniacz. Aparat odbiorczy ma teraz za zadanie uporządkować we właściwy sposób otrzy-



Rys. 85. ODBIORNIK FOTO-TELEGRAFICZNY SYSTEMU RANGERA

mane sygnały elektryczne i zbudować z nich pierwotny rysunek.

Schemat odbiornika widzimy na rys. 86. Walcowi nadajnika odpowiada podobny walec A, na którym umocowano arkusz zwykłego papieru. Walec ten porusza się takim samym ruchem wahadłowym, jak walec nadajnika na rys. 85. Pióro ze zbiornikiem atramentu, specjalnie skonstruowane i prowadzone przy pomocy karetki D, naciska na walec. Karetki ta wykonywa za każdą zmianą kierunku obrotu walca skok w górę, znowu podobnie jak jej odpowiednik, tj. skrzynka z fotokomórką w nadajniku.



Rys. 86. ODBIORNIK FOTOTELEGRAFICZNY SYSTEMU RANGERA

będą się w każdej chwili znajdowały w tych samych miejscach rysunku. Natężenie plamy atramentowej, odpowiadające gęstości w danym miejscu obrazu pierwotnego, zmieniają drgania końca pióra, wywołane przez dwa elektromagnesy G umocowane na karetkce. Im silniejszy impuls, tym silniejsze drgania, tym gęstsza plama. W rezultacie powstaje obraz, w którym stosunek czerni w różnych miejscach jest taki sam, jak w obrazie pierwotnym: otrzymujemy zatem jego kopię.

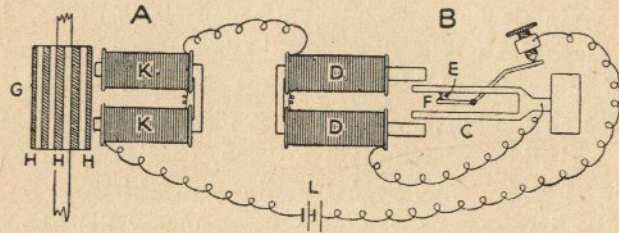
Obsługa przyrządu widzi rysunek w czasie jego powstawania tak, jak gdyby patrzyła przez ramię rysownika. W razie niedokładności, może natychmiast zabrać się do regulacji przyrządu.

Inna metoda zamiany sygnałów elektrycznych na widoczne znaki opiera się na wspomnianym pomysłe Edisona, który przesyłał papier odbiornika chemikaliami czerniejącymi pod działaniem prądu. Odbiornik jest urządzony zasadniczo tak, jak przed chwilą opisywaliśmy, tylko pióro zastępuje igła metalowa z cienkim platynowym końcem. Ciśnienie jej na papier nie ulega zmianie. Sygnał prądowy przebiega przez igłę, jej koniec i wraca przez papier, przewodzący dzięki przesycaeniu cieczą we wspomniany sposób wrażliwą na prąd elektryczny. Zaczernienie jest większe, gdy prąd jest większy, a więc igła pozostawia za sobą ślad barwny o różnej gęstości, z którego stopniowo tworzy się obraz.

Wszystkie te metody mają wspólny a poważny defekt: dają obrazy z widocznym, rażącym ziarnem. Jednak system Rangera wystarcza, gdy idzie o ilustracje do dzienników, a system drugi, Thorne-Bakera, jest używany mimo wszystko, gdyż prostota jego okupuje niedoskonałość obrazu.

We wszystkich systemach przesyłania obrazu jest rzeczą pierwszorzędną wagi, żeby oba walce, nadajnika i odbiornika, zaczęły się poruszać w tym samym momencie i żeby utrzymywały stale i ściśle tę samą szybkość obrotową. Nawet bardzo drobne odstępstwa dają natychmiast zniekształcenie rysunku. Prócz tego muszą być oczywiście w tym samym stopniu zgodne ruchy karetki z fotokomórką i karetki z piórem. W systemie Rangera uzyskuje się tę zgodność przez zastosowanie specjalnych silników elektrycznych w połączeniu z odpowiednim urządzeniem złożonym z przerywacza kamertonowego i „bębna fonicznego“, obmyślonym przez lorda Rayleigha.

Urządzenie to zapewnia, że dwa wałki w dwóch różnych miejscach będą się obracały ze stałymi i tym samymi szybkościami. W systemie Rangera (rys. 87) składa się ono, według pomysłu Mihalyego, jak już powiedzieliśmy, z „bębna fonicznego“ (G) i z przerywacza kamertonowego (B). Kamerton jest sztywno umocowany, a namagnetyzowane końce jego nóżek znajdują się między biegunami elektromagnesu D. Na jednej z nich znajduje się kontakt E, który normalnie styka się ze stałym ramieniem w punkcie F; położenie tego ramienia można regulować przy pomocy śruby wskazanej na rysunku. „Bęben foniczny“ składa się z wydrążonego i zamkniętego walca z jakiegoś niemagnetycznego materiału osadzonego na osi. Często walec ten wypełnia się do połowy rtęcią, żeby zwiększyć jego bezwładność i uczynić ruch bardziej jednostajnym. Na powierzchni tego walca, wzdłuż jego tworzących, w równych odstępach znajdują się miękkie żelazne pręty H. Przechodzą one przed elektromagnesami K, które je kolejno przyciągają.



Rys. 87. BĘBEN FONICZNY I PRZERYWACZ WIDELKOWY DO SYNCHRONIZACJI W SYSTEMIE RANGERA (WG MIHALYEGO).

Prąd biegnie z baterii L przez śrubę regulacyjną i styk na nóżce kamertonu, wychodzi przez jego podstawę i elektromagnes D, przechodzi następnie przez cewki magnesów K, żeby wrócić do baterii.

Prąd zaczyna płynąć, magnes D przyciąga namagneso-

waną nóżkę kamertonu, styk w E i F przerywa się; wtedy prąd przestaje płynąć, sprężysta nóżka wraca do pierwotnego położenia i prąd znów się pojawia. Widzimy tu przebieg okresowy bardzo podobny do dzwonka elektrycznego. Różnica jednakże jest ta, że widełki kamertonu mogą drgać tylko z właściwą sobie częstotliwością i wskutek tego okres drgań prądu jest bardzo dokładnie uregulowany. Za każdą pulsacją prądu włączone w obwód magnesy K przyciągają najbliższy pręt na bębnie G i obracają go w ten sposób skokami, ale stałą liczbę razy na sekundę. Jeżeli dwa kamertony są dokładnie zestrojone, a znajdują się na dwóch różnych stacjach, zapewnią obrót obu swych walców z tymi samymi szybkościami.

W układzie Mihalyego walce obracają się pięć razy na sekundę i regulują z kolei ruchy tych walców, na których znajdują się obraz i papier. Te same silniki, które obracają walce, posuwają karetki z fotokomórką czy piórem, co zapewnia całkowitą zgodność. Wykonanie wszystkich tych urządzeń, szczególnie gwintowanie osi karetki, wymaga wielkiej precyzji. W pewnych systemach walec odbiornika obraca się nieco szybciej niż w nadajniku. Zatrzymuje się po każdym obrocie albo po półobrocie (zależnie od systemu) i podejmuje ruch, gdy walec nadajnika zaczyna właśnie ruch powrotny.

Inna znów metoda zamiast z kamertonów korzysta z wahadeł, również uzgodnionych z sobą. System ten daje doskonałe wyniki, ale nie jest tak dokładny jak zastosowany przez Thorne Bakera niedawno w próbach między Londynem a Manchesterem; w tym urządzeniu oba walce zatrzymują się z końcem każdego obrotu i zaczynają ponowny ruch, gdy je włączają przekaźniki magnetyczne znajdujące się na obu stacjach, ale włączone szeregowo w ten sam obwód elektryczny, przerywany i zamykany przez jedno tylko wahadło.

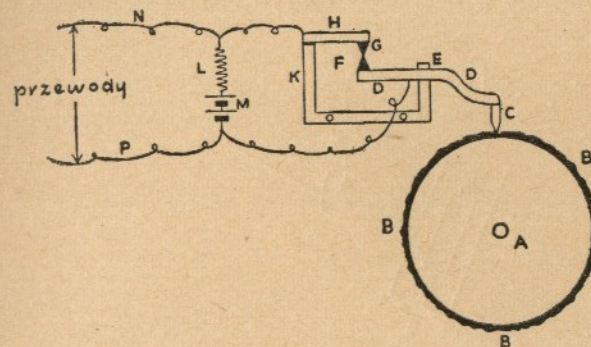
Zobaczymy później, że współczesne metody synchronizacji są tak ściśle i skuteczne, że gołym okiem nie sposób odróżnić przesłanej kopii od oryginału.

3. SYSTEM BELINA

Opiszemy teraz system kopiowania telegraficznego Edwar-
da Belina⁶², sławnego wynalazcy francuskiego, który go wpro-
wadził w roku 1920. Nie korzysta on z przezroczystego obrazu
na walcu, lecz stosuje relief, w którym czarnym miejscom od-
powiadają wypukłości, a białym wklęsnięcia, przy czym po-
średnie odcienie oddaje się również przez pośrednie wysokości.
Relief ten otrzymuje się w prosty sposób przez zastosowanie
znanego od dawna w fotografice „sposobu węglowego“, przy
którym obraz z negatywu kopiuje się na papier przesycony
dwuchromianem potasu, który pod wpływem światła staje się
nierozpuszczalny w wodzie. Po naświetleniu w zwykły sposób
wywołuje się go w ciepłej wodzie, przy czym w pewnych miej-
scach emulsji rozpuszcza się więcej żelatyny, w innych mniej.
Gdy idzie o przesłanie rysunku piórkem, autografu, albo
w ogóle jakiegoś obrazu bez półtonów, można obraz wypukły
otrzymać w inny sposób. Rysuje się go specjalnym atramen-
tem i posypuje się specjalnym proszkiem, gdy jeszcze jest mo-
kry. Proszek zdmuchuje się z miejsc pozbawionych atramen-
tu, obraz idzie do pieca i „piecze się“, po czym powstaje obraz
wypukły, emaliowany.

Ten obraz wypukły umieszcza się w zwykły sposób na wal-
cu. Na rys. 88 widzimy przekrój aparatury: A to walec, na
którym znajduje się relief B. Rylec C jest umocowany do
dźwigni D, obracającej się dokoła czopa E i opatrzonej na dru-
gim swym ramieniu stykiem elektrycznym F. Gdy walec obra-
ca się, rylec podnosi się i opuszcza na wypukłościach i zagłę-
bieniach rysunku, wywołując przerwanie albo włączenie prą-
du przez styk F i G.

