



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

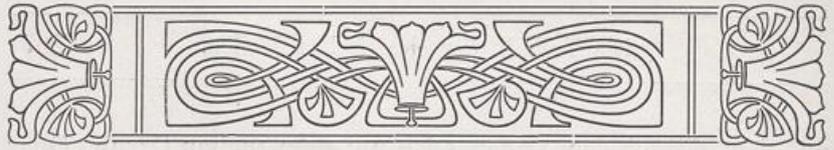
Glückliche Stunden

Slaby, Adolf

Berlin, 1908

9. Resonanz und Dämpfung elektrischer Wellen

[urn:nbn:de:hbz:466:1-73872](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-73872)



9.

Resonanz und Dämpfung elektrischer Wellen.

(1906.)

Seit den ersten Versuchen Marconi's, im Jahre 1897, hat sich die Funkentelegraphie zu einer technischen Wissenschaft entwickelt, und vieles, was damals fast wunderbar schien, sitzt heute fest in unserem Ideenkreise. Vielen meiner Zuhörer ist das Thema zwar etwas fernliegend, doch fürchte ich nicht, schwer verstanden zu werden, wenn wir uns gemeinsam auf den Boden des Ingenieurs stellen, der lediglich die Erscheinungen beobachtet, ihre Gesetze ermittelt und aus deren Kenntnis die Mittel ableitet, um die Kräfte der Natur in bestimmte Bahnen zu lenken. Dies nennt man „Erfinden“. Wie mancher kluge Diener seinen Herrn, suchen auch wir die Meisterin Natur dienend zu beherrschen. Die Nützlichkeitslehre ist die einzige, von welcher der Ingenieur sich leiten lassen darf, will er nicht auf Abwege geraten. Das Fragen nach dem Warum und Wie überlassen wir andern Forschern, von welchen wir uns aber reinlich scheiden wollen unter Beherrschung von Goethes Warnung: Das ist eine von den alten Sünden: sie meinen Rechnen das sei Erfinden.

Unsere Kenntnis der elektrischen Phänomene verdanken wir wenigen bahnbrechenden Naturbeobachtern. Der Name

des ersten verschimmt im Nebel der Vorzeit, er erkannte zuerst die anziehende Kraft des geriebenen Bernsteins. Sie zeigt uns die Spannkraft der Elektrizität. Ihre mächtigste Äußerung erblicken wir in der Natur im Gewitterblitz, dem „gesammelten Feuer“ der Alten. Diese Bezeichnung ist nicht unzutreffend, denn tatsächlich handelt es sich dabei um Ansammlung dessen, was wir Elektrizität nennen. Die Flasche des Domherrn von Kleist, die man ganz zu Unrecht Leydenerflasche benannt hat, zeigt uns dieselbe Erscheinung. Auf zwei Metallbelegungen, durch Glas getrennt, können wir die Elektrizität genau so ansammeln, wie sie auf Gewitterwolken sich staut, bis die Auslösung der elektrischen Überspannung durch Blitzentladung erfolgt, sowie der angesammelte Zorn eines Menschen sich durch heftige Entladung Luft macht und eine schwüle Atmosphäre beseitigt. Hier wie dort herrscht ein deutlicher Dualismus, die eine Seite ist in gereizter Überspannung, die andere, gegen die sich der Zorn entlädt, in deprimierter Unterspannung. Die ersten technischen Mittel zur Hervorrufung starker elektrischer Spannungsunterschiede verdanken wir dem erfinderischen Bürgermeister von Magdeburg Otto von Guericke.

Näher gerückt ist uns das Wirken des zweiten Bahnbrechers Volta, der am Ende des 18. Jahrhunderts auf Grund einer Beobachtung Galvanis am Froschschenkel die künstliche Hervorrufung einer neuen, bis dahin unbekanntes, elektrischen Erscheinung erfand, den elektrischen Strom. Die Erzeugungsmittel waren chemischer Art, seine Erfindung wirkte darum fördernd zurück auch auf die Kenntnis der chemischen Kräfte der Natur, und die Wende des Jahrhunderts wurde die Geburtsstunde eines Zwillingspaars, gleich bedeutsam für die Neuzeit, der Chemie und der Elektrotechnik.

Der Strom ist der Ausgleich elektrischer Spannungsdifferenzen auf einem vorgeschriebenen, zumeist metallischen Wege. Die neue elektrische Erscheinung, welche dabei in und am verbindenden Draht auftritt, führt man zurück auf ein fließendes Etwas, dessen Natur die Forschung bisher

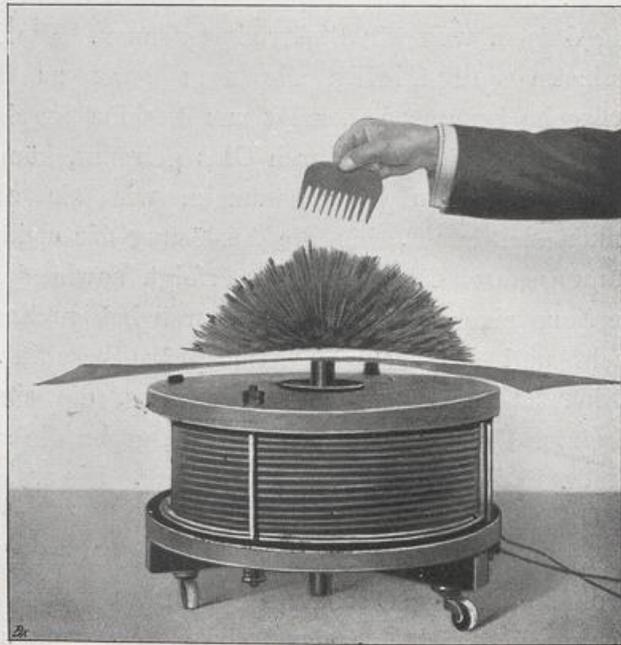


Fig. 117.

vergeblich zu ergründen versuchte. Die Natur-Philosophie der Alten ließ völlig im Stich, denn sie kannten die Erscheinung überhaupt nicht. Die Philosophie des 19. Jahrhunderts half sich nicht allzu geistreich, denn einer ihrer ersten Vertreter definierte den elektrischen Strom als zerbrochenen Magnetismus. Das hat uns wenig genutzt, und das elektrische Zeitalter wäre schwerlich gekommen, wenn die Technik sich nur bemüht hätte, bessere Erklä-

rungen zu versuchen, anstatt die Kenntnis der Erscheinungen zu fördern und Mittel zu erfinden, um sie nützlich zu verwerten.

Die schnell erkannten Wirkungen des elektrischen Stromes beziehen sich, außer auf die schon genannten chemischen Kräfte,

auf Wärme und Licht. Jeder vom

Strom durchflossene Draht erwärmt sich und sendet bei gesteigerter Zufuhr

Lichtstrahlen aus, wie dieser lange eiserne Draht, der wie eine glühende

Schlange sich durch den Saal zieht.

20 Jahre nach Volta beobachtete

der Däne Oersted eine neue überraschende Wirkung des Stromes: er sieht zuerst die Ablenkung der Magnethöhle und erkennt damit das Auftreten magnetischer Kräfte außerhalb des vom Strom durchflossenen Drahtes. Wiederum eröffnet sich eine neue Welt für die Betätigung der Technik. Arago erfindet den Elektromagneten, indem er den Strom in zahlreichen Windungen um einen Eisenkern herumführt. Starke Kraftwirkungen gehen davon aus. Durch dicken Karton hindurch wirkt er auf die regellose Masse der Eisenfeilspäne, die ich wie eine zähe Flüssigkeit aus einer Flasche darüber schützte und ordnet ihre Struktur wie zu einem aufgebäumten

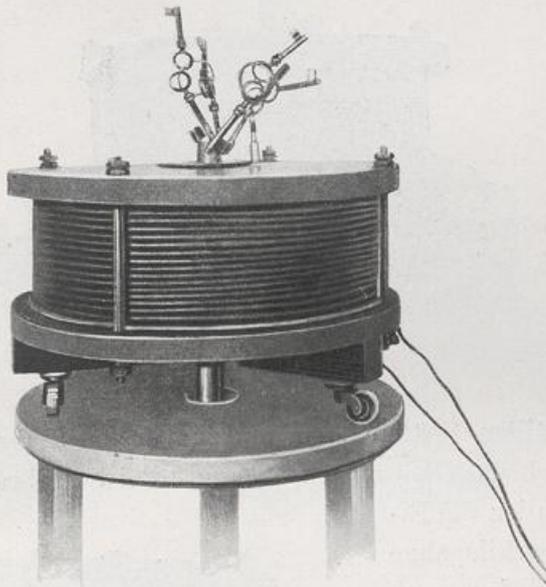


Fig. 118.

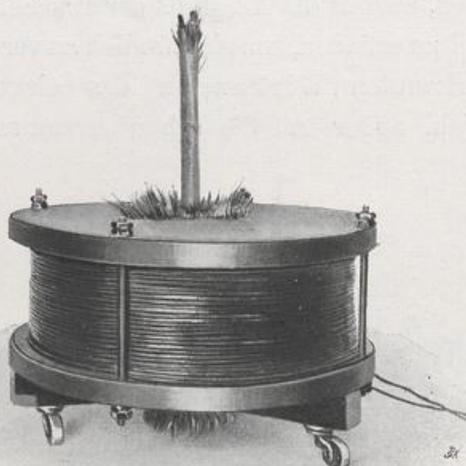


Fig. 119.

gefüllten Spähne erstarren zum festen Stabe (Fig. 119), so daß ich das Glas abziehen kann. Bei Unterbrechung des Stromes

fallen die Eisenfeilspähne wieder zum regellosen Chaos (Fig. 120) zusammen. Lebhaft wirkten diese Kraftäußerungen auf den Geist eines jungen

amerikanischen Malers, der die magneterregende Wirkung mit Hilfe dünner Drähte in weite Fernen trägt und die nach ihm benannte Morse-Telegraphie erfindet.

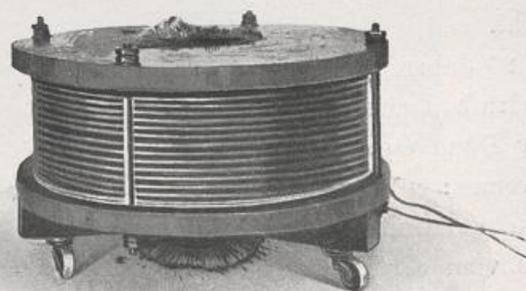


Fig. 120.

Pferdeschweif, den ich mit einem Roßkammstrahlen kann (Fig. 117). Ein Schlüsselbund wird meiner Hand entrissen und fliegt hinüber (Fig. 118), um in bizarren Formen kleben zu bleiben. Die in ein dickes Glasrohr einge-

Gehen wir von einer Grundtatsache aus, indem wir einen geradlinigen vom Strom durchflossenen Leiter betrachten. Nach welchen Gesetzen ordnen sich die magnetischen Kräfte im umgebenden Luftraum? Eine Reihe von Magnetnadeln

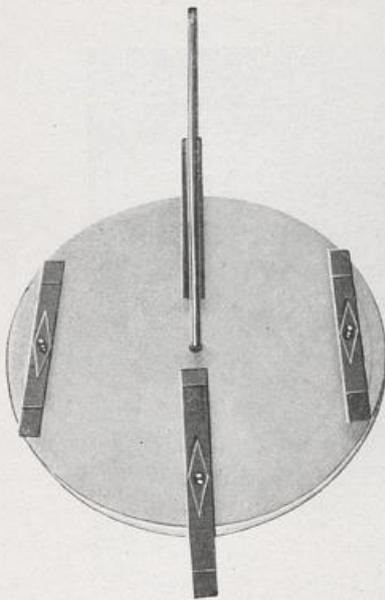


Fig. 121.

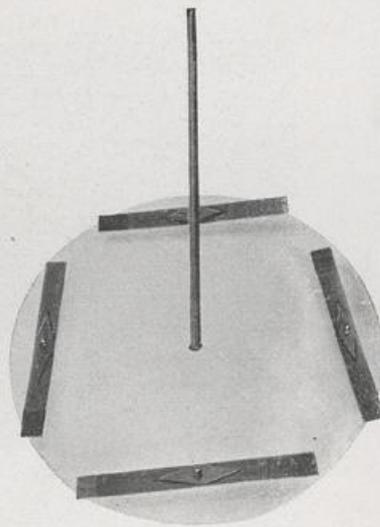


Fig. 122.