Opiszemy jeszcze przebieg prądu: styk F, G nie jest włą-
czony szeregowo w linię biegnącą do stacji odbiorczej, lecz
mamy dwa obwody równoległe. Jeden biegnie przez H, wyso-
ki opór L i baterię M, zamykając się przez dźwignię D. Dru-



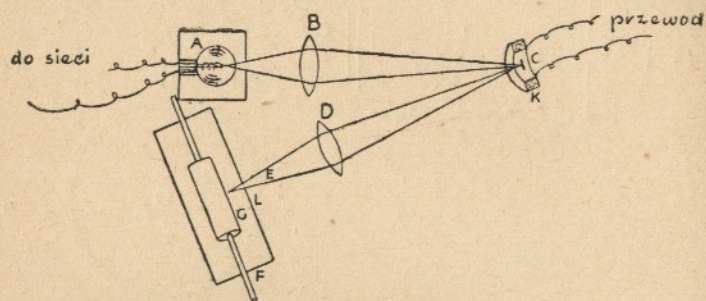
Rys. 88. SCHEMAT NADAJNIKA TELEAUTOGRAFICZNEGO SYSTEMU BELINA

gi przez N, P i odbiornik wraca do baterii. L jest oporem tak wielkim, że bateria daje ten sam niemal prąd, niezależnie od tego, czy styk F, G jest przerwany czy zamknięty. Tylko, gdy jest on przerwany, prąd biegnie oczywiście w całości na linię NP, natomiast gdy jest zamknięty, biegnie w całości przez F, G omijając całkowicie niemal linię, która ma opór bez porównania większy niż odcinek miejscowy. W ten sposób, jak widzimy, prąd biegnie na linię wtedy tylko, gdy rylec jest na wysokim miejscu reliefu, a więc na miejscu odpowiadającym czerni oryginału.

Metoda ta pozwala oczywiście uzyskać tylko czerń albo biel, bez tonów pośrednich, gdyż prąd przesyłany ma tylko dwie możliwe wartości, bardzo dużą i bardzo małą. Belin ulepszył swe urządzenie tak, że natężenie prądu zmienia się w miarę podnoszenia i opuszczania rylca, a więc tak, że można oddawać tony pośrednie. Karetka K i walec w urządzeniu nadaw-

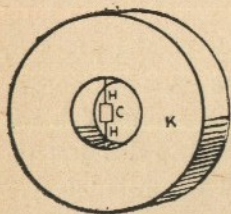
czym poruszają się tak, jak w systemie Rangera; walec obraca się tylko, karetką posuwa się przy każdej zmianie kierunku obrotu.

Odbiornik, przystosowany specjalnie do rysunków bez półtonów, widzimy w schemacie na rys. 89. Promienie ze źródła



Rys. 89. SCHEMAT ODBIORNIKA TELEAUTOGRAFICZNEGO SYSTEMU BELINA

światła A o stałej jasności przechodzą przez soczewkę B, która je skupia na małym zwierciadku C. Od niego odbijają się w kierunku drugiej soczewki D i otworu E, przechodząc przezeń do pudełka F z obracającym się walcem G, na który jest nawinięty papier fotograficzny. Walec ten wykonywa nie tylko ruch obrotowy, ale po każdym obrocie przesuwają się o ten sam mały odcinek.



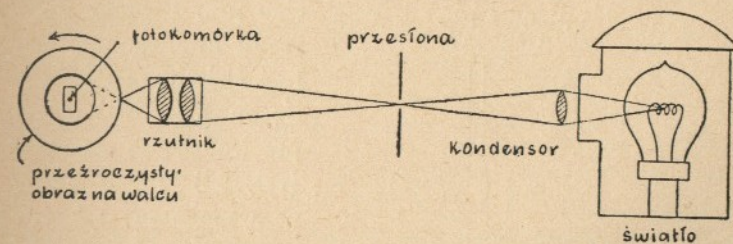
Rys. 90. WENTYL ŚWIETLNY ODBIORNIKA SYSTEMU BELINA (K na rys. 90)

Zwierciadło — klucz całego urządzenia — jest częścią galwanometru, „wentyla świetlnego“, przedstawionego raz jeszcze na rys. 90. Zwierciadło C jest zawieszona na nitkach jedwabnych H w środku cewki z izolowanego drutu. Dźwiga ono z tyłu małe stalowy magnes stały przymocowany do niego kroplą laku. Gdy prąd przebiega przez cewkę, magnes unosząc z so-

bą zwierciadło obraca się zależnie od siły prądu. Wskutek tego promień odbity od niego zmienia kierunek i nie wpada już do otworu E pudełka, lecz gdzie indziej, na jego osłonę. Widzimy, że różne miejsca na papierze światłoczułym G będą naświetlone albo nie, zależnie od tego, czy znajdowały się na wprost otworu E w chwili, gdy prąd biegł przez cewkę K czy nie. Mamy więc kopię czarno-białą.

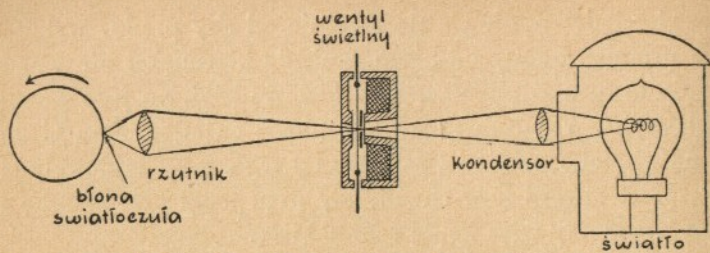
4. SYSTEM AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH COMPANY

Jeden z ostatnich systemów wyszedł z pracowni Bell Telephone i American Telegraph and Telephone Company, a zo-



Rys. 91. SCHEMAT NADAJNIKA FOTOTELEGRAFICZNEGO SYSTEMU IVESA.

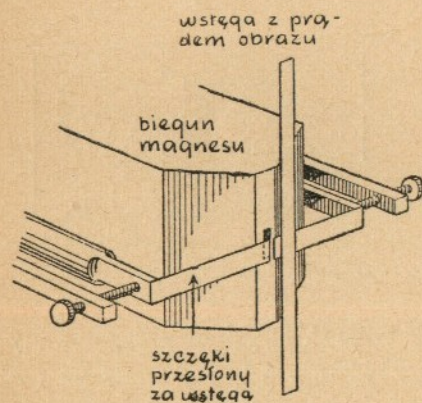
stał opracowany przez H. E. Ivesa⁶³. Oryginał przygotowany jako pozytywny na filmie (rys. 91 i 93) jest umieszczony na powierzchni walca, który obraca się posuwając się jednocześnie wzdłuż śruby dzięki karetkce, na której jest osadzony. Mała plamka świetlna rzucana na film przebiega go zatem wzdłuż linii śrubowej, a przy tym natężenie światła, które przeszło na drugą stronę filmu, zależy od gęstości danego miejsca filmu. Promień świetlny po przejściu przez film trafia na fotokomórkę (rys. 84) umieszczoną wewnątrz walca na jego osi. Wysyła ona zatem prąd zależny od natężenia padającego światła, a więc od stopnia zaczernienia danego miejsca filmu. Załóżmy na razie, że prąd wytworzony w komórce wystarczy do przesła-



Rys. 93. SCHEMAT ODBIORNIKA FOTOTELEGRAFICZNEGO SYSTEMU IVESA

nia sygnału i że linia może przewodzić prąd stały. Wtedy impuls prądowy przejdzie do stacji odbiorczej, gdzie go przekształcamy na światło i cień przy pomocy przyrządu zwanego „wentylem świetlnym“.

Składa się on z wąskiej wstęgi przewodzącego metalu (rys. 92) przed biegunem magnesu; zakrywa on w normalnym położeniu całkowicie pewien otwór, przez który biegnie promień światła. Gdy przepływa przez nią prąd, odchyła się ona, zależnie od jego natężenia, dzięki oddzia-



Rys. 92. WENTYL ŚWIETLNY SYSTEMU IVESA

ływaniu magnesu na prąd i odsłania otwór mniej albo więcej, przepuszczając mniej albo więcej światła przezeń skierowanego. Światło to pada potem na błonę fotograficzną nawiniętą na walec obracający się i posuwający synchronicznie z walcem nadajnika. Mamy tu więc transmisję obrazu z włączeniem półtonów.

Opisaliśmy to urządzenie w najgrubszych zarysach, lecz wymaga ono pewnych uzupełnień i zmian, zanim się da wprowadzić na przewodach elektrycznych zbudowanych do innych celów. Zostało ono specjalnie przystosowane do użycia na liniach telefonicznych w nadziei, że będzie mogło przejść do powszechnego użytku. Istotnie, dokładne rozważenie każe mu przyznać pierwszeństwo w porównaniu z innymi, głównie ze względu na stałość działania i odporność na zakłócenia.

Zwykle dalekosiężne linie telefoniczne nie są przystosowane do przesyłania ani prądów stałych, ani prądów niskiej częstotliwości. Nie można więc przesyłać wprost prądów powstałych w fotokomórcie, tym bardziej, że są niezmiernie słabe w porównaniu ze zwykłymi telefonicznymi. Poddaje się więc najprzód prądy te wzmocnieniu, a potem stosuje do modulowania prądu nośnego o częstotliwości około 1300 na sekundę. Prąd przesłany jest więc tego samego rodzaju co zwykły prąd rozmowy telefonicznej, jeżeli idzie o częstotliwość i amplitudę. Gdy prąd nośny o amplitudzie zmodulowanej przez światła i cienie oryginału przebywa wstęgą w wentylu świetlnym odbiornika, zachodzi również modulacja drgań tej wstęgi, a więc i drgań jasności promienia świetlnego przechodzącego przez otwór. Gdyby modulacji nie było, powierzchnia filmu byłaby jednostajnie pokryta malutkimi obrazami otworu rury świetlnej, a więc oglądana z daleka byłaby jednostajnie szara. Lecz modulacja wywołuje zmiany w jednostajności tego pokrycia, dając jaśniejszy obraz otworu w jednych, ciemniejszy w innych miejscach. Z tych jaśniejszych i ciemniejszych plam składa się wreszcie odebrany obraz. Lecz na powiększeniu (tabl. XXIX^A) widać wyraźnie „atomy“ tego obrazu: fotografie otworka.