(Fig. 121) sind hier rings um den Draht gestellt. Sie orientieren sich in bekannter Weise nach dem magnetischen Nordpol der Erde. Schalte ich den Strom ein, so erfahren sie alle eine Ablenkung, sie gruppieren sich zu einer geschlossenen eisernen Linie (Fig. 122) rings um den Draht. Hieraus folgt, daß die magnetische Kraft den stromführenden Draht umkreist wie ein Wirbelwind, dessen Kraft mit der Entfernung vom Drahte abnimmt. Aber nicht nur eine richtende Kraft nehmen wir wahr, die auf schon vorhandene Magnete wie diese Nadeln, einwirkt, sondern auch eine magnet-

erzeugende Wirkung. Wären die Nadeln aus jungfräulichem Eisen, dessen Moleküle die Zwangswirkung magnetischer Kraft noch niemals verspürt, auch sie würden sich richten, und, wenn aus Stahl, den Magnetismus sogar dauernd behalten. Die Erscheinung wird noch deutlicher, wenn wir

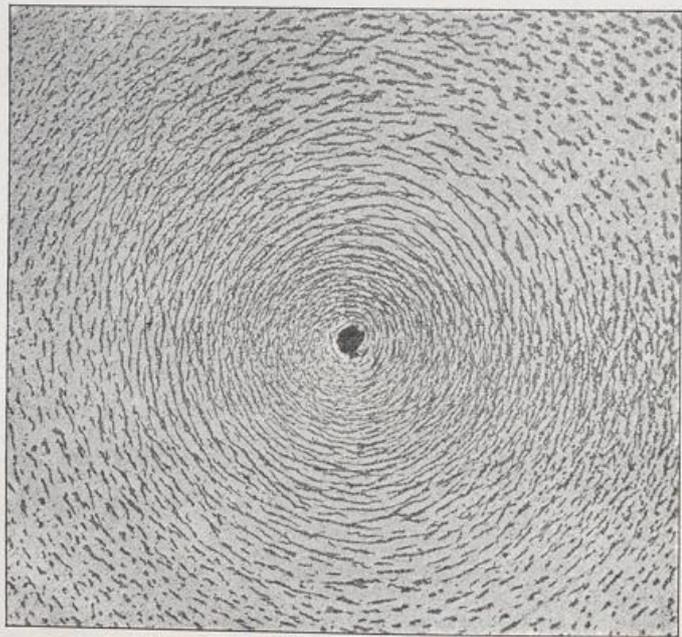


Fig. 123.

statt der Nadeln die winzigen Teile eines unmagnetischen Eisenpulvers verwenden und auf eine Glasplatte streuen, die der stromführende Draht senkrecht durchschneidet. Wir wollen das Bild vor der elektrischen Laterne erzeugen und in starker Vergrößerung (Fig. 123) auf die Tafel werfen. Sie sehen, wie bei vorsichtigem Klopfen die Eisenteile sich in Reih und Glied ordnen in konzentrischen Kreisen rund um den Draht. Alle machen gleichsam Front gegen den

kommandierenden Strom. Wir schließen hieraus, daß die magnetischen Kräfte immer senkrecht stehen zu den am Drahte wirkenden elektrischen Kräften. Die eisernen Glieder stehen still, wie mit präsentiertem Gewehr.

Welches Leben können wir aber in ihre Reihen bringen, wenn wir statt des gleichförmigen Volta-Stromes den pendelnden Wechselstrom Faraday's verwenden. Eines Grobschmieds Sohn war es, der den erstaunten Vertretern der Schulwissenschaft im ersten Drittel des vorigen Jahrhunderts die wunderbaren Wirkungen einer neuen Stromart zeigte und die Mittel zu ihrer Erzeugung erfand. Charakteristisch ist die Geschichte dieser Erfindung. Faraday erzählt, wie ihn jahrelang der Gedanke erfüllt habe, der Erfindung Arago's: die Erzeugung eines Magneten durch den elektrischen Strom, eine zweite an die Seite zu stellen: die Erzeugung des elektrischen Stromes durch einen Magneten, denn allen Naturerscheinungen wohne das Prinzip der Dualität inne. In seinen Mußestunden pflegte er einen Arago'schen Magneten, den er in der Westentasche stets bei sich trug, hervorzuholen und den kleinen Eisenkern mit seiner Drahtwicklung sinnend zu betrachten. Endlich kam die Stunde der Intuition, er erkannte, daß ein neues Moment dazu erforderlich war: die Bewegung. Überaus einfach lautet das von ihm erkannte Naturgesetz. Wenn man einen Draht über dem Magneten bewegt, so entsteht in dem Draht ein elektrischer Strom, das folgende Experiment wird uns die Tatsache zeigen und zugleich noch mehr: auch durch Umkehr der Bewegung entsteht ein Strom, jedoch von entgegengesetzter Wirkung, wir deuten sie als eine Umkehr seiner Richtung.

Ein dicker Kupferstab ist Teil einer Drahtschleife, die ein empfindliches Instrument enthält zum Nachweis auf-

tretender Ströme. (Fig. 124.) Eine Magnetnadel wird dadurch abgelenkt und zeigt die Bewegung und ihre Richtung durch einen Spiegel, der auf jene Wand einen Lichtfleck wirft. Fahre ich mit dem Kupferstab über dem Magnetpol

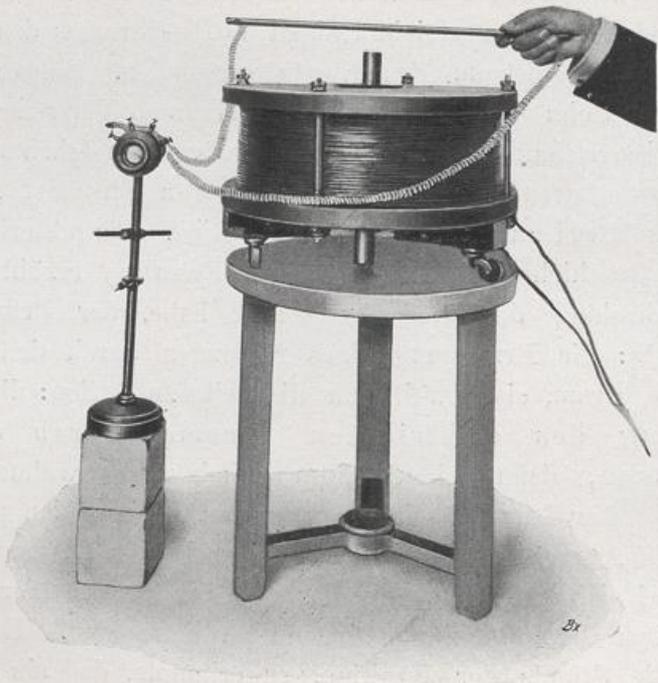


Fig. 124.

hin und her, so zeigt die pendelnde Bewegung des Lichtflecks das Hinundherwogen der elektrischen Kraft; es entsteht ein Strom von wechselnder Richtung, ein Wechselstrom, wie man ihn kurz benannt hat. Die Erfindung ist von weittragendster Bedeutung: sie lehrt uns die mechanische Erzeugung starker Ströme und begründet damit die Elektrotechnik, die Anwendung der durch Maschinen erzeugten Elektrizität.

Rotierende Drahtmassen, auf die sogenannten Anker der Dynamomaschinen gewickelt, nähern und entfernen sich von den Polen mächtiger Elektromagnete und erzeugen einen pendelnden Strom, den man in weitverzweigte Kabelnetze leiten und mannigfach verwerten kann. Es ist zu beachten, daß unsere Maschinen immer nur Faraday'sche Wechselströme erzeugen, die wir aber für manche Verwendung durch künstliche Einrichtungen in Volta'sche Gleichströme umwandeln.

Die heute zu erörternden Erscheinungen betreffen lediglich Wechselströme, die man zur Erleichterung gegenseitigen Verständnisses in bildlicher Form darzustellen pflegt. Denken wir (Fig. 125) uns an irgend einer Stelle des von Wechselstrom durchflossenen Drahtes *AB* bei 0 einen Apparat eingeschaltet, der die augenblickliche Stärke des Stromes anzeigt und zu messen gestattet. Die Stärke desselben wollen wir auf einer in 0 Senkrechten abgetragen denken, sie steigt dann von 0 über 1 nach 2, fällt wieder ab über 3 auf 0. Tragen wir der wechselnden Stromrichtung dadurch Rechnung, daß wir die folgenden Ströme nach unten auftragen, so wachsen dieselben von 0 über 4 nach 5 und fallen über 6 wiederum auf 0, um das Spiel von neuem zu beginnen. Wir nehmen ein Auf- und Abwogen der Stärke des Stromes wahr, das bei zeitlicher Auseinanderziehung die Form einer Welle annimmt. Die Zeit, welche einen Wellenberg und ein darauf folgendes Wellental umfaßt, nennt man die Periodenzeit, die Anzahl derselben in einer Sekunde die Frequenz des Wechselstromes. Die Starkstrom-Technik verwendet zumeist geringe Frequenzen, etwa 50 in der Sekunde.

Die Oersted'sche Entdeckung hat unsere Sinne geschärft: wir wissen, daß in der Umgebung des Drahtes magnetische Kräfte auftreten, welche mit dem Anschwellen des

Stromes zunehmen, mit dem Abklingen sich schwächen und bei jeder Umkehr des Stromes ihre Richtung gleichfalls wechseln. Dem Menschen fehlt ein magnetischer Sinn, trotz der gegenteiligen Behauptung der Magnetopathen, wir können deshalb das Auf- und Abwogen der magnetischen Kraft nicht direkt wahrnehmen, wir bedürfen dazu künstlicher magnetischer Augen. Ein solches wäre die Magnetnadel, schnellen

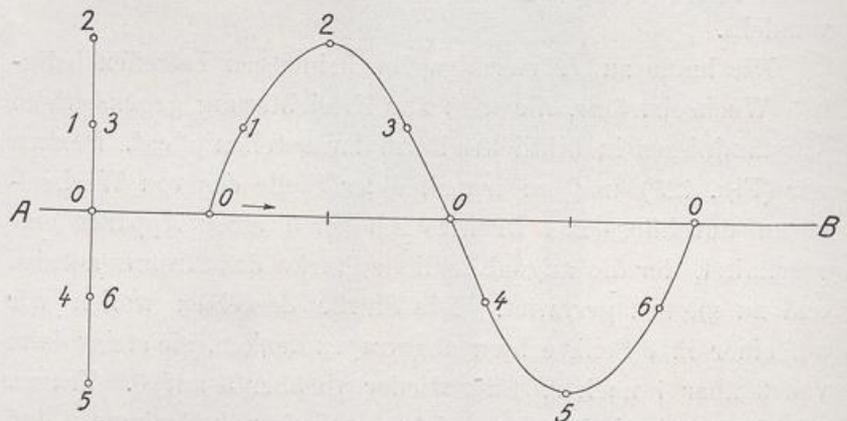


Fig. 125.

Schwingungen würde sie aber der Trägheit ihrer Masse wegen nicht folgen können. Ein anderes wirksames Mittel enthüllte sich dem Genius Faraday's, es folgt wieder aus dem Prinzip der Dualität. Das Hin- und Herpendeln des Stromes ruft magnetische Wallungen im Außenraum hervor. Das Hin- und Herwogen der magnetischen Kraft erzeugt wiederum in einem anderen unbeteiligten, gleichsam jungfräulichen Draht elektrische Schwingungen von gleicher Frequenz, man nennt dies eine Transformation. Die im Raume schwingenden Kräfte übertragen den Strom von Draht zu Draht ohne verbindende metallische Leitung.

Ein Experiment wird uns dies zeigen. Hier steht ein Aragoscher Elektromagnet, wir führen durch seine Spiralwindungen einen kräftigen Wechselstrom, erzeugt im Ma-



Fig. 126.

schinensaale. (Fig. 126.) Eine zweite Drahtspule halte ich in der Hand, nähere ich sie dem Elektromagneten, bringe ich sie in das schwingende magnetische Feld desselben, so wird sie gleichfalls von Wechselströmen durchzuckt. Um sie nachzuweisen habe ich mit den Windungen der Spule eine kleine Glüh-

lampe verbunden, ihr Aufleuchten zeigt uns das Auftreten des sogenannten sekundären Stromes.

Die überraschende Möglichkeit einer Kraftübertragung durch den Raum tritt uns hier zum ersten Male entgegen. In der Luftleere würde das Experiment genau so glücken, es ist also nicht das Luftmeer, welches die magnetischen Wellen schlägt, was ist es sonst? Die Natur breitet zur Zeit noch einen undurchdringlichen Schleier darüber, in scheuer Ehrfurcht zieht sich der Techniker zurück; die physikalische Forschung ist dreister, sie hat schon den Schleier berührt. Ob sie ihn aber jemals völlig heben wird? An den starken Wirkungen der geheimnisvollen Naturkraft erfreut sich jedoch das Auge des Ingenieurs. Er übersieht sofort die Möglichkeit einer nützlichen Verwertung. In den Transformatorenhäuschen, die Sie in Charlottenburg hie und da auf den Straßen finden, an den Blitzpfeilen kenntlich, sind zwei solcher Spulen untergebracht, sie sind übereinander oder nebeneinander angeordnet, jedoch ohne metallische Berührung. Durch die Primärspule flutet der Wechselstrom, den die Zentrale mit mächtigen Dampfmaschinen am Spreuerfer erzeugt, auf die sekundäre Spule wird durch das schwingende Magnetfeld die für den Stadtbezirk erforderliche Elektrizität übertragen.

Eine Erweiterung erfuhren die Faraday'schen Gesetze durch Heinrich Hertz. Er zeigte uns, daß der magnetische Wellenschlag des durch elektrische Pulsationen erschütterten Raumes in desto weitere Entfernungen getragen wird, je schneller die Pulsationen erfolgen. Er fand zugleich die Mittel zu Erzeugung elektrischer Schwingungen, die millionenmal schneller auf- und niederzucken als diejenigen Faraday's. Durch mechanische Bewegung der Drähte ist diese Aufgabe nicht lösbar. Dies verbietet die Trägheit der Materie, ihre Reibung und die bei schneller Rotation auftretende Fliehkraft.

Betrachten wir seine Erfindung gleich in der Form, welche ihr Marconi bei seinen ersten epochemachenden Versuchen gegeben hat.

Ein Draht hängt senkrecht über einer leitenden Fläche, ohne sie zu berühren; durch vorübergehende Verbindung mit einer elektrischen Spannungsquelle wollen wir ihn geladen denken. (Fig. 127.) Ob wir dazu ein geriebenes Stück Bernstein, oder eine große, von Elementarkraft getriebene Maschine verwenden, bleibt sachlich gleich. Wir sprechen von einer Ladung des Drahtes und wollen damit ausdrücken, daß eine gewisse Quantität der elektrischen Eigenschaft gleichsam eingefüllt wird,

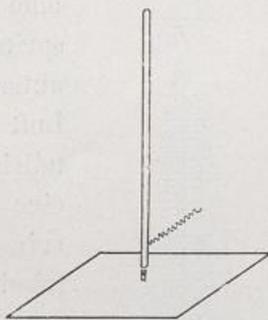


Fig. 127.

wie Wasser in einen Schlauch oder Wurstdarm. Wie dieser für das Wasser, so hat auch der Draht nur eine bestimmte Aufnahmefähigkeit für die elektrische Eigenschaft. Da der Schlauch elastisch, ist diese vom Druck des Wassers abhängig; wollten wir darum den Fassungsraum beziffern, so gälte dies nur für einen bestimmten Druck. Auch die elektrische Aufnahmefähigkeit ist vom Druck oder der elektrischen Spannung abhängig. Für einen bestimmten Druck ist die Aufnahmefähigkeit immer die gleiche, man nennt sie die elektrische Kapazität. Denken wir uns den Wasserdruck in dem Schlauch über eine zulässige Grenze gesteigert, was tritt ein? Der Schlauch zerplatzt und zwar an seiner schwächsten Stelle, das Wasser spritzt aus. Auch der Draht kann die elektrische Spannung nur bis zu einer bestimmten Grenze ertragen, überschreiten wir diese, so spritzt auch die Elektrizität, d. h. die elektrische Eigenschaft gleichsam aus an der schwächsten Stelle;

diese ist hier am unteren Ende, denn die darunterliegende leitende Fläche übt eine saugende Wirkung aus, sie hat der Spannung des Drahtes gegenüber stets eine Unterspannung. Ähnliches würde der Wasserschlauch zeigen, wenn das untere Ende von einer Kapsel umschlossen wäre, in welcher wir

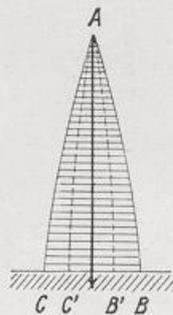


Fig. 128.

eine Luftverdünnung erzeugten. Das Auspritzen der elektrischen Eigenschaft erfolgt unter gewaltigem Druck, die durchspritzte Luft erhitzt sich dabei, mitgerissene Drahtteilchen kommen ins Glühen und wir nehmen eine Lichterscheinung wahr: den elektrischen Funken. Das Überfließen der elektrischen Eigenschaft nennen wir Strom.

Der Vorgang vollzieht sich aber unter starker Spannung mit allen Kennzeichen der Elastizität. Wie eine gespannte Feder nach ihrer Auslösung, d. h. nach plötzlicher Beseitigung der Hemmung, über die Gleichgewichtslage hinauschießt und erst nach einer Reihe von zitternden Schwankungen zur Ruhe kommt, so geht auch hier die elektrische Eigenschaft in die pulsierend bewegte Form über, in einen Wechselstrom, aber von einer so ungeheueren Frequenz, wie wir sie durch mechanische Bewegungsmittel auch nicht annähernd erzeugen können. Die elektrische Spannung des Drahtes wechselt dabei unaufhörlich zwischen Überdruck und Unterdruck, während die glühende Funkenstrecke eine den Draht mit der Erde verbindende Bahn darstellt.

Die Strömung nimmt dabei eine eigenartige Form an; da das Abfließen der Ladung von allen Stellen des Drahtes zugleich erfolgt, muß die Stärke des Stromes nach unten hin zunehmen. In einem bestimmten Moment haben wir also eine Stromverteilung wie sie die Figur 128 in *AB* uns zeigt,

wenn wir die Stärke der Strömung an jeder Stelle durch eine wagerechte Linie angeben. Dabei nimmt die Ladung allmählich ab, so daß im nächsten Moment nicht mehr AB sondern AB' die Stromverteilung veranschaulicht. Nach völligem Verschwinden der Ladung beginnt, dem oscillierenden Charakter der Erscheinung entsprechend, ein Zurückfließen des Stromes. Tragen wir der Richtungsänderung Rechnung, so können wir die Stärke dieser Strömung durch wagerechte Linien nach links darstellen. Dem Anschwellen der Strömung entspricht ein Übergang von AC' nach AC .

In umgekehrter Weise verhält sich die Verteilung der Spannung. Dort, wo das Fließen am geringsten, an der Spitze des Drahtes, staut sich die Ladung, die Spannung ist dort am größten, unten ist sie immer im Fließen, daher ohne jede Spannung. Die Fig. 129 zeigt uns die Spannungsverteilung, wenn wir den Überdruck nach rechts, den Unterdruck nach links auftragen. Wen erinnerte dieses Bild nicht an eine schwingende Latte, die an ihrem unteren Ende festgeklemmt ist? Den elektrischen Spannungen entsprechen die seitlichen Ausbiegungen der Latte von ihrer Gleichgewichtslage.

Die ganze Schwingung entspricht einer sogenannten stehenden Wellenbewegung. Dies wird uns klar, wenn wir irgend eine Welle betrachten, z. B. eine solche, die wir an einem ausgespannten Seil erzeugen. Wäre dasselbe unendlich lang, so würde jede Erschütterung des Anfangs in Form einer Welle am Seil dahinlaufen. Nehmen wir eine begrenzte Länge; die hineilende Welle wird jetzt am Ende reflektiert, sie läuft zurück und wir erhalten das Phänomen einer stehenden Welle. Jedes Seilteilchen erfährt von der hineilenden Welle Aus-

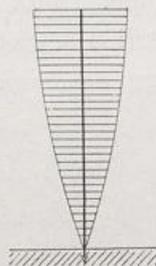


Fig. 129.

bauchungen nach oben und unten, ebenso von der reflektierten, an einzelnen Stellen verstärken sie sich, weil sie gleichgerichtet sind, an anderen erfahren sie eine Schwächung, weil sie gegeneinander wirken. Es gibt Stellen, wo sie gleich und entgegengesetzt gerichtet sind, dort bleibt das Seilteilchen in Ruhe. Man nennt diese Stellen die Knotenpunkte, die Stellen stärkster Ausbiegung dagegen die Bäuche. Die Entfernung zweier Knotenpunkte (Fig. 130) gibt uns die halbe

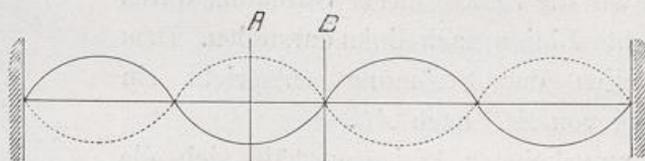


Fig. 130.

Wellenlänge. Greifen wir nun einen Abschnitt AB heraus, so sehen wir sofort die Übereinstimmung mit der schwingenden Latte; wir erkennen, daß sie in einer stehenden Viertelwelle schwingt. Dies zeigt uns die Möglichkeit, den Begriff der stehenden Welle auch auf den elektrischen Schwingungszustand eines Drahtes zu übertragen. Unten an der Erde, d. h. an der leitenden Fläche haben wir den Knotenpunkt der elektrischen Spannung, oben den Bauch. Umgekehrt verhält sich die Schwingung der Strömung, sie hat oben den Knoten und unten den Bauch.

Der sich zur Erde entladende Draht ist von elektrischen Pulsationen durchzuckt, die im stetigen Wechsel ihre Richtung umkehren. Der umgebende Raum wird dadurch magnetisch erregt, d. h. es werden magnetische Wirbel rund um den Draht hervorgerufen, die ihre Stärke und Richtung im gleichen Tempo ändern. Legen wir durch den schwingenden Draht an irgend einer Stelle eine horizontale Ebene und tragen wir

die rechtwinklig zum Strom schwingende magnetische Kraft nicht in der Ebene selber, sondern als Senkrechte auf, so nimmt diese Linie zu und ab. Bei Stromumkehrungen ändert auch die Kraft ihre Richtung, wir tragen sie im Bilde nach unten auf. An jeder Stelle der Ebene schwankt also die magnetische Kraft hin und her. Werfen wir auf eine ruhende Wasseroberfläche einen Stein, so entstehen ringförmige Wellen, die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreiten. Genau so verhalten sich die magnetischen Wellen, von denen uns Heinrich Hertz gezeigt hat, daß sie mit Lichtgeschwindigkeit, 300 000 km in einer Sekunde, ihre Radien vergrößern. Treffen sie nun auf ihrem Wege ein Hindernis, etwa einen Draht, so werden sie zum Teil dort zurückgeworfen, zugleich bilden sich im Drahte stehende Wellen aus. Die Intensität des Wellenschlages hängt von dem erzeugenden Strom ab, in den weiter unten liegenden Horizontalebene entstehen also stärkere Wellen als in den oberen, deshalb zeigt der Auffangedraht die gleiche Verteilung der Stromstärke wie der Sendedraht. Die elektrischen Spannungen verhalten sich umgekehrt, sie sind oben am stärksten. Die leitende Fläche oder die Erde, welche wir bei den bisherigen Betrachtungen dem schwingenden Draht gegenübergestellt haben, ist wie ein Reservoir zu betrachten, welches die im Funken übertretende elektrische Eigenschaft aufnimmt, um sie beim Zurückschwingen dem Drahte wieder mitzuteilen. Wir können sie auch ersetzen durch einen gleich langen Draht. Für Versuche im Zimmer ist dies zu empfehlen, da wir isolierte Drähte leichter ausspannen können als größere leitende Flächen. Dort hinten im Saale ist ein solcher Draht mit isolierenden Fäden zwischen den gegenüberliegenden Wänden gehalten. In der Mitte ist er metallisch unterbrochen. Laden wir ihn mit gespannter Elektrizität, bis der Funke sich bildet, so pendelt

die Spannung entsprechend der Winkelbreite zwischen den punktierten Linien der Fig. 131. Der gesamte Draht schwingt jetzt in einer stehenden halben Welle. Hier vorn ist ein Auf-fangedraht von gleicher Länge gespannt, aber nicht unterbrochen in der Mitte, er nimmt unter dem Einfluß der heran-

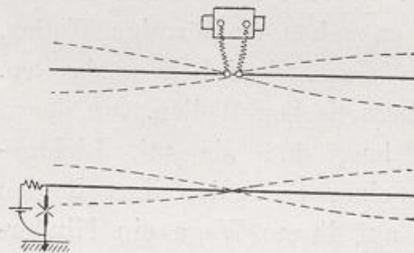


Fig. 131.

flutenden magnetischen Wellen, die gleiche Spannungsverteilung an. Nähere ich meinen Finger dem freien Ende, so sehe ich kleine Funken übersprühen und fühle ihr leichtes Prickeln. Ich will sie Allen sichtbar machen, indem ich sie benutze, um

eine stärkere elektrische Kraft auszulösen. Eine Bogenlampe ist zu diesem Zwecke dort aufgestellt, die Kohlen sind durch einen kleinen Zwischenraum getrennt. Trotz ihrer Verbindung mit den Polen einer starken Batterie kann ein Strom nicht übertreten, weil die Spannung der Batterie zu gering ist, um den Zwischenraum durch einen Funken zu überbrücken. Erzeuge ich aber Schwingungen, so erhöhe ich damit die elektrische Spannung an den Kohlen um mehr als das tausendfache, die Schwingungsfunken spritzen nun über, und die hoch erhitzte Luftbahn der Funken bildet eine Brücke für den Übertritt des Batteriestromes. Diesen Moment zeigt uns das Aufleuchten blendenden Lichtes. Der Strom der Schwingungsfunken wäre zu gering um die Lampe zum Leuchten zu bringen: er holt sich gleichsam Vorspann aus der Batterie. Mit solcher Einrichtung können wir aber noch nicht telegraphieren, denn wollte man die Punkte und Striche des Morsealphabets durch kürzeres und längeres Leuchten der Lampe hervorrufen, so müßte erst noch ein Mittel erfunden werden,

um das Funktionieren der Lampe vom Sendeort aus auch wieder zu unterbrechen. Eine selbsttätige Unterbrechung hat der russische Professor Popoff erfunden, der vor wenigen Wochen verstorben ist. Diese Erfindung hat die drahtlose Telegraphie in ihren Anfangsstadien ermöglicht. Er hat die großartige Verwertung derselben während des russisch-japanischen Krieges noch erlebt. Wir wollen einen Ruhmeskranz auf sein frisches Grab legen.