Synchronizacja, która tu tak samo jest pierwszym warunkiem działania, jest osiągnięta w systemie Ivesa również przez

zastosowanie widełek strojowych, ale tylko w jednym egzemplarzu na stacji nadawczej, zamiast dwóch. Stosowaniu dwóch widełek staje wciąż na przeszkodzie odstrajanie się ich na skutek zmiany temperatury i ciśnienia; a wystarczą najłabsze zmiany, żeby wykrzywić obraz. Przerwy prądowe wywołane przez przerywacz kamertonowy (jak na schemacie rys. 87) powodują przesuwanie się bębna fonicznego jak w systemie Rangera.

Nie wspominaliśmy jednak jeszcze o pewnym ważnym tu zagadnieniu: jak przesyłać jednocześnie impulsy regulujące kamertonów i prąd nośny przekazujący sygnały świetlne. Można by naturalnie zastosować po prostu dwa obwody. Wtedy sprawa miałaby przebieg jak na rys. 94, gdzie górna krzywa



Rys. 94. PRĄD PRZENOSZĄCY OBRAZ I PRĄD SYNCHRONIZUJĄCY W FOTOTELEGRAFII

przedstawia przebieg natężenia prądu niosącego sygnał świetlny w czasie dwóch kolejnych obrotów walca, a dolna — przebieg natężenia prądu synchronizującego modulowanego przez impulsy widełek. Lecz ponieważ stosowanie dwóch oddzielnych linii wykracza przeciw wszelkim zasadom oszczędności, stosuje się jeden tylko obwód, ale dwie fale nośne: jedną o wyższej częstotliwości — około 1300 na sekundę — dla sygnałów świetlnych, drugą — dla impulsów synchronizujących — około 400 drgań na sekundę. Obie te częstości doskonale przewodzi dobry obwód telefoniczny. Obie te fale prądowe biegają

przez kabel zmieszane z sobą w jeden prąd powstający z ich złożenia, żeby na stacji odbiorczej rozdzielić się ponownie przechodząc przez filtry elektryczne (str. 109), z których każdy przepuszcza jedną tylko częstotliwość.

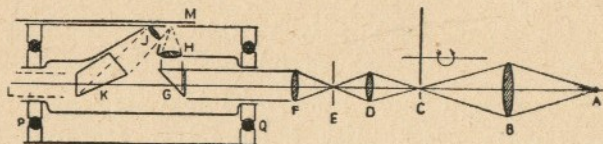
Sama metoda przesyłania i odbierania obrazu nadaje mu pewną strukturę wynikającą ze złożenia go z drobnutkich plamek. Jakość obrazu zależy silnie od ich rozmiarów: w tym kierunku American Telegraph and Telephone Company zrobiła bardzo wiele, kopie trudno by odróżnić od oryginałów i można ich używać jak zwykłych odbitek fotograficznych do reprodukcji w dziennikach za pomocą siatki, osiągając dobre półtony. Można nawet przysyłać fotografie kolorowe metodą trójbarwną przekazując kolejno trzy czarno-białe pozytywy odpowiadające składnikom czerwonemu, niebieskiemu i żółtemu. Po zabarwieniu trzech wykonanych z nich klisz, nadrukowując je w zwykły sposób na siebie otrzymujemy kopie w barwach naturalnych.

Na przekazanie obrazu 13 na 18 cm trzeba około 7 minut, co stanowi stosunkowo niewielką część czasu potrzebnego do wykonania samego zdjęcia w postaci gotowej, suchej odbitki. Jeżeli jednak skrócić wszystkie czynności fotograficzne, tj. skopiować jeszcze mokry negatyw i do aparatu nadawczego włożyć mokry pozytyw, cały proces wymaga zaledwie trzech kwadransów.

System, któryśmy opisywali, jest już obecnie w codziennym użyciu między ośmioma miastami Ameryki północnej i ruch na tych liniach coraz bardziej rośnie. Jednakże okazało się, że urządzenie to wymaga jeszcze wielu zmian i w ciągu lat najbliższych należy się spodziewać gruntownych zmian w kierunku uproszczenia i potania aparatury oraz przystosowania ich do pospolitych przewodów telefonicznych zamiast wysokogatunkowych. Poza tym konieczne jest powiększenie rozmiarów nadawanych obrazów i szybkości nadawania.

5. SYSTEM MARCONIEGO-WRIGHTA⁶⁴

Najpóźniejszy pomysł w dziedzinie fototelegrafii widzimy na schemacie rys. 95. Został on zademonstrowany w roku 1929. A jest źródłem światła, zwykłą żarówką, której światło skupione przez kondensator B pada w postaci plamy na powierzchni krążka przesłonowego wirującego z szybkością 5000 obrotów na minutę. Średnica krążka wynosi 35 cm, a wzdłuż jego



Rys. 95. UKŁAD OPTYCZNY NADAJNIKA FOTOTELEGRAFICZNEGO MARCONI-WRIGHTA

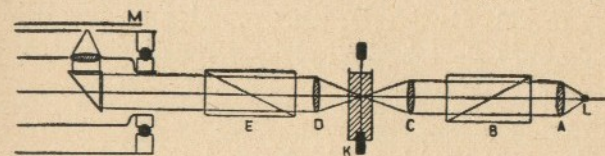
obwodu w równych odstępach biegną 144 okrągłe otwory. Krążek ten znajduje się w osłonie żelaznej, która zmniejsza opór powietrza i hałas. Przy obrocie krążka otwory jego przechodzą kolejno przez drogę promienia.

Na drugą stronę krążka przechodzi już tylko promień przerywany ($144 \cdot 5000 = 720\,000$ razy na minutę czyli 12 000 razy na sekundę!), przez soczewkę D skupiony na malutkim otworze E. Po przebyciu tego otworu, przez soczewkę F, w której ognisku jest E, zostaje zamieniony na pęk promieni równoległych i biegnie wzdłuż wydrążonej osi silnika, o którym powiemy za chwilę. Potem pryzmat G skręca go i rzuca za pośrednictwem soczewki H w jej ognisko M, znowu w postaci świecącego punktu, M znajduje się już na powierzchni nadawanego obrazu, rozpostartego w znany nam sposób na ścianie walca o osi AE. Od powierzchni papieru promień w punkcie M odbija się jako jaśniejszy albo ciemniejszy, zależnie od tego, na jaki punkt obrazu trafi. Po odbiciu przez soczew-

kę J i pryzmat K wychodzi jako równoległy pęk i pada na fotokomórkę.

Walec obraca się jednostajnie dokoła swej osi, a po każdym jego obrocie w kierunku tworzącej, przesuwa się — ciągle o ten sam mały odcinek — pas cylindryczny, do którego jest przymocowany papier z obrazem. W ten sposób po pewnym czasie wszystkie punktu obrazu przejdą przed M.

Jak w dotąd opisanych układach, odbiornik (rys. 96) przypomina nadajnik, przynajmniej o tyle, że światłoczuły papier do odbioru znajduje się tak samo na obracającym się walcu



Rys. 96. UKŁAD OPTYCZNY ODBIJNIKA FOTOTELEGRAFICZNEGO MARCONI-WRIGHTA

i że promień światła przebiegłszy po wydrążeniu wzdłuż osi tego walca, załamuje się w pryzmacie i przez otwór M pada na papier. Ale poprzednie jego koleje są inne.

Ze źródła światła L, po przejściu przez soczewkę A, jako pęk równoległy, promień wchodzi do „nikola“ B. Nikol (od nazwiska fizyka Williama Nicola, 1841), stanowią dwa odpowiednio sklezione kryształy minerału, zwanego szpatem islandzkim. Jest to układ optyczny o takiej własności, że promień światła po przejściu przez nich, zachowuje się dziwnie: jest „spolaryzowany“, tj. może zostać zgaszony przez przezroczyste ciało! Ciałem tym jest drugi nikol, zupełnie podobny do pierwszego; jeżeli oba nikole mają wspólną oś i są jednakowo na niej położone („nikole równoległe“), promień przejdzie bez przeszkody przez drugi nikol po przebyciu pierwszego. Jeżeli natomiast drugi nikol obrócimy dokoła tejże wspólnej osi o kąt 180° („nikole skrzy-

żowane“), promień przez „przezroczysty“ nikol nie przejdzie. W położeniach pośrednich drugiego nikola będzie przechodził na drugą jego stronę promień tym silniejszy, im bardziej nikole będą bliskie zupełnej równoległości.

Po przejściu przez pierwszy nikol B, zwany „polaryzatorem“, wiązka równoległa zostaje znowu skupiona przez soczewkę C na lukę „komórki Kerra“ K. Komórka Kerra to znów cudowny przyrząd, który pod działaniem przepływającego prądu „skręca płaszczyznę polaryzacji“ przechodzącego przez nią promienia (ze szkodą dla ścisłości upraszczamy tu opis zjawiska!), tzn.: promień po przejściu przez nią zachowuje się tak, jak gdyby wyszedł z innego nikola-polaryzatora obróconego o pewien kąt. Kąt ten — zwany kątem obrotu płaszczyzny polaryzacji — jest zależny od siły prądu. Po wyjściu z komórki Kerra i przejściu przez drugą soczewkę D wiązka znowu jako równoległa przechodzi przez drugi nikol, „analyzer“, równoległy do pierwszego. Jeżeli w komórce Kerra nie ma prądu, wiązka przejdzie przez analyzer bez przeszkody; jeżeli jest prąd, wiązka tak się zachowa, jak gdyby wyszła z polaryzatora nie równoległego, lecz skrzyżowanego z drugim nikolem, i wobec tego przejdzie ściemniona, a przy pewnej, maksymalnej sile prądu, zgaszona całkowicie.

Przerzywane impulsy prądu przesłane z nadajnika przechodzą przez komórkę Kerra włączoną szeregowo w linię. Tym przerwom odpowiada miganie promienia wychodzącego z analizatora E, a więc powstawanie kropek na papierze światłoczułym. Przerwy te są, jak widzieliśmy niesłychanie szybkie, skoro jest ich 12 000 na sekundę: komórka Kerra jest bezcennym przyrządem, tak pozbawionym bezwładności (tj. oporu stawianego zmianom), że może za tą olbrzymią częstością zmian nadażyć. Nie moglibyśmy tej częstotliwości opanować żadnym innym sposobem.

Nie wyjaśniliśmy jeszcze znaczenia krążka przesłonowego, który powoduje owo szybkie miganie promienia w nadajniku. Transmisja byłaby możliwa i bez niego, ale zmiany natężenia promienia świetlnego w odbiorniku nie naśladowałyby precyzyjnie zmian natężenia promienia odbitego od oryginału i padającego na fotokomórkę, a to z powodu zniekształcenia sygnału prądowego po drodze do stacji odbiorczej. Żeby to zniekształcenie osłabić w skutkach, rozbija się obraz na punkty, co mimo ziarnistej struktury obrazu daje lepszy efekt. Przy przesłaniu krótkiego sygnału odpowiadającego punktowi wpływ zniekształcenia jest mniej widoczny.

Synchronizacja biegu obu walców, która i w tym systemie — rzecz jasna — jest nieodzownym warunkiem działania, dochodzi do skutku dzięki zastosowaniu widełek strojowych na obu stacjach. Drgania ich są podtrzymywane dzięki włączeniu w obwód elektryczny z lampą katodową. Różne urządzenia starannie dbają o zachowanie dokładnie stałej temperatury, ażeby nie pozwolić na wahania częstotliwości drgań kamertonów. Prąd zmienny, o częstotliwości narzuconej przez włączone w obwód na stacji nadawczej widełki, biegnie do uzwojenia silnika obracającego walec nadawczy i zmusza go do obrotu.

System Marconiego-Wrighta różni się znacznie od innych zarówno pod względem elektrycznym, jak mechanicznym. Daleko mu jeszcze do doskonałości, ale pozwala już przesyłać jednocześnie dwa obrazy formatu 20 na 25 cm w czasie krótszym niż 20 minut. Podczas pokazów publicznych nadawano obrazy 10 na 25 cm w ciągu trzech i pół minuty. Odbyły się również próbne transmisje przez Atlantyk.

Jeżeli idzie o obsługę aparatury, najważniejszą nowością jest, że może ona biec bez przerw i że nie trzeba jej zatrzymywać przy nakładaniu nowego obrazu do przesłania. Odpada

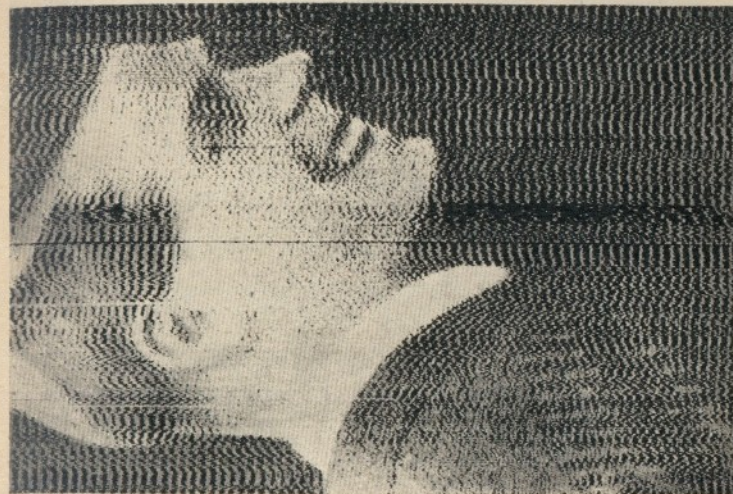
zatem konieczność ponownego synchronizowania dla każdego obrazu. Poza tym obraz nie wymaga żadnego przygotowania przed przesłaniem, odbiór jest całkowicie bezpośredni, może być obserwowany i korygowany. Dowcipny pomysł pozwala przysłać jednocześnie dwa obrazy, a zatem można by w ruchu handlowym zarezerwować jedną drogę dla pilnych, drugą dla zwykłych telefotogramów.

System nadaje się zarówno do przesyłania po drucie jak bez drutu, jakkolwiek szybkość nadawania zależy od rodzaju linii. Linie, które dobrze przenoszą wysokie nuty bez osłabienia siły brzmienia, pozwalają również osiągnąć wielką szybkość nadawania.

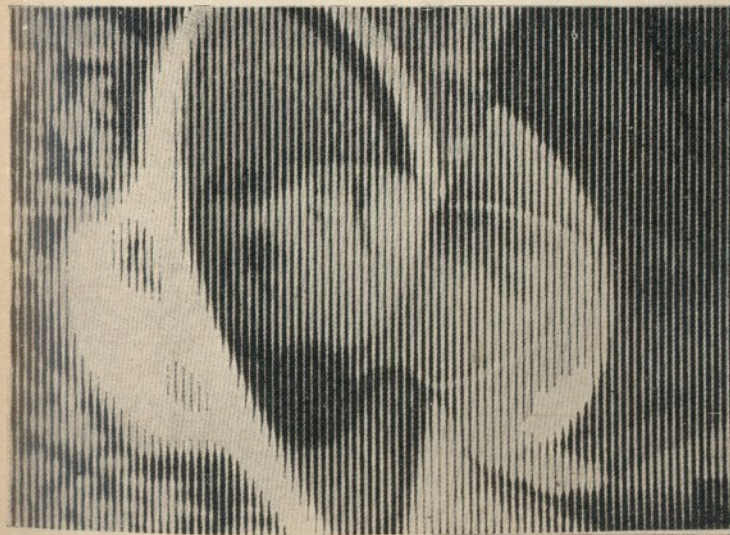
Przy tej sposobności zauważymy, że transmisji obrazów bez drutu próbował już Knudsen w roku 1908, lecz uzyskał bardzo skromne wyniki. Różne ulepszenia stworzyły teraz taki stan rzeczy, że każda stacja nadawcza radiowa za pomocą modulacji podstawowej fali nośnej może przysłać obrazy na tak wielkie odległości, na jakie sięga dobry odbiór muzyki. Wspomniany już przez nas Thorne Baker zbudował odbiornik dwulampowy autogramów radiowych.

6. KORZYŚCI FOTOTELEGRAFII

Oczywiście, najbardziej zainteresowanym odbiorcą obrazów przesyłanych drogą elektryczną jest prasa codzienna, która już dawno zaprzęgała specjalne pociągi i aeroplany do służby ilustracyjnej. Ale bardzo często szybkie przesłanie obrazu ma pierwszorzędne znaczenie dla policji, gdy idzie o podobiznę poszukiwanego przestępcy, albo — co jeszcze trudniejsze do zakomunikowania na innej drodze — o odciski jego palców (tabl. XXX^B). W roku 1924 policja nowojorska przesała odciski palców przestępcy notowanego w Chicago i już po kilku minutach otrzymała telegraficznie jego nazwisko.



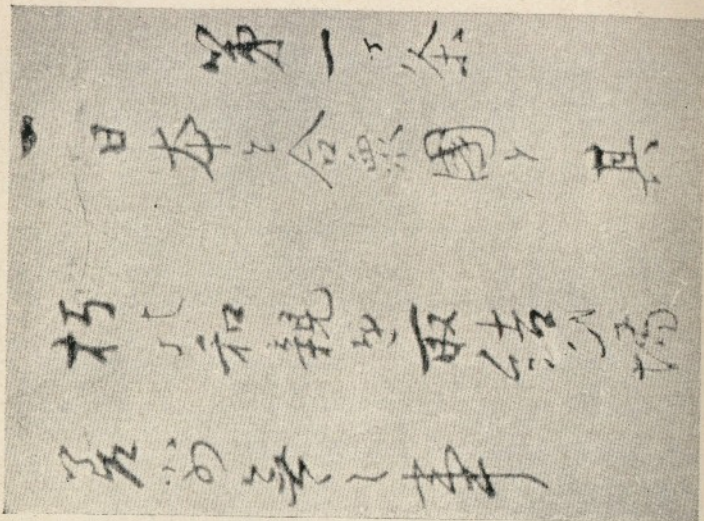
B. FOTOTELEGRAM RADIOWY KSIĘCIA WALII przesłany w roku 1925 drogą radiową z Londynu do Nowego Jorku



A. FOTOTELEGRAM SYSTEMU AMERICAN TELEPHONE COMPANY

Powiększenie, na którym widać wyraźnie obraz szczeliny wewnątrz światłociemnego, atom obrazu

A. PISMO JAPONSKIE PRZEKAZANE FOTOTELEGRAFICZNIE SYSTEMEM AMERICAN TELEGRAPH AND TELEPHONE COMPANY



B. ODCISK PALCA PRZEKAZANY FOTOTELEGRAFICZNIE TYM SAMYM SYSTEMEM



Teleautografia jest potrzebna również tam, gdzie nie tylko treść dokumentu jest ważna, ale dokładny jego obraz. Takie przykłady mamy w czekach, podpisach, różnych dokumentach prawnych. Idzie tu czasem o oszczędność miesięcy, np. gdy przysyłamy takie facsimile z Europy do Australii. Dla prawników, notariuszy, banków stanie się zapewne nowe to urządzenie nie mniej ważne niż telefon.

Ważnym zastosowaniem teleautografii jest przesyłanie zwykłych telegramów w językach nie objętych kluczem Morsa (tabl. XXX^A). Dla języka japońskiego i chińskiego telegraf był dotąd wynalazkiem bez znaczenia, gdyż języki te nie znają liter. Trzeba było korzystać z przekładu pośredniego na język europejski. Kopiowanie elektryczne przyniesie tu z pewnością wielkie korzyści.

ROZDZIAŁ XIII

TELEWIZJA

1. SYSTEM RUHMERA

Telewizja — „widzenie na odległość“ — różni się od przesyłania kopii obrazu tym, że przesłany obraz jest widoczny od razu w całości i że nie korzysta ona z pośrednictwa fotografii, lecz przesyła od razu obraz samej rzeczywistości. Poza tym umożliwia ona widzenie ruchu. Gdyby do przekazywania obrazów ruchomych zastosować po prostu przygotowaną taśmę kinową — jak to się istotnie w pewnych systemach czyni — mielibyśmy pewną komplikację fototelegrafii, którą można by nazwać telekinematografią i która wymagałaby tylko przesyłania obrazka w ciągu $\frac{1}{24}$ sekundy, jak to się dzieje w kinematografie. W telewizji natomiast światło padające na przedmiot na stacji nadawczej musi być po odbiciu zamienione na sygnał elektryczny, przesłane na stację odbiorczą i zamienione tam ponownie we właściwy sposób na światło. Fototelegrafia daje obraz utrwalony, telewizja — przemijający.