Ich habe hier im Modelle eine solche Telegraphiereinrichtung aufgestellt (Fig. 132a und 132b), welche ein drahtloses Korrespondieren von einer Ecke des Saales zur andern ermög-

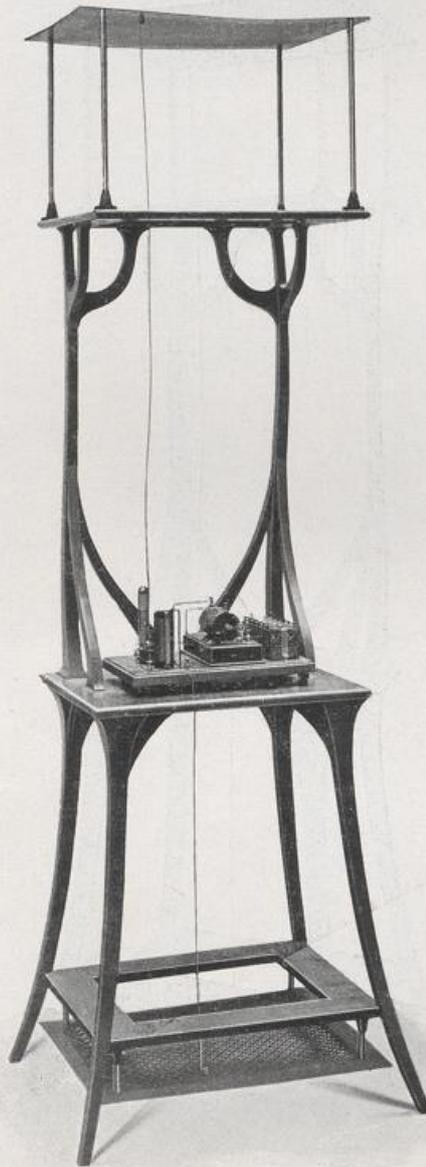


Fig. 132a.

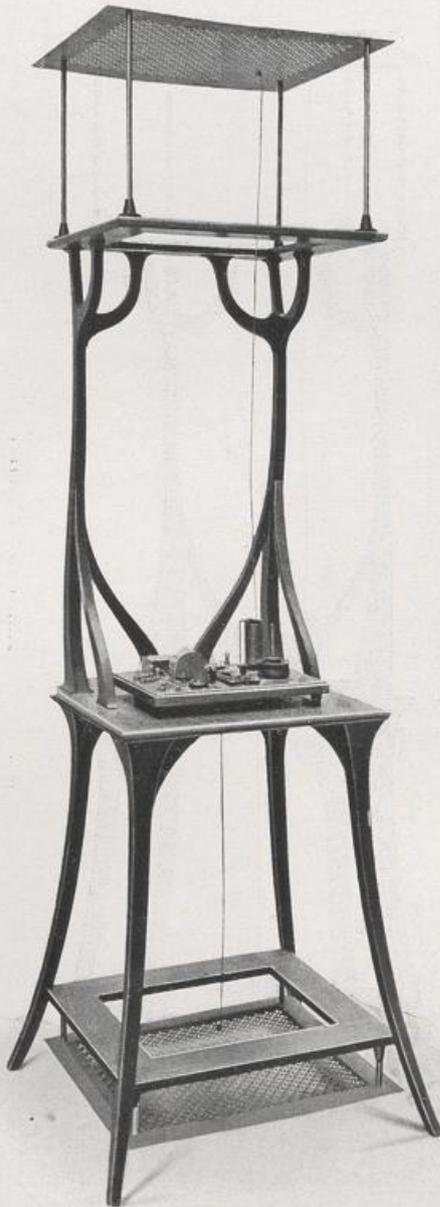


Fig. 132b.

licht, bei entsprechender Vergrößerung könnten wir damit meilenweit telegraphieren.

Wir bedienen uns dabei einer Erfindung des französischen Forschers Branly, welche ähnliches leistet wie die oben benutzte Bogenlampe. In einer winzigen Glasröhre ist zwischen zwei Metallkolben metallisches Pulver eingeschlossen. (Fig. 133.) Da die einzelnen Teilchen desselben sich nur in Spitzen oder überaus scharfen Kanten berühren, so bieten sie für den Durchgang des Stromes einen enormen Widerstand. — Befindet sich ein solches Röhrechen, in

Deutschland Fritter genannt, an der Stelle einer Empfangsleitung, die beim vorigen Versuch die Bogenlampe einnahm, so kann auch hier eine an die beiden Kolben geschlossene Gleichstromquelle einen Strom nicht liefern. (Fig. 134.) Der hohe Widerstand des Fritterpulvers wirkt wie eine Unterbrechung der Leitung. Wird aber durch heranwogende magnetische Wellen elektrische Spannung im Auffangedraht hervorgerufen, so springen feine Fünkchen über, die man mit dem Mikroskope sogar hat wahrnehmen können, und bilden eine leitende Brücke für den Gleichstrom der angeschlossenen Batterie.

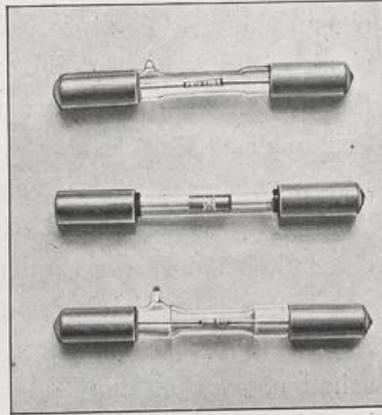


Fig. 133.

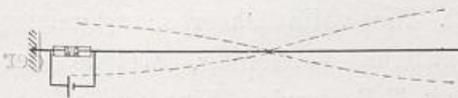


Fig. 134.

Die starke Hitze, welche die Schwingungsfunken an den sich berührenden Spitzen und Kanten hervorrufen, schweißt sie zusammen und baut eine metallische Brücke für den Übertritt der marschbereiten elektrischen Reserven der Gleichstromquelle. Dieser verhältnismäßig starke Strom passiert dabei die Windungen eines elektromagnetischen Weckers, der mit seinem Klöppel gegen die Glasröhre schlägt und die Brücke im Fritter erschüttert. Dies verträgt ihr leichter Bau nicht, sie bricht zusammen und sperrt von neuem den Übergang. Die elektrischen Schwingungen sind also Pionieren vergleichbar, welche eine Brücke schlagen, die unter dem wuchtigen

Tritt der ersten marschierenden Kolonne zusammenstürzt. Einige erreichen jedoch das rettende Ufer. In der Fixigkeit sind die elektrischen Schwingungen den Pionieren aber über, denn sie reparieren die zerstörte Brücke in den Bruchteilen einer Sekunde. Jetzt ist eine Zeichengebung möglich. Ein einziger Funke, den ich am Sendeort erzeuge, baut die Brücke, die sofort wieder zerfällt, wir hören einen einmaligen Schlag des Klöppels, das ist ein Punkt des Morsealphabets. Durch wiederholtes Funkengeben können wir den Vorgang beliebig oft wiederholen und hören länger andauerndes Klopfen: einen Strich des Morsealphabets. Das geübte Ohr des Telegraphisten liest gleichsam die Buchstaben wie das Auge das Alphabet. Auch kann man in den Stromkreis noch einen Apparat schalten, welcher den Vorspann einer noch stärkeren Batterie herbeischafft, um einen Morseschreiber zu betätigen, der die gegebenen Zeichen in Punkten und Strichen auf Papier fixiert.

Das war die einfache Methode, nach welcher Marconi im Jahre 1897 seine ersten epochemachenden Telegraphierversuche vornahm. Er überbrückte damals allerdings nur wenige Kilometer. Wir wissen heute weshalb, denn wichtige Eigenschaften der elektrischen Schwingungen waren damals der Technik noch unbekannt. Ihre volle Beherrschung gelang erst durch die wissenschaftliche Vertiefung, welche der Funkentelegraphie seitdem zu Teil wurde. Eine große Zahl von Forschern ist daran beteiligt, so daß es nicht richtig wäre, den erzielten Fortschritt an vereinzelte Namen zu knüpfen; nur eines dürfen wir mit Sicherheit behaupten: der größte Teil dieser Arbeit wurde in Deutschland geleistet. Ein neuer Beweis dafür, daß die reichen Mittel, welche deutsche Regierungen und Parlamente für das wissenschaftliche Studium technischer Prozesse bereit zu stellen gewohnt sind, nicht ohne Nutzen verbleiben.

Zwei wichtige Eigenschaften der Schwingungen sind es, deren Kenntnis erst die volle technische Beherrschung ermöglichte, wir nennen sie Resonanz und Dämpfung.

Der Begriff der Resonanz ist, wie schon der Name besagt, aus der Akustik übernommen. Die Tonhöhe, welche eine Stimmgabel liefert, entspricht der Anzahl der Vibrationen

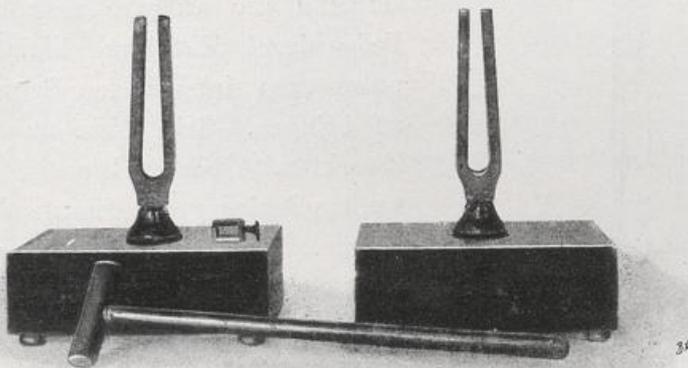


Fig. 135.

in einer Sekunde, es ist die Eigenschwingung der Gabel. Statt durch einen Schlag oder den Strich eines Violinbogens, kann die Gabel auch durch geringe Impulse etwa durch Lufterschütterungen in Schwingung gesetzt werden. Das Experiment gelingt aber nur wenn das Tempo dieser Erschütterungen der Eigenschwingung der Gabel entspricht. Ich schlage hier eine zweite gleiche Stimmgabel an und unterdrücke dann ihre Eigenschwingungen, indem ich sie festhalte. (Fig. 135.) Sie hören trotzdem noch den Ton, er rührt aber jetzt von der ersten Gabel her, welche durch die Lufterschütterungen zum Mitschwingen veranlaßt ist. Hebe ich die Resonanz auf, indem ich die Gabel durch Befestigung

eines kleinen Zusatzgewichtes verstimme, so findet, wie Sie hören, die Übertragung nicht mehr statt.

Eine belastete Spiralfeder (Fig. 136) zeigt uns die Eigenschaft der Resonanz besonders deutlich. Setzen wir sie durch

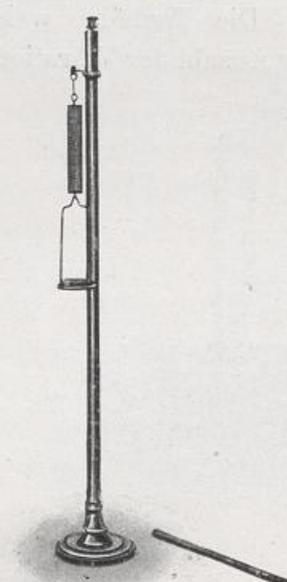


Fig. 136.

einmalige Störung ihrer Gleichgewichtslage in Bewegung, so nehmen Sie ihre Eigenschwingung wahr. Es sei nun die Aufgabe gestellt, die Feder durch Mitteilung kleiner Impulse zum intensivsten Schwingen zu bringen. Ich führe zu diesem Zweck mit einem Bleistift einen sanften Schlag gegen die angehängte Schale. Klopfe ich schnell, so bewegt sich die Feder kaum, sie zittert nur leise; bei ganz langsamem Tempo ist ebensowenig zu erreichen, klopfe ich aber im Tempo der Eigenschwingung, so sehen Sie die belastende Schale immer stärker auf- und niedertanzen. Trotz der geringen Stärke jedes einzelnen Schla-

ges können wir die Schwingung bis zum Bruch der Feder steigern. Welch große Kraftanstrengung gehört dazu, um eine Kirchenglocke soweit aus ihrer Gleichgewichtslage zu bringen, daß der Klöppel dagegen schlägt; doch kann ein Kind die Glocke läuten, wenn es mit seiner schwachen Kraft im Tempo der Eigenschwingung am Seile zieht.