Widzieliśmy w poprzednim rozdziale, że najlepsze urządzenia fototelegraficzne wymagają siedmiu minut na przesłanie niewielkiego obrazu. Największa trudność telewizji polega na umożliwieniu przesyłania sygnałów z szybkością bez żadnego porównania większą. Jak wszystkim teraz wiadomo, w kinematografie widzimy naprawdę obrazy nieruchome następujące po sobie co $\frac{1}{24}$ sekundy. Ponieważ oko ludzkie tak długo właśnie zatrzymuje jeszcze obraz widziany, film prze-

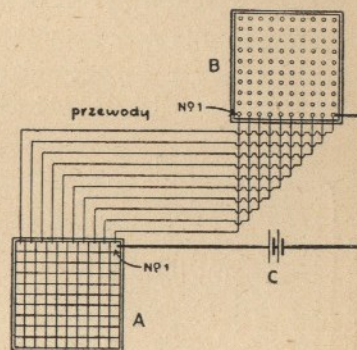
suwany z taką szybkością sprawia wrażenie obrazu zmieniającego się bez przerw. Taka sama szybkość przesyłania nieruchomej sytuacji obowiązuje zatem i w telewizji.

Jedyna inna metoda, którą możnaby sobie wyobrazić, to dokładne naśladowanie ludzkiego oka, które jest właściwie kamerą optyczną. Na przedzie znajduje się soczewka, a poza nią — matówka, tj. siatkówka oka, na którą pada wytworzony przez soczewkę obraz. Gdy mamy wykonać fotografię, zastępujemy matówkę przez płytę szklaną albo błonę z emulsją światłoczułą. Płyta ta jest płaska, podczas gdy siatkówka jest krzywa i składa się z zakończeń wielkiej liczby włókien nerwowych tworzących niejako szachownicę z drobnutkich światłoczułych komórek. Każda z tych komórek przesyła do kory mózgowej doniesienie o tym, jakiego koloru padła na nią plama świetlna. Mózg z tych doniesień buduje coś w rodzaju mozaiki i w ten sposób „widzi” cały obraz. Jeżeli przedmiot się porusza, porusza się również obraz na siatkówce, tak że ta sama plama pada na coraz to inne zakończenie nerwowe i tak informuje mózg o ruchu. Narzuca się myśl naśladowania tego przebiegu: nadajnik zastępowałby oko, przewodniki elektryczne odpowiadałyby nerwom, a odbiornik mózgowi.

Myśl tę próbował wykonać Ernest Ruhmer. Nadajnik jego składał się ze zwykłej kamery fotograficznej, która na miejscu matówki miała ekran z wielką liczbą małych komórek selenowych. Odbiornik składał się z takiej samej liczby małych żarówek, z których każda była połączona oddzielnym przewodem z odpowiadającą jej komórką nadajnika, jak to widzimy w schemacie na rys. 97. A jest tu ekranem nadajnika, B — odbiornika; kwadraciki oznaczają komórki selenowe, kółeczka oznaczają żarówki. Przewody są wskazane tylko dla dziesięciu komórek i opowiadających im żarówek: ponieważ obraz zrucony przez

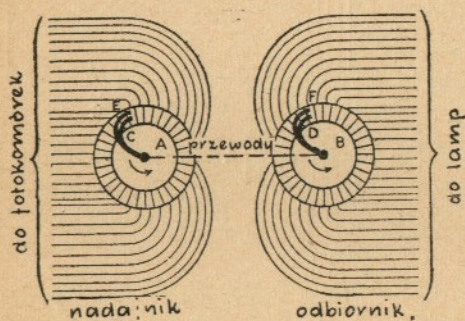
soczewkę kamery jest odwrócony, górny rząd komórek jest połączony z dolnym rzędem żarówek, prawy z lewym. Drugie bieguny komórek są połączone wszystkie między sobą i z jednym biegunem baterii, podobnie drugie bieguny żarówek. Jeżeli na komórkę nr 1 padnie silny promień światła, opór jej się zmniejszy, żarówka nr 1 zapłonie jasno; jeżeli promień ten będzie słaby, żarówka pozostanie ciemna. Układ żarówek będzie zatem naśladował w pewien sposób rozkład światła i cieni w przedmiocie.

Wykonanie tej myśli jest związane z licznymi trudnościami. Przede wszystkim selen, jak już wspominaliśmy na str. 245, ma pewną bezwładność, nie odpowiada natychmiast zmianą oporu na padające światło, lecz z pewnym opóźnieniem. Po wtóre, olbrzymia liczba komórek i przewodów niezbędna do jakiegoś takiego działania aparatu powoduje niezmiernie koszty nawet dla małego obrazu. Na schemacie rys. 97 widzimy tylko 100 komórek, ale na każdy milimetr kwadratowy trzeba 36 komórek (6 na milimetr liniowy), żeby uzyskać obraz tego gatunku, jaki widzimy na zwykłej ilustracji książkowej. Wprawdzie zadowolilibyśmy się obrazami znacznie gorszymi, przynajmniej na początek, ale żeby zachować choćby słabe podobieństwo przy oddaniu twarzy ludzkiej, trzeba 30 do 40 tysięcy lampek. Ruhmer nie ustawał w pracy od 1901 do 1912 roku, ale musiał uznać się za pokonanego. Najlepszym jego wynikiem było przesłanie mętnych zarysów liter przy pomocy 25 przewodów.



Rys. 97. UKŁAD RUHNERA DO TELEWIZJI

Musimy jeszcze wspomnieć o trudności związanej z poprowadzeniem tak wielkiej liczby przewodów. Podsuwano tu myśl, by zastosować jakiś przełącznik, podobny jak w telegrafii wielokrotnej (rys. 37), ale na większą skalę (rys. 98). Urządzenie to składa się z dwóch pierścieni A i B, zawierających sporą liczbę (na rysunku 32) izolowanych wycinków metalowych, połączonych dla A z komórkami, dla B z lampkami. Dwie szczotki (C i D) zsynchronizowane wzajemnie obracają się w kierunku strzałek i obiegają kolejno wszystkie wycinki



Rys. 98. PRZEŁĄCZNIK, KTÓRY MOŻNABY ZASTOSOWAĆ PRZY TELEWIZJI SYSTEMEM RÜHMERA

odpowiednio w A i B. Gdy C styka się z E, D dotyka F, a więc komórka należąca do E, jest chwilowo połączona z komórką odpowiadającą F, i tak dalej. Przypuśćmy, że obiekt jest nieruchomy; lampka odpowiadająca jasnemu miejscu nie będzie się żarzyła stale, lecz migiała. Jeżeli jednak mamy uzyskać wrażenie obrazu ciągłego, miganie to musi zachodzić przynajmniej 16 razy na sekundę, a więc tyleż razy szczotki muszą się na sekundę obrócić. Synchronizacja tak szybko obracających się szczotek jest zagadnieniem zapewne nierozwiązalnym. Dalej, gdyby było ogółem 40 000 komórek i żarówek, na szczotkach przerywałby się prąd 640 000 razy na sekundę: tego nie wytrzyma żaden znany nam metal. Wreszcie na jakość obrazu bardzo źle wpływałyby nieuniknione niejednostajności w reakcji lamp na prąd: w miejscach jednakowo jasnych różne żarówki będą miały różną jasność.

Podaliśmy tu krytykę tego systemu, jako jednego z wielu próbujących naśladować bezpośrednio oko ludzkie, żeby wyjaśnić dlaczego zarzucono tę naturalną drogę.

2. SYSTEMY MIHALYEGO I ALEXANDERSONA

Następna seria prób szła inną drogą: zamiast mozaiki z wielu komórek stosowano tylko jedną komórkę i próbowano w bardzo szybkim następstwie rzucać na nią plamy świetlne z różnych miejsc obrazu. Promień świetlny obiega bardzo szybko obraz i po odbiciu zostaje zamieniony na sygnał elektryczny; na stacji odbiorczej odbywa się proces odwrotny przy zastosowaniu — rzecz jasna — synchronizacji między ruchami obu promieni świetlnych, tak jak przy fototelegrafii. Oczywiście, pierwszym warunkiem powodzenia jest tak szybki ruch promienia, żeby oko ludzkie widziało nie biegnącą plamę, lecz całość obrazu: oznacza to, że promień winien przebiec obraz w ciągu co najwyżej $1/16$ sekundy. Próbowali tu swych sił Belin, znany nam z fototelegrafii, i Holweck. W roku 1927 udało im się przesłać sylwetki, lecz używana przez nich fotokomórka nie była dostatecznie czuła, żeby umożliwić przesłanie zwykłego obrazu.

Interesująca jest próba Denesa von Mihaly z Budapesztu ogłoszona w 1916. Urządzenie jego składało się ze zwierciadełka o powierzchni 1 mm², umieszczonego między biegunami elektromagnesu i tak lekkiego, że mogło się obracać dookoła osi poziomej 500 razy na sekundę. Prócz tego mogło ono wykonywać ruch wahadłowy dookoła osi pionowej z szybkością 5 wahań na sekundę. Jasny obiekt rzuca obraz przedmiotu na zwierciadełko, od którego odbija się on w kierunku przesłony. Tu przechodzi przez szparę, za którą znajduje się komórka światłoczuła połączona z przewodem przez wzmacniaki. Na stacji odbiorczej prąd kieruje ruchami podobnego zwierciadełka jak na nadawczej; drgania jego

przesyłają więcej lub mniej światła przez przesłonę. Obraz tej przesłony obiega ekran dzięki pośrednictwu podobnego układu optycznego, jak w nadajniku, drgającego synchronicznie. Mihaly twierdzi, że udało mu się przesłać sylwetki, ale część optyczna jego układu jest zasadniczo źle obmyślona i powinno dać obraz zamazany, gdyż obraz odbity w zwierciadku nie będzie znajdował się w ognisku przesłony.

E. F. W. Alexanderson z International General Electric Company pracował nad telewizją i w roku 1927 opisał w odczycie swój system, jednak bez demonstracji. Stosuje on „projektor telewizyjny“, bęben o średnicy 75 cm pędzony bezpośrednio przez silnik elektryczny o bardzo szybkich obrotach (tabl. XXVIII^A). Na obwodzie tego bębna znajdują się 24 zwierciadła (20 cm na 10), tworząc w ten sposób graniastosłup 24-kątny foremny. Na ten obracający się graniastosłup pada przez soczewkę obraz przedmiotu i po odbiciu trafia na fotokomórkę znajdującą się w obwodzie. Odbiornik opiera się na podobnej zasadzie, zamiast fotokomórki ma urządzenie odwrotne i ekran na miejscu odpowiadającym przedmiotowi. W odczycie swym mówi Alexanderson, że

nie trudno zbudować urządzenie telewizyjne, które by przekazywało 40 000 sygnałów na sekundę, ale przy tej szybkości mielibyśmy obrazy tak gruboziarniste, że nie miałyby znaczenia praktycznego. Nasze próby wykazały, że 300 000 sygnałów na sekundę daje wyniki zadowalające. Niestety, przyspieszenie tych przebiegów sprawia trudności rosnące z kwadratem szybkości.

Pomysł Alexandersona polega więc na podzieleniu przedmiotu na pasy i zastosowaniu siedmiu różnych źródeł światła, z których każde oddzielnie obiega plamą cały obraz z szybkością odpowiadającą 43 000 punktom na sekundę, ale wszystkie razem dają — splatając się — jeden dobry obraz odpowiadający 300 000 punktom na sekundę. Według wynalazcy siedem światła zamiast jednego powiększa jasność 49 razy.

Na stacji odbiorczej, w miarę obrotu podobnego bębna, siedem promieni jednocześnie kropkuje siedem obrazów splatających się z sobą. Każdy z nich powstaje niezależnie od pozostałych dzięki oddzielnej fotokomórcie, których jest razem siedem. Alexanderson zauważył prócz tego, że stosując system wielokrotnej radiotelegrafii, w której użyto siedmiu różnych fal nośnych, można by przesłać jednocześnie siedem gorszych obrazów, które mogą być połączone w odbiorniku w jeden dobry: ale tego jeszcze nie demonstrował.

Według ostatnich wiadomości pomysł ten nie przyniósł spodziewanych wyników i Alexanderson pracuje teraz nad przyrządami typu Bairda i American Telegraph and Telephone Company.

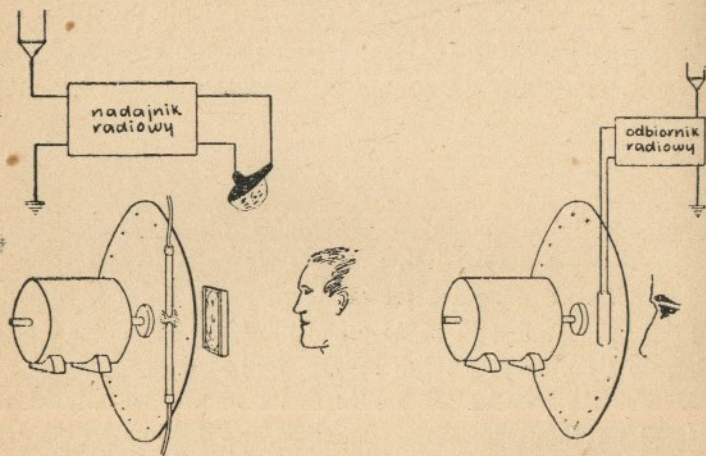
3. SYSTEM BAIRDA

Żaden z dotąd opisanych systemów nie doprowadził do urzeczywistnienia telewizji, udawało się co najwyżej transmitować sylwetki. Zademonstrował to pierwszy John L. Baird⁶⁵ w roku 1925 na drodze radiowej. Z początku systemem Bairda udawało się przysłać tylko zarysy cieni rzuconych przez nieprzezroczyste przedmioty umieszczone na drodze wiązki padającej na jedną komórkę selenową. Po kilku ulepszeniach stało się możliwe przysyłanie zupełnie dobrych obrazów oświetlonych przedmiotów. W styczniu roku 1926 notujemy pierwszy publiczny pokaz (dla członków Instytutu Królewskiego w Londynie): na ekranie odbiornika ujrano głowę ludzką, której rozpoznanie nie przedstawiało trudności. Następne transmisje odbyły się między Londynem i Glasgow, między Londynem a okrętem na pełnym Atlantyku, wreszcie (w lutym 1928 roku) między Londynem a Nowym Jorkiem.

W systemie Bairda promień świetlny „opukuje“ przedmiot, to znaczy obiega go wzdłuż równoległych a bardzo bliskich

linii i podobizna jest zbudowana z takich samych linii. Po odbiciu się od przedmiotu stojącego przed nadajnikiem promień wpada do komórki fotoelektrycznej o bardzo szybkiej reakcji i przekształca się na impuls elektryczny. Te zasady są nam znane z poprzednich opisów. Przejrzyjmy się, jak tu zostały wykonane.

Na rys. 99 widzimy schemat najwcześniejszej aparatury Bairda. Przed lampą łukową obraca się krążek, w którym



Rys. 99. UKŁAD BAIRDA DO TELEWIZJI

znajduje się wielka liczba otworków rozłożonych na jednym zwoju linii spiralnej wzdłuż jego obwodu. Obiekt — którego rozmiary muszą być niewielkie — znajduje się przed tarczą na wprost jej brzegu, oddzielony od niej soczewką, która rzuca ostry obraz otworka na powierzchnię obiektu. Gdy jeden otworek przesuwają się przed lampą, oświetlony jego obraz obiega cienką linię pionową wzdłuż obiektu; gdy znajdzie się właśnie u dołu tej linii, następny otworek spirali już rzu-

tuje się na górny koniec linii pionowej, przesuniętej nieco w bok, i obiega następny „pasek“ obiektu. Obraz trzeciego otworka opisuje trzeci „pasek“, przesunięty w bok o taki sam odcinek, i tak dalej. Ta przesłona spiralna została wynaleziona już w roku 1884 przez inżyniera niemieckiego Pawła Nipkowa i znana jest w Niemczech pod nazwą „tarczy Nipkowa“.

Promienie odbite od obiektu trafiają do fotokomórki; jasność ich po odbiciu jest taka, jaką by dostrzegło oko umieszczone na jej miejscu, i właściwie zostaje przesłana „perspektywa“ ze stanowiska komórki. Impulsy elektryczne wywołane w komórce modulują w znany nam dobrze sposób natężenie fali nośnej.

W odbiorniku mamy odwrócenie procesu przy pomocy lampy neonowej, która żarzy się silniej albo słabiej w zależności od otrzymanego impulsu, a ma niewielką tylko bezwładność. Przed nią, jak w nadajniku przed lampą łukową, obraca się tarcza z przesłoną spiralną, oczywiście zsynchronizowana ściśle z tarczą nadajnika, a dalej znajduje się na wprost jej brzegu ekran, matówka albo oko obserwatora.

Szybkość obrotu tarczy i liczba otworów jest tak dobrana, żeby cały przedmiot został opisany przez promień świetlny w ciągu co najwyżej $\frac{1}{24}$ sekundy.

Synchronizacja odbywa się na znanych nam zasadach: jeden silnik obraca tarczę nadajnika, drugi pędzi prądnicę o 500 okresach na sekundę. Prąd z pierwszego silnika i impulsy fotokomórki nakładają się na ten prąd wysokiej częstotliwości i biegną „wspólnym kanałem“ do stacji odbiorczej. Tam oddzielają je filtry elektryczne: jeden zostaje skierowany do silnika pędzącego tarczę odbiorczą, drugi do lampy neonowej. W ten sposób właściwie ten sam prąd pędzi obie tarcze.

Wady tego urządzenia są widoczne: elementy, na które zostaje rozbity obraz, owe paski, są zbyt daleko od siebie. Jeżeli otworków w tarczy będzie 120, każdy musi przebyć swój pasek w czasie $\frac{1}{24} : 120 = \frac{1}{2880}$ sek. Jeżeli podwoimy ich liczbę, żeby zagęścić paski, będziemy musieli zmniejszyć dwukrotnie ten czas, a więc zwiększyć dwukrotnie szybkość: a temu stoją na drodze wielkie trudności mechaniczne, które nie pozwalają wykroczyć poza 50 obrotów na sekundę. Baird zaradził złu przez skomplikowane urządzenie, „przekładnię optyczną“, która pozwala zagęścić paski na drodze optycznej bez powiększania szybkości obrotu.

Następnie, rozmiary obrazu przesyłanego są ograniczone przez długość paska (odległość dwóch sąsiednich punktów) i szerokość spirali (różnica najmniejszego i największego promienia jej zwoju). Wreszcie, do jakich takich wyników niezbędne jest bardzo silne światło na matówkę z jednej strony, a z drugiej wielka uległość światła na zmiany. Jeżeli policzymy skromnie 100 pasków na obraz, a na każdym pasku 100 zmian natężenia światła, będziemy mieli 10 000 zmian na obraz, a ponieważ czas jego przesłania wynosi $\frac{1}{24}$ sekundy, będziemy mieli 240 000 zmian natężenia na sekundę. Mówiliśmy już przy metodzie Alexandersona, że 300 000 zmian to bliższa rzeczywistym wymaganiom wartość. Otóż, nie znamy źródła światła jednocześnie silnego i tak pozbawionego bezwładności, żeby nadażyć nawet za dwa razy mniej szybkimi zmianami, i dlatego Alexanderson wprowadził swoją metodą siedmiu promieni, uważając budowę takiej lampy za wręcz nieosiągalną.

Lampa neonowa z pierwszych prób Bairda pokrywała za ledwie powierzchnię 5 na 7,5 cm, później udało się dojść do 20 na 30 cm. Pokrycie zwykłego ekranu kinowego przy pomocy jednej tylko płamy świetlnej jest rzeczą niemożliwą, to też Baird wprowadził system kilku promieni, który podobno

rozwiązuje tę trudność: kilka obracających się fotokomórek przejmują kolejno promienie odbite. Impulsy prądowe biegną wzdłuż tego samego „kanału“, tj. nakładają się na tę samą falę nośną, i zostają rozdzielone na stacji odbiorczej przez filtry, a potem puszczane do oddzielnych lamp. Inny pomysł Bairda stosuje na ekranie stacji odbiorczej podobne urządzenie, jak w systemie Ruhmera (str. 268): siatkę z bardzo wielu małych żarówek, połączonych z przełącznikiem obieganym przez szczotkę. Każdemu stykowi szczotki z działką przełącznika odpowiada zapłonienie jednej żarówki. Szczotka ta obraca się synchronicznie z tarczą (na stacji odbiorczej nie ma tarczy Nipkowa!) i to tak, że gdy jeden otworek opisuje swój pionowy pasek, na ekranie odbiorczym zapalają się kolejno żarówki tej samej kolumny: można powiedzieć, że z każdym otworkiem tarczy jest związany jeden rząd ekranu. Rzecz jasna, że przy tym urządzeniu natężenie światła w danym miejscu przedmiotu może być oddane wiernie i że po stronie odbiorczej rozmiary obrazu nie są ograniczone: można uzyskiwać wielkie powiększenia. System ten jeszcze nie został wykonany.