Alle elastischen Körper zeigen die Resonanz, ihre Gewalt kann unter Umständen verhängnisvoll werden. Truppenkörper dürfen eine Brücke nicht im Gleichtritt des Marsches passieren. Das Tempo könnte mit der Eigenschwingung der

Brücke zusammenfallen und sie gefährden. Wie verheerend wirkt manchmal der Windbruch im Forst; kommen die Windstöße nur für kurze Zeit im Tempo der pendelnden Baumbewegung, so knicken sie den stärksten Riesen wie einen Strohalm.

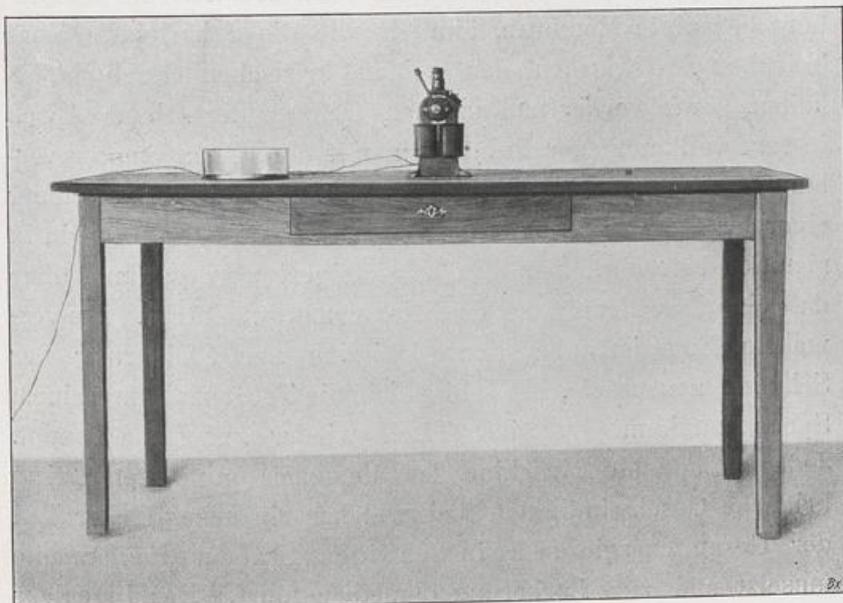


Fig. 137.

Betrachten Sie diesen schweren eichenen Tisch (Fig. 137), er kann zwei Arten von Schwingungen annehmen, nämlich zunächst um die Stützpunkte seiner Füße, sodann kann die Platte federn wie eine festgespannte Membran. Die Eigenschwingungen haben verschiedene Frequenz, ich will Erschütterungen erzeugen, so daß die Bewegung weithin sichtbar wird. Auf dem Tisch steht ein durch Elektrizität betriebener Motor, dessen Welle exzentrisch belastet ist. Durch die Zentrifugalkraft desselben erfährt der Tisch Zerrungen

nach beiden Schwingungsrichtungen. Bei einem bestimmten Tempo, d. h. bei einer bestimmten Umlaufgeschwindigkeit des Elektromotors kommt die Tischplatte und der ganze Tisch in lebhaftes Horizontalschwingen um die Fußpunkte der Tischbeine. Bei größerer Geschwindigkeit wird die Frequenz der Tischplatte allein erreicht, sie schwingt wie eine am Umfang befestigte Membran, ähnlich wie die Schallplatte eines Telephons. Zwischen den beiden kritischen Geschwindigkeiten, sowie vorher und nachher, verharrt der schwere Tisch in fast vollkommener Ruhe. Ein mit dem Elektromotor verbundener Tourenzähler zeigt zugleich, daß bei Erreichung einer kritischen Frequenz die Zufuhr elektrischer Energie in ziemlich beträchtlichem Maße gesteigert werden kann, ohne daß eine Beschleunigung des Elektromotors eintritt. Die vermehrte Energiezufuhr dient lediglich zur Steigerung der Schwingungsenergie, bis schließlich die Tourenzahl mit einem Sprung zunimmt und der Tisch wieder zur Ruhe kommt. Jede umlaufende Maschine hat demnach mindestens eine kritische Geschwindigkeit, bei welcher ein ansehnlicher Teil der Gesamtenergie sich in Schwingungen der Fundamente umsetzt und zur Lockerung derselben führt. Der Ingenieur hat also sorgfältig die Ausbalanzierung aller rotierenden Maschinenteile zu beachten oder, wenn dies nicht möglich, Geschwindigkeiten zu wählen, welche von den Eigenschwingungen der gesamten Maschine mit ihren Fundamenten tunlichst weit entfernt bleiben.

Einem größeren Auditorium läßt sich der lehrreiche Versuch deutlich vor Augen führen, wenn man auf den Tisch eine große kreisrunde mit Quecksilber gefüllte Glasschale stellt. Die den beiden Resonanzfällen entsprechenden Wellenbewegungen des Quecksilberspiegels erzeugen äußerst charakteristische weithin erkennbare Formen.

Bei den elektrischen Schnellbahnversuchen vor zwei Jahren schwappten gefüllte Wassergläser auf den Tischen nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit über; die Eigenschwingung des federnden Wagens stand dabei in Resonanz mit den Schienenstößen auf die Räder. So könnte ich die Beispiele noch zahlreich vermehren. Nur noch eines, weil es besonders verhängnisvolle Wirkungen der Resonanz zeigt:

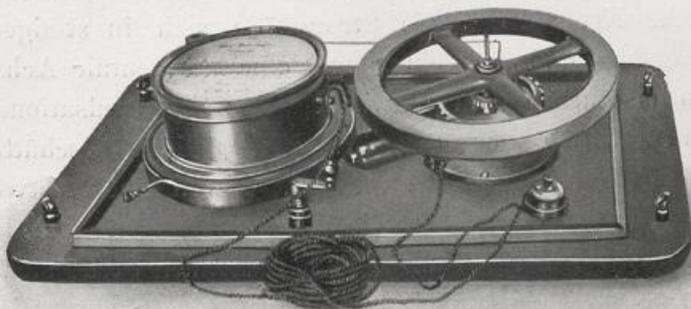


Fig. 138.

ein Wellenbruch auf der „Deutschland“ wurde durch die Torsionsschwingungen der Welle verursacht, die in Resonanz kamen mit den vom Hubwechsel der Dampfmaschinen herührenden Stößen.

Ein gewöhnlicher mechanisch angetriebener Umdrehungszähler läßt sich für den Versuch nicht verwenden, da er infolge der Erschütterungen nicht regelmäßig genug funktionieren würde. Geeignet ist dagegen der neue Ferntourenzähler von Frahm, der gleichfalls auf dem Prinzip der Resonanz beruht. (Fig. 138.) Auf die Welle, deren Tourenzahl gemessen werden soll, ist ein kleines eisernes Rad mit vorspringenden breiten Zähnen gekeilt und dicht an die

Peripherie desselben ein Elektromagnet mit magnetischem Kern gerückt. Durch den Vorübergang der einzelnen Zähne vor den Polen des Elektromagneten, werden in den Windungen desselben kurze Stromstöße hervorgerufen, deren Frequenz von der Rotationsgeschwindigkeit der Welle abhängt. Die so erzeugten pulsierenden Ströme werden durch eine Leitung auf den beliebig weit entfernten Tourenzähler übertragen. In diesem ist ein anderer Elektromagnet angeordnet, dessen magnetische Kraft durch die Stromstöße sich in stetigem Wechsel ändert und auf einen um eine horizontale Achse federnden eisernen Kamm einwirkt. Den Strompulsationen entsprechend wird dieser ganze Kamm in geringe Erschütterungen von gleicher Frequenz versetzt. Durch eine geistvoll erdachte Einrichtung werden die Erschütterungen nun an einer bestimmten, der Frequenz entsprechenden Stelle sichtbar gemacht. Die einzelnen Zähne des Kammes sind nämlich ähnlich wie die Metallzungen einer Spieldose von verschiedener Länge und besitzen infolgedessen verschiedene Eigenschwingungsfrequenzen. Wird nun der ganze Kamm mit einer beliebigen Frequenz erschüttert, so kommt doch nur diejenige Metallzunge in lebhaftere Bewegung, deren Eigenfrequenz damit übereinstimmt. Das umgebogene weiß gestrichene Ende der Zunge liefert bei der Schwingung einen deutlichen hellen Strich und läßt an der Marke der daneben befindlichen Teilung die Tourenzahl des Motors erkennen.

Die elektrischen Schwingungen befolgen die gleichen Gesetze der Resonanz. Erzeugen wir elektrische Schwingungen nach der einfachsten Methode mit Hilfe einer Kleist'schen Flasche. Eine Glasplatte mit Metallbelegungen auf beiden Seiten leistet dasselbe. Wir wollen sie mit Drähten verbinden, deren Enden sich nicht berühren, sondern einen kleinen Luftraum zwischen sich lassen. Wir laden die eine

Belegung, indem wir Hochspannung zuführen, oder wirkungsvoller, wenn wir zugleich die andere Belegung auf Unterspannung bringen. Die kleinen Kugeln an der Unterbrecherstelle nehmen die gleichen Spannungsdifferenzen an; erreichen sie eine gewisse Größe, so entladen sich die Belegungen durch den Funken und elektrische Schwingungen durchzucken nunmehr den geschlossenen Kreis. Die Forschung hat schon vor 50 Jahren gezeigt, daß die Frequenz dieser Schwingungen nur von zwei Größen abhängt: von der Aufnahmefähigkeit oder Kapazität der Flasche und von Länge und Form des den Kreis bildenden Drahtes, der sogenannten Selbstinduktion desselben. Beide Größen sind der Messung und Rechnung zugänglich. Die Schwingungsfrequenz ist stets durch ihr Produkt bestimmt, wir wollen dasselbe die Schwingungsgröße nennen. Hieraus folgt, daß ein zweiter ähnlicher Kreis dieselbe Eigenfrequenz haben muß, wenn seine Schwingungsgröße die gleiche ist.

Hier stehen zwei solche Kreise nebeneinander (Fig. 139), in dem einen befinden sich zwei Kleist'sche Flaschen, ein kurzer Drahtbügel führt zur Funkenstrecke, die in einem geschlossenen Ebonitkästchen untergebracht ist, um den grellen Funkenschein zu verdecken. In dem zweiten vorderen Kreis haben wir nur eine Flasche, also nur eine halb so große Kapazität, der Drahtbügel, welcher die Belegungen verbindet, ist länger und kann durch Verschieben eines Gleitdrahtes beliebig verlängert werden. Wollen wir den zweiten Kreis in elektrische Resonanz bringen mit dem ersten, so müßte der Drahtbügel etwa doppelt so lang sein wie bei jenem, denn die Kapazität ist nur halb so groß. Das pulsierende Magnetfeld des ersten Kreises, durch die Entladung der Flasche erregt, bewirkt nun in dem zweiten Kreis bei vorhandener Resonanz so lebhaftige Schwingungen, daß die Flasche sich

ladet und zwischen den beiden Belegungen, die durch einen über den Rand des Glases reichenden Bügel genähert sind, ein Funkensprühen erzeugt wird, gleichsam ein Überlaufen der Flasche. Der Versuch zeigt uns, daß dies aber nur gelingt bei einer bestimmten Länge des verbindenden Bügels.

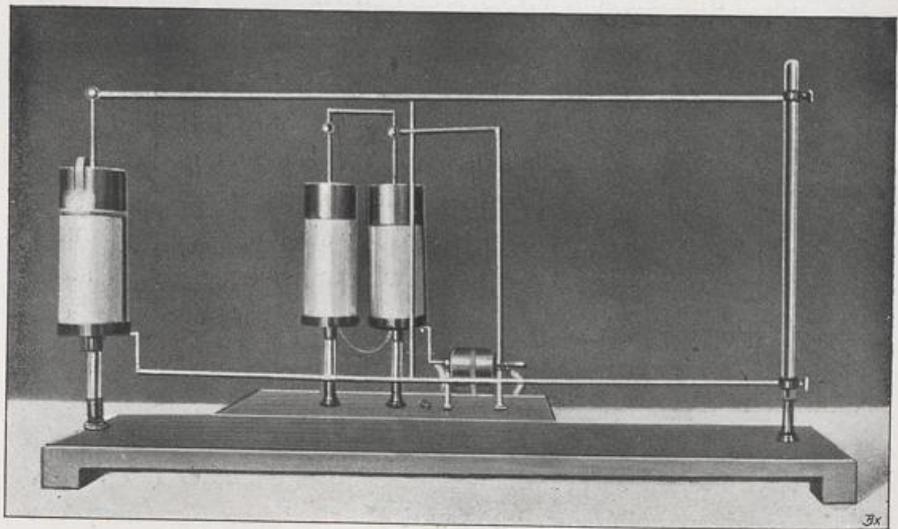


Fig. 139.