Wspomnijmy jeszcze, że metodą Bairda można przysyłać ruchome obrazy, utrwalone przed tym na filmie. Daje to znacznie lepsze wyniki niż telewizja bezpośrednia, a to z dwóch powodów: 1^o na fotokomórkę pada światło przechodzące, a nie odbite, dzięki czemu uzyskuje się znacznie większą jasność i kontrastowość; 2^o posuwając film w sposób ciągły (a nie skokami, jak aparacie filmowym) możemy przejście od wiersza do wiersza osiągnąć bez układania otworków na spirali w tarczy Nipkowa — mogą znajdować się one na okręgu koła. Taki układ stosuje się szeroko w Niemczech do transmisji aktualności: w 1 — 2 $\frac{1}{2}$ minuty po sfilmowaniu z wozu transmisyjnego i doraźnym wywołaniu film przepuszcza się przez nadajnik telewizyjny!

4. SYSTEM IVESA

Herbert E. Ives⁶³, wynalazca z pracowni American Telephone and Telegraph Company, w kwietniu roku 1927 demonstrował swoją odmianę aparatury telewizyjnej. Nie bardzo zachęcająco brzmi, że do przesłania obrazu z Nowego Jorku do Waszyngtonu (320 km) korzystał z obsługi 1000 ludzi, podczas gdy Baird transmitował z Londynu do Glasgow na 640 km mając do pomocy tylko trzech. Ives również używa do „opukania“ modelu tarczy typu Nipkowa i kieruje promień odbity do trzech komórek fotoelektrycznych specjalnie zaprojektowanych (podobno największych z dotąd wykonanych). Katody ich są pociągnięte wodorotlenkiem potasu i umieszczone są w wysokiej próżni, lekko tylko skażonej śladami helu albo argonu dla podwyższenia czułości. Komórka ta reaguje na światło zwykłej świecy z odległości 4 km i może podążyć za zmianami światła w ciągu jednej milionowej sekundy. Prądy powstające w niej są jednak bardzo słabe.

Na stacji odbiorczej obraz może być oglądany albo gołym okiem za pośrednictwem tarczy jak w systemie Bairda, albo też na ekranie przypominającym nieco drugą metodę Bairda, ale zbudowanym w sposób bez porównania ciekawszy. Oto zbudowano lampę neonową w kształcie siatki z 50 pionowych i 50 poziomych rur. 2500 drutów pozwala doprowadzić prąd do każdej z 2500 działek tej lampy. Pomysłowy „selektor“ przyjmuje prądy z fotokomórek stacji nadawczej i wysyła prąd do coraz innej sekcji w sposób odpowiadający „opukaniu“ modelu przez promień z tarczy na stacji nadawczej. Ta „lampa“ pokrywa powierzchnię 60 na 75 cm i nadaje się więc do niewielkich pokazów publicznych. Na jednym z takich pokazów obraz człowieka czytającego gazetę był tak wyraźny, że można było rozróżnić większe ilustracje w gazecie.

Na pierwszym pokazie w kwietniu 1927 roku w Nowym Jorku publiczność widziała Herberta Hoovera, amerykań-

skiego męża stanu, odległego o 400 km w Waszyngtonie w czasie przemówienia. Interesującą nowością w systemie Ivesa jest urządzenie, które pozwala na stacji nadawczej widzieć wynik odbioru.

5. ZASTOSOWANIE PROMIENI KATODOWYCH: IKONOSKOP

Zauważyliśmy już, że największą trudność telewizji stanowi dostatecznie szybkie „opukanie“ obrazu czyli jego „analiza“, jak to czasem nazywają. Mimo niezmiernie pomysłowych ulepszeń, mechaniczne „opukanie“ obrazu nie daje dostatecznie dobrych wyników i — o ile można przewidzieć — nigdy ich nie da. Toteż ostatnio wysiłki wynalazców amerykańskich i niemieckich zwróciły się w stronę elektrycznych metod „analizy“, opartych na zastosowaniu promieni katodowych. W ikonoskopie Zworykina, Rosjanina pracującego w Ameryce we wspomnianych wielokrotnie zakładach General Electric Company, myśl ta znalazła do chwili obecnej najdoskonalsze swe urzeczywistnienie i wytrzymała już próbę praktyki.

Zanim opiszemy ikonoskop, wspomnimy o pionierach metody „analizy elektrycznej“ i podamy jego zasadę. Na pomysł użycia promieni katodowych wpadli pierwsi Belin i Holweck, ale zastosowali je tylko do „syntezy“ obrazu w odborniku. Wiemy, że promienie katodowe, wysyłane przez katodę rury próżniowej, reagują na pole magnetyczne odchyleniem, którego kierunek zależy od natężenia tego pola i jego kierunku. Wobec tego plama, którą wywołują na ekranie fluoryzującym będzie się poruszała, gdy się będzie zmieniało pole magnetyczne, w którym się rura znajduje. Ponieważ promienie te są pozbawione bezwładności, mogą nadążyć bez opóźnień za dowolnie szybkimi zmianami pola magnetycznego, tzn. plama na ekranie może się poruszać dowolnie szybko.

Prace nad rurami próżniowymi doprowadziły do oscylografu katodowego, tj. rury próżniowej, zwanej też rurą Brauna, umieszczonej w zmiennym polu elektromagnetycznym. Pozwala on niejako „widzieć“ na ekranie fluoryzującym drganie w postaci pewnej figury krzywoliniowej. Figura ta jest zakresłona przez plamę świetlną o szybkości 130 metrów na sekundę; widzimy ją oczywiście jako jedną stałą linię.

Z chwilą poznania własności promieni katodowych, myśl zastosowania ich do telewizji narzucała się wszystkim pracującym tu wynalazcom: trzeba po prostu zmieniać pole magnetyczne tak szybko, żeby plama świetlna przebiegała ekran z wymaganą szybkością, tj. tak żeby wszystkie jej położenia z różnymi natężeniami były widziane jednocześnie. U Belina i Holwecka na przykład zastosowano do analizy zwierciadełka drgające pod kątem prostym do siebie i odbijające w kierunku fotokomórki promienie wysłane przez przedmiot. Z komórki, jak zwykle, prąd przechodzi do stacji odbiorczej, gdzie moduluje natężenie strumienia promieni katodowych. Strumień ten przechodzi między biegunami elektromagnesu, przez którego uzwojenie płynie ten sam prąd, który wprawia w drganie analizujące zwierciadełka na stacji nadawczej: w ten sposób osiąga się synchronizację plamy świetlnej w odbiorniku i nadajniku. Ponieważ natężenie pęku promieni zmienia się według wskazań fotokomórki, otrzymujemy na fluoryzującym ekranie rury Brauna poprawny obraz.

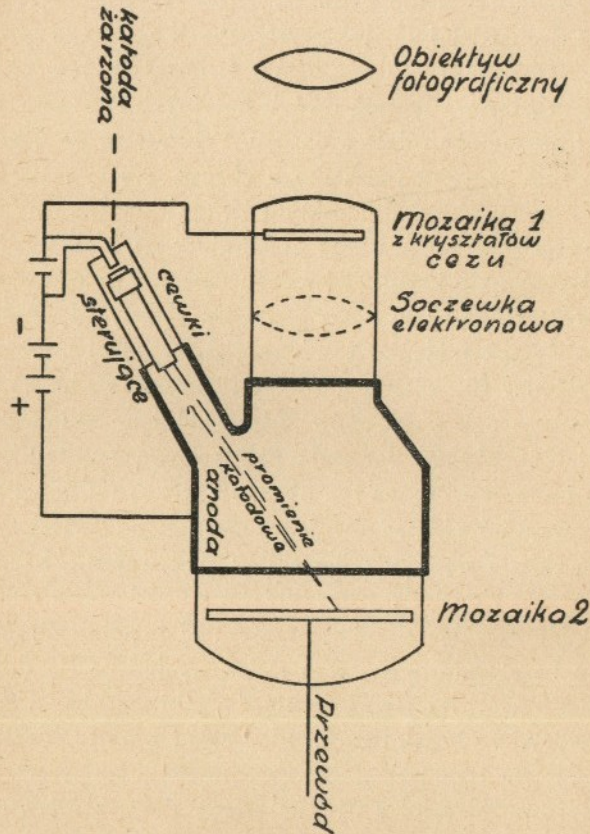
Drugi pomysł zastosowany później częściowo do analizy w nadajniku Zworykina został wskazany jeszcze przez A. A. Campbella Swintona. Ekran składa się z małych, izolowanych wzajemnie krzysztalków potasu albo cezu ułożonych w mozaikę. Za tym ekranem znajduje się komora wypełniona parą sodu, która przewodzi prąd lepiej, gdy jest silniej oświetlona. Na ekran ten przy pomocy zwykłego obiektywu rzuca się obraz; gdy go będzie obiegał promień katodowy, krzysztaly potasu bę-

dą silniej wydzielały elektrony. W ten sposób uzyskuje się w nadajniku modulowanie natężenia przesłanych sygnałów prądowych bez żadnych urządzeń mechanicznych. Swinton sam tego urządzenia nie wykonał.

Zaletą najbardziej charakterystyczną ikonoskopu Zworykina jest magazynowanie impulsów świetlnych (od obiektu) w czasie między wysłaniem dwóch kolejnych sygnałów prądowych z tego samego miejsca obrazu. Pozwala to na olbrzymie powiększenie jasności przesłanego obrazu. Na rys. 100 widzimy najświeższy układ ikonoskopu Zworykina: zwykły obiektyw fotograficzny rzuca obraz przedmiotu na fotokatodę (mozaika 1) złożoną z krzysztalków cezu (lub też potasu czy rubidu) tworzących bardzo gęstą mozaikę. Każdy krzysztalek zachowuje się jak małeńka fotokomórka, z której napięcie panujące między fotokatodą a anodą (grubsza kreska na rysunku!) wyciąga pęk elektronów odpowiadający układem światłom i cieniom obrazu. Soczewka elektronowa — układ kondensatorów i cewek — rzuca ten obraz na drugą mozaikę, działając na strumień elektronów jak soczewka na światło. Druga mozaika składa się z trzech warstw: pod warstwą krzysztalków cezu znajduje się płytka fluoryzująca, a za nią folia metalowa. Na drugiej mozaice powstaje „obraz elektronowy“: krzysztalek cezu bombardowany przez elektrony ładuje się dodatnio, tworząc z przeciwległym elementem płytki metalowej małeńki kondensator. Ładunek tego kondensatora wzrasta w miarę naświetlania: na tym polega „magazynowanie impulsu“. Przewód odprowadza prąd z drugiej strony mozaiki: jak sterujemy jego zmiany?

Obraz elektronowy na mozaice opukuje promień katodowy, pochodzący z rozjarzonej katody w bocznej odnodze ikonoskopu i pędzony przez przyłożone napięcie. Promień ten przebiega między cewkami sterującymi, które dzięki przyłożonym wahaniom prądu każą mu obiegać mozaikę: tu mamy ową elek-

tryczną analizę obrazu. Gdy promień padnie na kryształ mozaiki, podniesie jego potencjał, a więc i potencjał całej mozaiki i popłynie z niej prąd silniejszy. Promień opukujący



Rys. 100. IKONOSKOP ZWORYKINA
w ostatnim wykonaniu

dotyka kryształka co $\frac{1}{24}$ sekundy: między dwoma kolejnymi dotknięciami kryształek może spokojnie magazynować impulsy świetlne.

Impulsy prądowe z mozaiki biegną do odbiornika, gdzie zostają wprowadzone do oscylografu (rury Brauna) i zostają wyzyskane, jak w pomysłach Belina i Holwecka, do zmian nasilenia strumienia promieni katodowych sterowanego przez cewki, w których wahania prądowe są zsynchronizowane z wahaniami w cewkach, sterujących promień analizujący w odbiorniku. Metody synchronizacji są analogiczne do opisanych wyżej.

Ale dlaczego stosujemy aż dwie mozaiki? Czy nie można od razu rzucić obrazu przedmiotu na mozaikę drugą? Tak właśnie był ułożony pierwotny ikonoskop Zworykina; ale pośrednictwo obrazu elektronowego wzmacnia dziesięciokrotnie emisję elektronów, a więc daje przyrząd tyleż razy czulszy optycznie. Żeby podkreślić rolę elektronów w tym nowym układzie, nazywa się go też „ikonotronem“. Niemniej jednak prądy wychodzące z ikonoskopu muszą ulec wielokrotnym wzmocnieniom, do których Zworykin stosuje specjalny układ swego pomysłu, polegający na wielokrotnym (kaskadowym) powtórzeniu wtórnej emisji elektronów przez bombardowanie elektronami.

Ostatnie wyniki transmisji sztuk scenicznych przy zastosowaniu ikonoskopu dały wyniki dalekie wprawdzie od doskonałości, ale odpowiadające już jakością nie bardzo ostrym zdjęciom fotograficznym. Najbliższe lata przyniosą z pewnością decyzje udoskonalenia.

6. „WIDZENIE“ W CIEMNOŚCI

Zagadnienia spotykane przy pracy nad udoskonaleniem telewizji naprowadziły Baira na urządzenie, które pozwala „widzieć“ w ciemności. Na stacji nadawczej trzeba było używać bardzo silnego światła, do 100 świec, by oświetlić model należycie. Żeby uniknąć tej przykrości, Baird zaczął rozważać możliwość zastosowania promieni spoza widzialnego odcinka

widma. Z początku próbował promieni pozafioletkowych, ale niepowodzenia zmusiły go do zastosowania promieni podczerwonych. Cały przebieg jest taki sam, jak przy świetle widzialnym, gdyż komórka fotoelektryczna reaguje na promienie podczerwone. Ale reakcja ta jest inna niż oka: czerwień przekształca się na biel, kolor niebieski na czern, dym i para są na pół przezroczyste. Promieniowanie podczerwone inaczej się też odbija od tych samych powierzchni niż światło widzialne. Wreszcie — i to umożliwia właśnie widzenie w ciemności — promienie podczerwone istnieją nawet tam, gdzie nie ma światła widzialnego, np. w nocy lub w ciemnym pokoju.

Pierwszy pokaz telewizji na promieniach podczerwonych odbył się w Instytucie Królewskim w Londynie dnia 31 grudnia 1926 roku. W roku następnym odbył się drugi pokaz, na którym nie tylko wyraźnie były widoczne rysy twarzy modela, lecz również ruchy i zapalenie papierosa.

Zastosowania tego wynalazku mają szczególną wagę dla działań wojennych, umożliwiając obserwację nieprzyjaciela w nocy. Umożliwia on również sygnalizację przy pomocy promieni podczerwonych działających na fotokomórkę, zamiast stosowania światła widzialnego, odbieranego po prostu za pomocą oka. Ma to znaczenie dla żeglugi wodnej i powietrznej podczas mgły czy w nocy. Mgła jest dla podczerwieni około 16 razy bardziej przezroczysta niż dla światła widzialnego, tj. promienie podczerwone sięgają we mgle 16 razy dalej.

7. AKUSTYCZNA REJESTRACJA OBRAZÓW

Na zakończenie wspomnimy jeszcze o jednym wyniku prac Bairda. Prądy z fotokomórki nadajnika mogą być skierowane zamiast do przyrządu przekształcającego je na światło do innego urządzenia, które je przekształca na dźwięk, np. do telefonu. W ten sposób możemy „słyszeć“ obrazy. Okazuje się, że różne rodzaje przedmiotów dają charakterystyczne dla sie-

bie dźwięki. Np. ręka trzymana przed nadajnikiem daje dźwięk przypominający piłowanie bardzo tępym pilnikiem. Twarz ludzka daje wysoki gwizd, który zmienia wysokość z ruchami twarzy. Łącząc przewody z igłą aparatu do nagrywania płyt gramofonowych, możemy uzyskać trwałą rejestrację tych dźwięków. Płyty tak otrzymane można użyć odwrotnie do otrzymania obrazu przy pomocy znanego powszechnie adaptera gramofonowego, który przekształca drgania membrany na drgania prądu (doprowadzonego do głośnika radiowego). Jeżeli prąd ten przesłać do odbiornika telewizyjnego, otrzymamy na nim odpowiedni obraz. Mamy tu więc — obok zwykłego filmu — nową metodę rejestracji ruchomych obrazów.

K O N I E C

SPIS RZECZY

	Str.
Rozdział I. WIADOMOŚCI PODSTAWOWE O ELEKTRYCZ- NOŚCI	5
1. O magnesach i magnetyzmie 5. 2. Ładunek elektryczny 8. 3. Prąd elektryczny 14. 4. Ogniwa, baterie, akumulatory 18. 5. Pomiarы elektryczne i jednostki 23. 6. Elektryczność a magnetyzm 26. 7. Zasada indukcji elektromagnetycznej 29. 8. Prądnice i silniki elektryczne 31. 9. Transformatory 36.	
Rozdział II. PRODUKCJA PRĄDU ELEKTRYCZNEGO	39
1. Współczesne prądnice 39. 2. Turbozespoły 42. 3. Elek- trownie parowe 44. 4. Zakłady wodno-elektryczne 50. 5. Po- morskie elektrownie wodne 57. 6. Przesyłanie energii elek- trycznej 60. 7. Elektryfikacja powszechna 64.	
Rozdział III. OŚWIETLENIE ELEKTRYCZNE	69
1. Odkrycie światła łukowego 69. 2. Żarówka elektrycz- na 72. 3. Reklamy elektryczne 76. 4. Hodowla roślin przy pomocy elektryczności 82.	
Rozdział IV. O TELEGRAFIE ZWYKŁYM	85
1. Marzenia i fantazje 85. 2. Telegrafowanie przez wylado- wanie maszyny elektrycznej 86. 3. Telegraf elektrochemicz- ny 88. 4. Telegraf igłowy 88. 5. Samuel Findley Morse 89. 6. Telegraf Morse'a 90. 7. Walka o uznanie 92. 8. Mors współczesny 93. 9. Inne odbiorniki 94. 10. Układ prze- ciwsołbny 96. 11. Zasady automatów telegraficznych 98. 12. Aparat drukujący Hughesa 100. 13. Nadawanie pośpiesz- ne z taśmy 102. 14. Aparaty wielokrotne, pośpieszne i dru- kujące 103. 15. Dalekopisy 107. 16. Telegrafia na prądach nośnych 108. 17. Linie telegraficzne 112.	
Rozdział V. TELEFON	117
1. Pierwsze próby 117. 2. Bella „telefon mówiący“ 120. 3. Edi- son ulepsza wynalazek Bella 124. 4. Mikrofon Hughesa 128.	
Rozdział VI. ŁĄCZNICE TELEFONICZNE	133
1. Aparatura abonenta 133. 2. Sieć z baterią centralną 135.	

3. Łączenie abonentów 136.
4. Łączenie z polem wielokrotnym 139.
5. Stacje automatyczne 141.
6. Centrala automatyczna systemu Strowgera 143.
7. System Ericssona 150.
8. Liczby 153.

Rozdział VII. O TELEGRAFIE BEZ DRUTU	155
1. Początki 155.	
2. Sygnalizowanie przez wodę 157.	
3. Sygnalizowanie przez „powietrze“ 160.	
4. Odkrycie fal Hertza 165.	
5. Pierwsze rozwiązanie 169.	
6. Próby między Anglią a Francją 172.	
7. Wprowadzenie strojenia 175.	
8. Przez ocean Atlantycki 179.	
Rozdział VIII. TELEFONIA BEZDRUTOWA	183
1. Zasady 183.	
2. Wczesne próby z łukiem elektrycznym i prądnicą 185.	
3. Atomy i elektrony 191.	
4. Działanie lampy elektronowej jako prostownika i wzmacniacza 192.	
5. Lampy nadawcze 197.	
Rozdział IX. ODKRYCIE PROMIENI RENTGENA	201
1. Jak prąd płynie przez gazy 201.	
2. Promienie katodowe 205.	
3. Współczesne rury rentgenowskie 208.	
4. Przyszłość 212.	
Rozdział X. PROMIENIE RENTGENA W MEDYCYNIE	215
1. O promieniowaniu w ogóle 215.	
2. Niespodziewane niebezpieczeństwo 220.	
3. Promienie Rentgena na usługach chirurga 222.	
4. Elektroterapia 225.	
Rozdział XI. PROMIENIE RENTGENA W PRZEMYSŁE I NAUCE	229
1. Zadanie 229.	
2. Metoda 232.	
3. Dalsze zastosowania 236.	
4. Badanie budowy krystalicznej 239.	
Rozdział XII. ELEKTRYCZNOŚĆ PRZENOSI OBRAZY	243
1. Cudowna komórka 243.	
2. System Rangera 246.	
3. System Belina 252.	
4. System American Telephone and Telegraph Company 255.	
5. System Marconiego-Wrighta 260.	
6. Korzyści fototelegrafii 264.	
Rozdział XIII. TELEWIZJA	267
1. System Ruhmera 267.	
2. Systemy Mihalyego i Alexandersona 271.	
3. System Bairda 273.	
4. System Ivesa 278.	
5. Zastosowanie promieni katodowych: ikonoskop 279.	
6. „Widzenie“ w ciemności 283.	
7. Akustyczna rejestracja obrazów 284.	