Das Experiment entspricht also völlig dem früheren Stimmgabelversuch.

Auch das Experiment mit dem Zünden der Bogenlampe gelang nur bei Resonanz, die verwendeten Drähte waren von gleicher Länge, hatten also gleiche Schwingungsgrößen. Verkürzen wir den einen, so mißlingt der Versuch, machen wir sie wieder gleich lang, so antwortet die Lampe prompt auf die hergestellte Resonanz. In diesem Fall sind Kapazität und Selbstinduktion der Drähte gleich.

Um zu zeigen, daß es tatsächlich auf die Gleichheit der Produkte ankommt, will ich eine Resonanzerscheinung her-

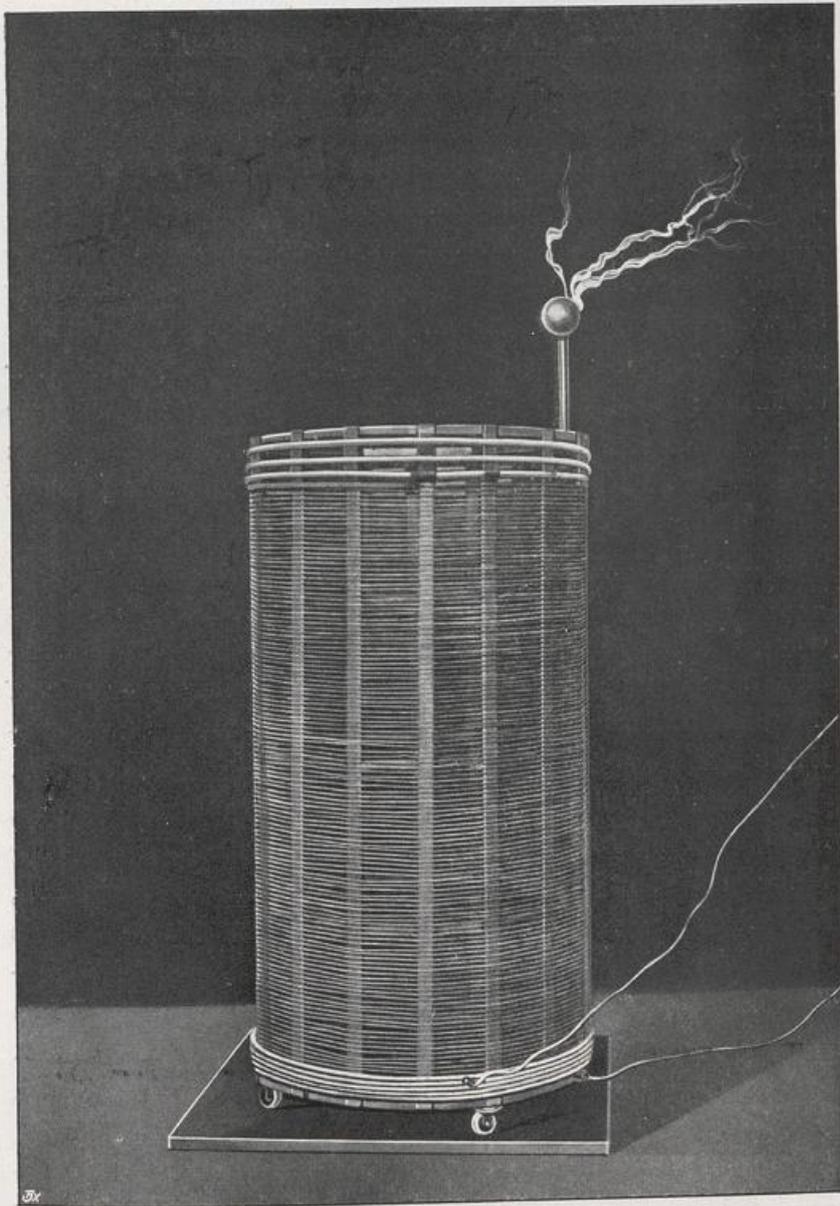


Fig. 140.

vorrufen, bei der sich die Kapazitäten etwa wie 10 000 zu 1 und die Selbstinduktionen umgekehrt verhalten.

Hier ist mit einer großen Flaschenbatterie ein Schwingungskreis aufgebaut und durch kurzen Bügel geschlossen. Wir verbinden damit eine Drahtspule von geringer Kapazität aber enormer Selbstinduktion, denn der aufgewickelte Draht ist lang. (Fig. 140.) Durch geringe Regulierung der Drahtlänge des geschlossenen Kreises wollen wir Gleichheit der Schwingungsgrößen erzeugen. Die eingetretene Resonanz zeigt sich durch starke Funkenstrahlung der Spule an. Sehr erklärlich: denn ihre Kapazität ist so klein, daß sie die schwingende Elektrizität nicht fassen kann, es findet ein Überlaufen in den Raum statt unter enormem Druck, es ist ähnlich wie das Aufspritzen einer Fontäne. Ich habe den Versuch nur in bescheidenen Dimensionen gezeigt, Nikola Tesla hat nach demselben Verfahren erstaunliche Wirkungen erzeugt in seinem hoch oben in den Colorado-Bergen erbauten Laboratorium. Die Photographien, welche er mir in freundschaftlicher Gesinnung zugeeignet hat, zeigen künstliche Blitze von 4 m Länge. (Fig. 141 und 142.)

Ziehen wir die Nutzanwendung aus diesen Erscheinungen für die drahtlose Telegraphie. In der alten Anordnung Marconis schwingt der Sendedraht in einer Viertelwelle, ein gleich langer Auffangedraht, an dessen unterem Ende ein Fritter sitzt, der in unbestrahltem Zustand die Verbindung mit der Erde unterbricht, kann nur in einer halben Welle schwingen, die Wellen verhalten sich also wie 1 zu 2. (Fig. 143.) Es ist keine völlige Resonanz, man müßte den Auffangedraht doppelt so lang machen wie den Sendedraht, das verbieten technische Schwierigkeiten. Im Jahre 1900 gelang ein an sich einfacher, aber für den Fortschritt der drahtlosen Telegraphie entscheidender Schritt. Durch Hinzu-

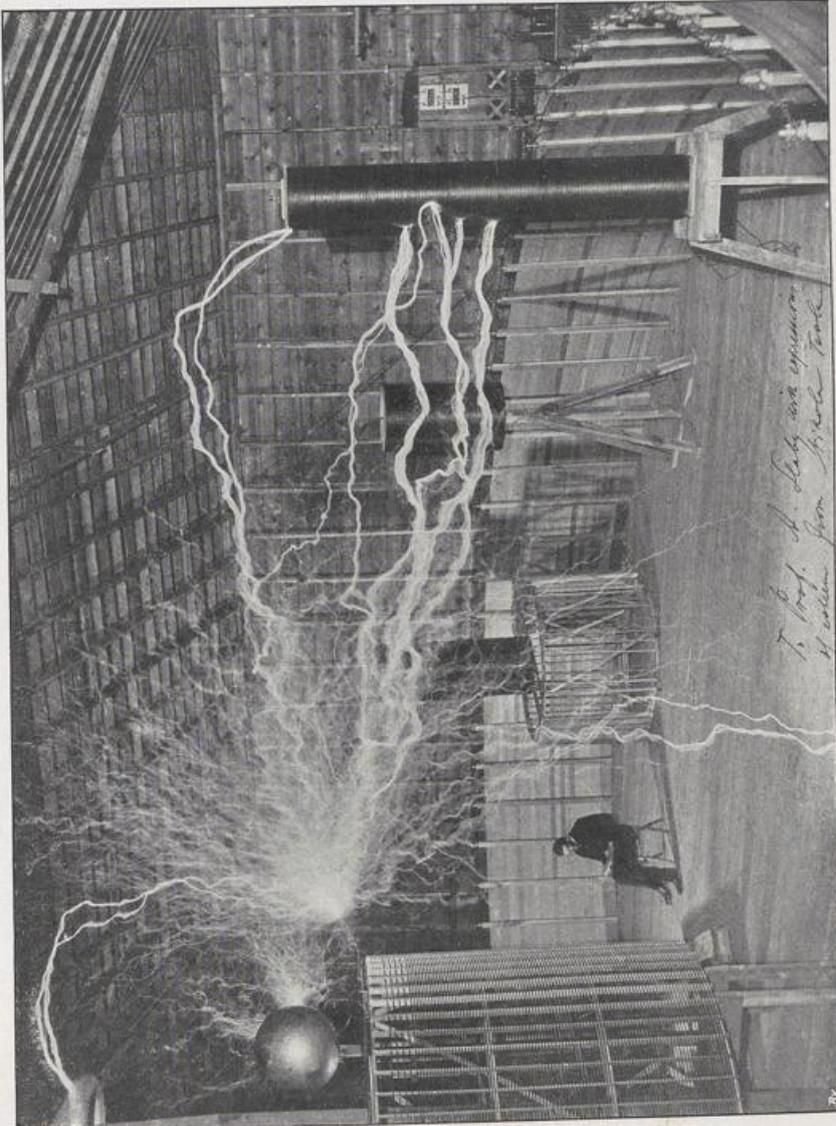


Fig. 141.

fügung eines horizontalen Verlängerungsdrahtes von einer Viertelwellenlänge wurde Resonanz erzwungen bei gleicher

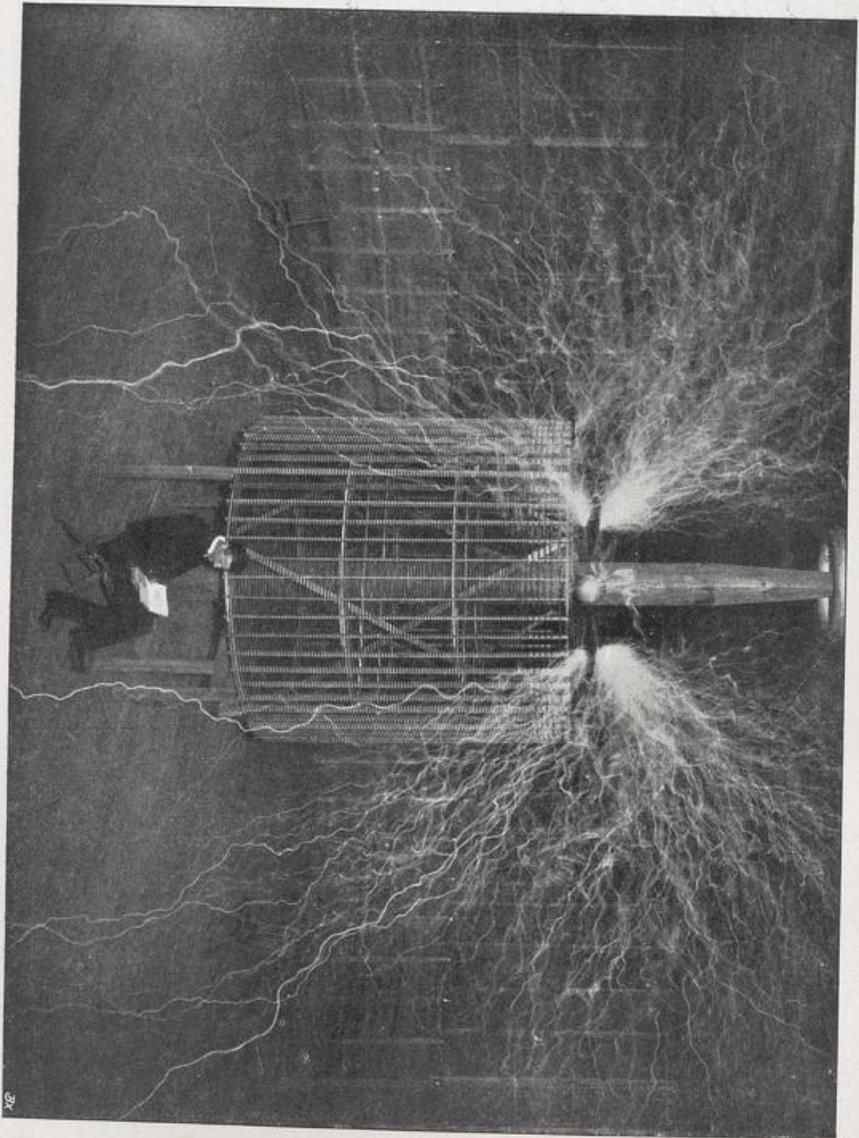


Fig. 142.

Länge des Auffangedrahtes. Es konnte ferner gezeigt werden, daß ein und derselbe Auffangedraht auch für andere Wellen-

längen in Resonanz zu bringen war, wenn man die Gesamtlänge, d. h. Auffangedraht + Verlängerungsdraht gleich der halben Wellenlänge machte. (Fig. 144.) Der Verlängerungsdraht nahm später die Form einer Spule an und bildete mit

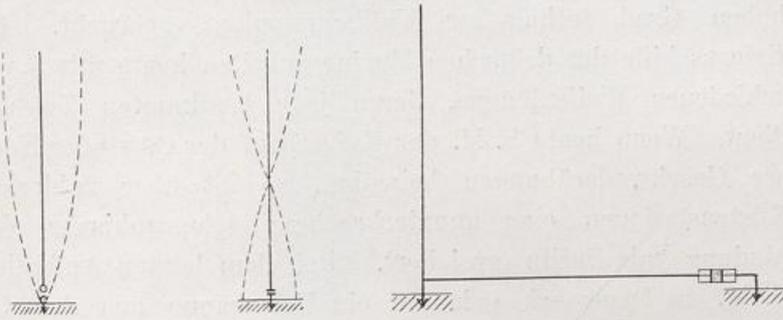


Fig. 143.

Fig. 144.

dem Fritter und der doppelten Erdung einen geschlossenen Kreis, in welchem Fritterkapazität und Selbstinduktion so bemessen wurden, daß die Schwingungsgrößen des geschlossenen Kreises einerseits und des geerdeten Auffangedrahtes andererseits gleich wurden, d. h. völlige Resonanz besaßen. Am 22. Dezember 1900 konnte das entscheidende Experiment in Gegenwart S. M. des Kaisers zum ersten Male mit völligem Erfolg gezeigt werden. Mit einem und demselben Auffangedraht wurden zwei Telegramme von verschiedenen Orten mit verschiedenen Wellenlängen zugleich aufgenommen. (Fig. 145.) Marconi behauptete später, ein ähnliches Experiment von der Insel Wight aus vorgenommen zu haben. Die Mitteilung seiner Methode hat er aber damals unterlassen.

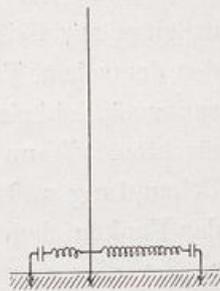


Fig. 145.

Das Problem der mehrfachen Telegraphie und zugleich die Abstimmung einer Empfangsstation auf verschiedene Wellen war damit technisch gelöst. Die deutsche Gesellschaft für drahtlose Telegraphie hat dieses Verfahren unter Zufügung von anderen sinnreichen Erfindungen auf einen hohen Grad technischer Vollkommenheit gebracht. Die Kriegsschiffe der deutschen Marine arbeiten heute mit 5 verschiedenen Wellenlängen, deren jede bestimmten Zwecken dient. Wenn heute S. M. der Kaiser auf der Ost- oder Nordsee Geschwaderübungen beiwohnt, so ist über zahlreiche Küstenstationen eine ununterbrochene telegraphische Verbindung mit Berlin gesichert. Bei dem letzten Aufenthalt S. M. in Dänemark gelangte ein Telegramm aus den Gewässern bei Kopenhagen 25 Minuten nach Aufgabe in die Hände Ihrer Majestät in Berlin. Solche und ähnliche Einrichtungen sind für den Ernstfall eines Seekrieges nicht zu unterschätzen und sichern unserer Marine ein Hilfsmittel, welches andern Marinen in dieser Vollkommenheit vorläufig noch nicht zur Verfügung steht. Franzosen und Engländer arbeiten zur Zeit nur mit einer Wellenlänge. Eine Störung der deutschen Telegraphie erscheint bei der schnellen Änderungsmöglichkeit der benutzten Wellen kaum noch zu befürchten. Wenn in der englischen Presse immer wieder die Behauptung auftaucht, daß die Störungsmöglichkeit den Wert der Funkentelegraphie für Kriegszwecke stark herabmindert, so ist dies für die Einrichtungen in der deutschen Marine sicherlich nicht richtig.

Die vertiefte wissenschaftliche Behandlung der Funkentelegraphie machte die Erfindung von Instrumenten nötig, um die Größe der erzeugten elektrischen Wellenlängen bequem und exakt zu messen. Auch dies gelang unter Anwendung des Resonanzprinzips. Von den vielen heut in Ge-

brauch befindlichen Wellenmessern will ich nur einen erläutern, der den Vorzug großer Einfachheit hat. Dieser kleine Stab, den ich in den Händen halte, zeigt mir die

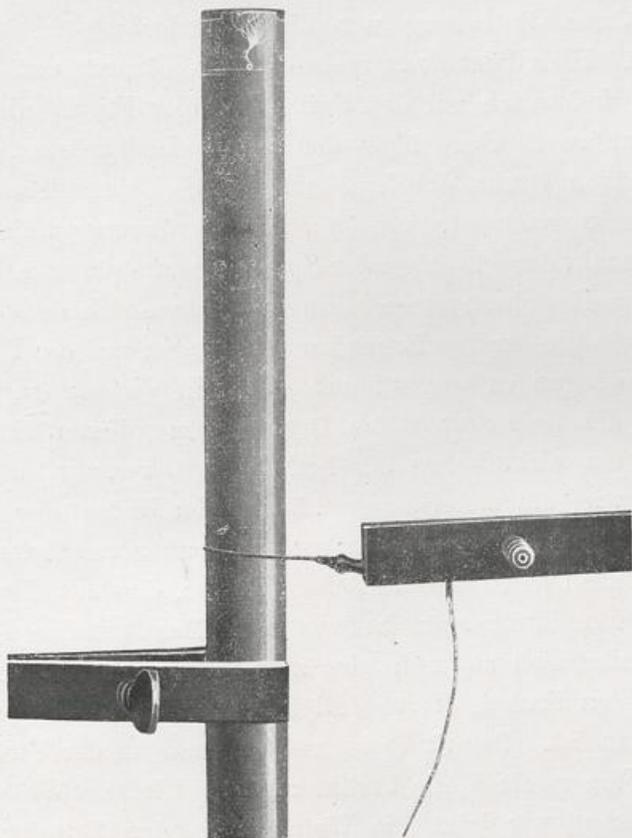


Fig. 146.

Wellenlänge an, sobald ich mich einem elektrischen Schwingungskreise damit nähere. (Fig. 146.) Ich habe ihn Multiplikator genannt, weil die zahlreichen Windungen aus feinstem Draht, die auf ein Glasrohr gewickelt sind, bei erreichter Abstimmung auf die Frequenz der auffallenden

Schwingungen, die elektrische Spannung in ebenso starkem Maße erhöhen, gleichsam multiplizieren, wie die vorhin gezeigte strahlende Spule. Dort war das untere Ende angeschlossen an die starke Kapazität der Kleist'schen Flasche, durch deren Entladung wir die elektrische Spannung erzeugten. Hier dient dazu mein eigener Körper, den ich anschalte, indem ich mit den Spitzen zweier Finger die dünne Spule umfasse. Gegenüber den minimalen Strömen, welche den dünnen Draht durchzucken, ist die Kapazität meines Körpers ausreichend, um an der Berührungsstelle einen Knotenpunkt der schwingenden Spannung zu erzeugen. Durch Hin- und Herfahren meiner Finger verlege ich den Knotenpunkt, bis die darüber liegenden Windungen auf die Frequenz der Schwingungen abgestimmt sind. In diesem Augenblick sprüht die freie Spitze des Drahtes am oberen Ende des Stabes ein elektrisches Büschellicht aus, zwar nicht so gewaltig wie die meterlangen züngelnden Blitze der großen Resonanzspule, dessen Leuchtkraft ich aber verstärken kann durch Unterlegen eines Blättchens Papier, das mit Krystallen von Bariumplatincyannür bedeckt ist. Das winzige Büschellicht breitet sich dadurch aus zu einer intensiven grünlich leuchtenden Fackel, die von allen Plätzen des Saales deutlich erkennbar ist. Der Stab ist geeicht und an der Stelle, wo meine Finger die Spule berühren, lese ich die Wellenlänge ab. Messen wir jetzt die Wellenlänge der Schwingungen, von denen die große sprühende Spule durchzuckt wird — es sind 800 Meter. Schon das Gefühl zeigt mir die richtige Einstellung auf Resonanz: meine Finger verspüren ein deutliches Prickeln, das zunimmt, wenn ich mich der großen Spule nähere. Zwei Meter davon entfernt wird es so unangenehm, daß ich mit meinen gleitenden Fingern die Resonanzlage verlassen muß. Ich habe hierbei die Ein-

stellung auf eine stehende Viertelwellenlänge der Schwingung vorgenommen.

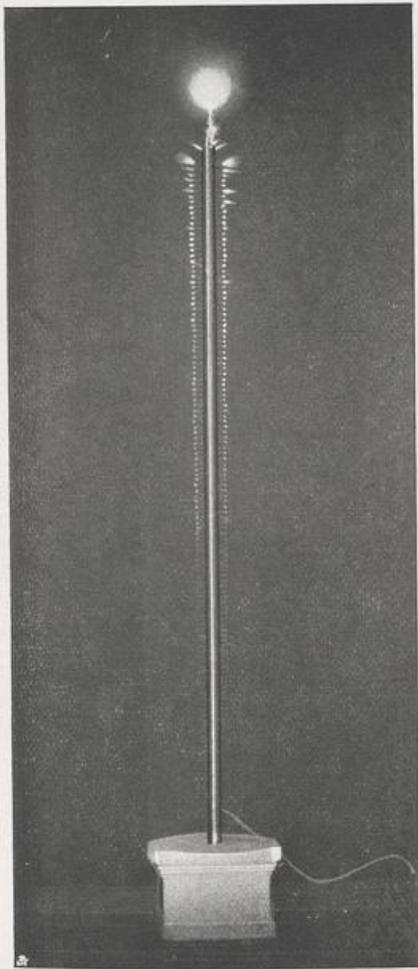


Fig. 147 a.

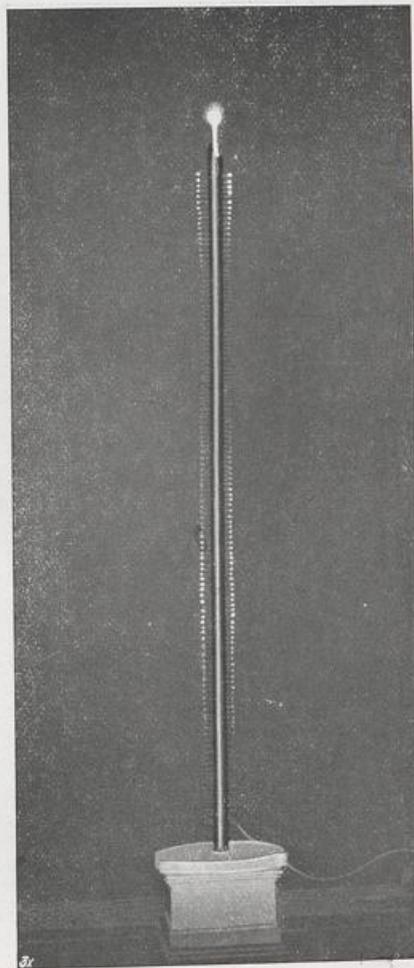


Fig. 147 b.

Ebenso wie ich ein erschüttertes Seil in mehrfachen Wellenlängen, d. h. mit einer Anzahl von Knoten und

20*

Bäuchen zum Schwingen bringen kann, gelingt dies auch beim Multiplikator. Hier habe ich einen Multiplikationsstab

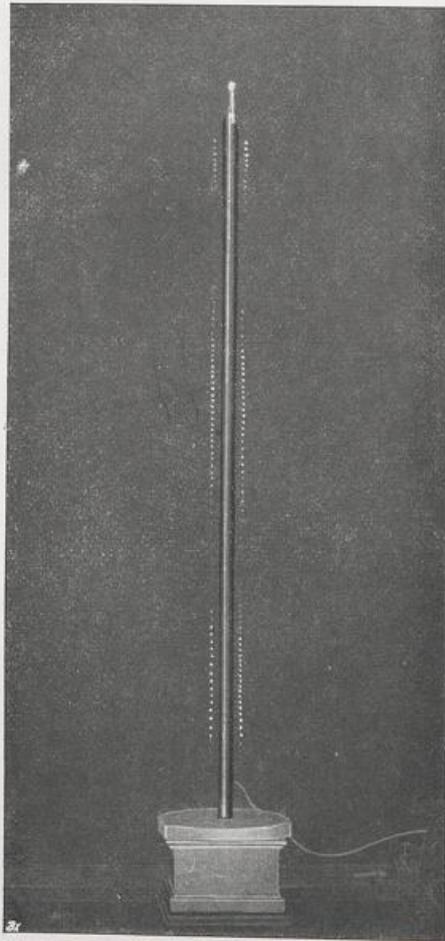


Fig. 147c.

von ansehnlicher Länge aufgestellt, der die mehrfachen Spannungsbäuche durch das Sprühen von kleinen Kupferdrähten anzeigt, die quer zur Längsrichtung der Spule auf einer dünnen Holzplatte befestigt sind. Im verdunkelten Saal erkennen wir jetzt die Resonanz für 1, 3 und 5fache Viertelwellenlängen. (Fig. 147 a, b und c.) Die elektrischen Schwingungen, die von der Spule ausgehend den ganzen Raum erfüllen, haben wir hierdurch sichtbar gemacht und ihre Wellenlänge gemessen.

Ein weiterer Fortschritt gegenüber der Erfindung Marconi's ist durch sorgfältige Beachtung der sogenannten

Dämpferscheinung und zwar auch fast

ausschließlich durch die Arbeit der deutschen Forschung erzielt worden. Wenn wir Schwingungen durch rein mechanische Mittel erzeugen, etwa durch eine Wechselstrom-

dynamomaschine, so erhalten wir Stromschwingungen, welche sich mit unverminderter Stärke beliebig oft wiederholen lassen. (Fig. 148.)

Anders ist es mit den schnellen Schwingungen die durch Funkenentladung einer Kapazität erzeugt werden, das sind die-



Fig. 148.

jenigen, mit denen wir bei der Funkentelegraphie zu tun haben. (Fig. 149.) Die Intensität der Schwingung nimmt dabei kontinuierlich ab, weil zwei Verluste von verschiedener Art auftreten.

Der erste bezieht sich auf die Erwärmung der Drahtmasse, welche die Schwingungsströme an der Sendestation durchheilen. Schon am Eingang der Vorlesung

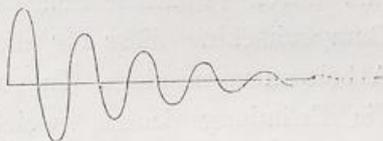


Fig. 149.

zeigte ich, daß jeder Draht der vom Strom durchflossen wird, sich erwärmt. Diese Wärme strahlt aus und ist für die periodische Wiederkehr der Stromschwingungen vergeudet. Die stärksten Verluste treten in der hochehitzten Funkenstrecke auf. Hierdurch ist bedingt, daß die Schwingungen in ihrer Intensität ununterbrochen abnehmen. Der Wellenschlag in dem umgebenden Raum erstirbt schnell zu so minimalen Wallungen, daß Kraftwirkungen im Empfänger damit nicht mehr ausgeübt werden können.

Ein zweiter Verlust hat eine wesentlich andere Bedeutung. Die Erregung des magnetischen Wellenschlages im Raume bedingt einen Kraftaufwand des elektrischen Stromes. Je stärker also ein Sender Fernwirkungsenergie ausstrahlt, desto schneller nimmt die Intensität der Schwingungen ab.

Man bezeichnet diese Abnahme als Dämpfungen der Schwingung, und zwar die erste als Widerstandsämpfung, die letztere als Strahlungsämpfung. Beide erfahren in der heutigen Funkentelegraphie eine sorgfältige und gesonderte Berücksichtigung.

Was zunächst die Widerstandsämpfung betrifft, so ist ohne weiteres klar, daß dieselbe auf das geringste Maß herabgedrückt werden muß. Bei jeder motorischen Maschine, und als solche können wir auch den Sender der Funkentelegraphie betrachten, muß die innere Reibung und die davon herrührende sogenannte Leerlaufarbeit so weit wie möglich beschränkt werden. Durch sorgfältigste Arbeit der beweglichen Teile und durch reichliche Schmierung suchen wir z. B. bei der Dampfmaschine diese für die Nutzleistung verloren gehende Arbeit zu vermindern. In ganz ähnlicher Weise können wir die Erfindung deuten, welche zu einer wesentlichen Beschränkung der Widerstandsämpfung geführt hat. Die Forschung hat gezeigt, daß der schädliche Widerstand einer Funkenstrecke, und um diese handelt es sich hauptsächlich, desto kleiner wird, je größer der pulsierende Strom ist. Eine Verstärkung des Schwingungsstromes in der Funkenstrecke kann man nun erzeugen, indem man einen zweiten starken Strom, der an der Fernwirkung unbeteiligt bleibt, darüber lagert. Diesen erzeugt man, indem man die Funkenstrecke außer an das Schwingungsgebilde an einen geschlossenen Kreis schaltet, der mit großer Kapazität ausgerüstet ist. (Fig. 150.) Je größer die Kapazität dieses angekuppelten Kreises gewählt wird, desto stärker ist die Stromüberlagerung in der Funkenstrecke, desto geringer ihr Widerstand. Die moderne Funkentelegraphie arbeitet fast nur noch mit diesem Hilfsmittel, welches den Kraftaufwand für den Betrieb einer Telegraphenanlage zwar wesentlich vermehrt, dafür die

Dämpfung der ausgestrahlten Schwingung aber wesentlich vermindert hat.

Eine andere Rolle spielt die Strahlungsdämpfung, es sind hierbei zwei Momente zu beachten. Je mehr man die ausgestrahlte Wirkung verstärkt, desto intensiver wird der magnetische Wellenschlag erregt, desto schneller klingt er aber auch ab. Es wäre falsch, wenn man durch geeignete Formgebung der Sendegebilde nur dahin streben wollte, die Intensität der Ausstrahlung zu vermehren, es ist vielmehr hierin ein weises Maß zu halten, damit die Schwingungen nicht zu schnell absterben, denn für die Resonanz des Empfängers ist es immer nur von Vorteil, wenn von der Anzahl der Impulse welche der



Fig- 150.

Wogenschwall eines einzigen Entladungsfunkens hervorruft, tunlichst viele am Empfangsapparate zur Wirkung kommen können. Ein mechanisches Beispiel wird uns dies klar machen. Wollen wir eine schwere Glocke zum Läuten bringen, so würde ein starker Stoß am Zugseil dies weniger sicher erreichen lassen, als eine große Zahl wiederkehrender kleiner Impulse. Man pflegt heute durch besondere Einrichtungen das Sendegebilde so zu gestalten, daß die Strahlungsdämpfung gewisse Beträge nicht überschreitet.

Der sachgemäßen Anwendung der genannten Gesichtspunkte ist es aber zu danken, daß die Funkentelegraphie in den letzten Jahren ganz erstaunliche Fortschritte gemacht hat, und daß das deutsche System einen gewissen Vorsprung erlangt hat gegenüber den Bestrebungen in anderen Ländern. Während Marconi und seine Mitarbeiter in den letzten Jahren fast ihre ganze Kraft darauf gerichtet haben, immer größere Entfernungen zu überbrücken und demgemäß ihre Stationen zu gewaltigen Kraftanlagen ausgebildet haben, ist

es das Ziel der deutschen Bestrebungen gewesen, die Gesetze der drahtlosen Telegraphie immer eingehender zu erforschen und den Kreis ihrer Verwendung durch Ausbildung technisch vollendeter Konstruktionen zu erweitern. Der Erfolg dieser Arbeiten ist nicht ausgeblieben. Die Zahl der Stationen, welche in allen Teilen der Erde nach dem deutschen System im Betriebe stehen, nähert sich der stattlichen Zahl 600, während die Zahl der Stationen, welche alle übrigen außerdeutschen Gesellschaften errichtet haben, dahinter zurück bleibt. Aber auch Riesenstationen werden jetzt von der deutschen Gesellschaft geplant und errichtet, die größten derselben werden noch im Laufe dieses Sommers in Nauen und in Norddeich in Betrieb kommen. Die vorläufigen Versuche haben bereits gezeigt, daß es möglich sein wird, die Telegramme von der deutschen Küste weit über 1000 Meilen über den Ozean zu senden. Wenn sie erst im vollen Betriebe sein werden, dann wird auch für die Marconi-Gesellschaft der gebieterische Moment gekommen sein, sich einer internationalen Regelung aller funkentelegraphischen Fragen auf dem Gebiete des Ozeans nicht mehr zu widersetzen, wie es bis jetzt der Fall war. Es dürfte für die deutschen Stationen ein leichtes sein, die Riesenstation, welche die Marconi-Gesellschaft augenblicklich in Irland errichtet, durch planmäßige Störung vollständig lahm zu legen. Der schon vor Jahren entbrannte Zwist wird dann nicht durch diplomatische Konferenzen, sondern durch einen Kampf der Wellen im Reich der Lüfte ausgefochten werden.

Wenn Sie mir bis hierher mit ihrer freundlichen Aufmerksamkeit gefolgt sind, wird mit Sicherheit eine Frage auf Ihre Lippen treten. Die durch den Raum dahineilenden magnetischen Wellen übertragen unzweifelhaft eine Arbeitsleistung, denn die Wirkung, die an der Empfangsstation sich

im Ticken eines Schreibhebels, in dem Rauschen eines Telephons bemerkbar macht, läßt sich in den millionsten Teilen einer Pferdestärke beziffern. Wird es möglich sein, auch größere Arbeitskräfte mit den magnetischen Wellen nach entfernten Stellen des Erdballs zu übertragen? Dieser Gedanke ist ungemein bestrickend und das Gelingen des Planes würde eine Umwälzung in unsern Kulturmitteln hervorrufen, wie sie die glänzendsten Erfindungen des vergangenen Jahrhunderts nicht zur Folge hatten. Der Ingenieur ist gewohnt, eine vorgelegte Frage nicht von vornherein mit einem absoluten Nein zu beantworten, doch können wir eines mit Sicherheit sagen: sollte das Problem jemals der Erfüllung entgegenreifen, dann müßten wohl noch andere Gesetze zu unserer Kenntnis gelangen, über welche die Natur bisher noch dreifache Schleier breitet.

Es ist aber von Interesse, zu erforschen, wie weit es gelingt, mit unseren bisherigen Kenntnissen die Aufgabe praktisch zu lösen. So weit die beschränkten Mittel und die Räume eines Laboratoriums es ermöglichen, habe ich die Frage zu beantworten gesucht. In zielbewußter Ausnutzung aller Gesetze, welche das Studium der Funkentelegraphie erschlossen hat, habe ich versucht, eine nennenswerte, in ihren Wirkungen deutlich erkennbare Arbeitsleistung von der hintern Wand dieses Saales bis auf den vordern Tisch drahtlos zu übertragen. Zwischen Drähten, welche Sie hinten erblicken, und den Drahtharfen hier vorne, 9 m entfernt, besteht nicht die geringste metallische Verbindung, dennoch gelingt es, durch Erzeugung starker elektrischer Schwingungen mit Hilfe der Resonanz hier vorn eine elektrische Glühlampe zum vollen Leuchten zu bringen. (Fig. 151.) Um Mißverständnissen vorzubeugen, will ich ausdrücklich darauf hinweisen, daß dieser Versuch nicht verwechselt werden darf mit dem

vorher angestellten Zünden einer Bogenlampe. Während ich dort die minimalen Impulse nur dazu benutzte, um eine bereitstehende Arbeitsquelle, eine Batterie, auszulösen und ihren Strom durch eine Lampe zu schicken, werde ich bei dem jetzt folgenden Experimente die gesamte elektrische Arbeit,

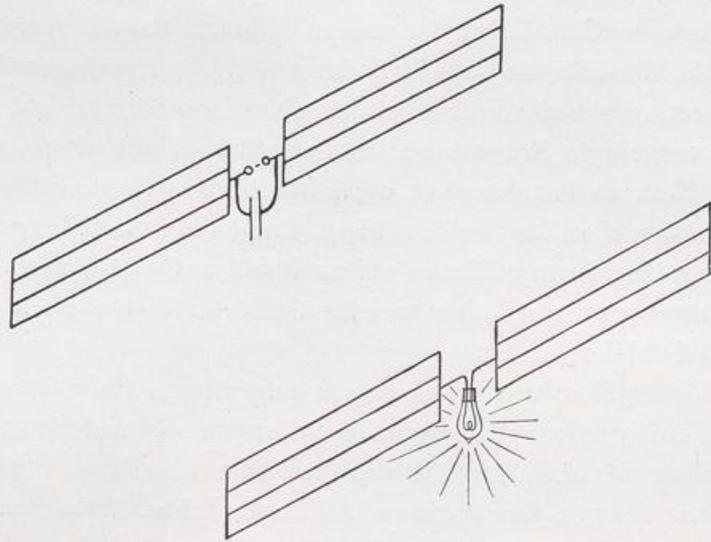


Fig 151.

welche die Lampe zum Leuchten bringt, lediglich den heranwogenden magnetischen Wellen entziehen.

Über die Zukunft wollen wir uns aber keinerlei Optimismus hingeben. Sie werden dies sofort begreifen, wenn ich Ihnen sage, daß die Arbeitskraft, welche ich dort hinten in Schwingung umsetzte, 3 Pferdestärken beträgt und daß das Resultat hier vorne sich darstellt in der bescheidenen Leistung von $1/300$ Pferdestärken, also etwa dem 1000sten Teil.

Doch: In magnis voluisse sat est.

