

Subl 20 49830
H

Aus Natur und Geisteswelt.

Sammlung

wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.

9. Bändchen.

**Neuere Fortschritte
auf dem Gebiete der Elektrizität.**

Von

Prof. Dr. F. Richarz.

Mit 94 Abbildungen im Text.



Leipzig,

Druck und Verlag von B. G. Teubner.

1899.

1924: 156

Das Recht zur Übersetzung
ist vorbehalten.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts,
sind vorbehalten.

Copyright 1900

Verlag von ...



Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Vorwort.

Einer Aufforderung des Verlegers Folge leistend, habe ich mich entschlossen, eine Reihe von Vorträgen dem Druck zu übergeben, welche theils im hiesigen Naturwissenschaftlichen Verein, theils in den Ferienkursen gehalten wurden. Die Zuhörer, an welche diese Vorträge gerichtet waren, gehörten den verschiedensten Berufszweigen an und bestanden in den Ferienkursen zum Teil aus Damen. Dementsprechend war der Inhalt völlig gemeinverständlich abgefaßt, und die allgemeinen und schon länger bekannten Erscheinungen und Gesetze der Elektrizität werden, soweit erforderlich, erwähnt und erläutert an denselben Stellen, an welchen sie zum Verständnis der neueren Fortschritte voranzuschicken sind. Die erweiterte Ausarbeitung der auf diesem Standpunkt gehaltenen Vorträge bildet den Kern der vorliegenden Schrift. Wer sich ausführlicher über die älteren Grundlagen des „Neuen“ unterrichten möchte, dem empfehlen wir die kleine Schrift von Seminaroberlehrer Ewald Schurig: „Die Elektrizität. Das Wissenswürdigste aus ihrem Gebiete für Jedermann leichtverständlich dargestellt.“ (Leipzig, 1897.)

Über jenen vollkommen elementaren Kern hinaus sind aber, durch kleineren Druck kenntlich, allenthalben Einschaltungen gemacht, welche sich an diejenigen wenden, welche den Wunsch und die Fähigkeit haben, ohne Anwendung mathematischer Formeln tiefer in Kenntnis und Theorie der behandelten Erscheinungen einzudringen. Mit Hinzunahme dieser Einschaltungen kann die Schrift Mittelschullehrern, welche nicht schon als Studierende in das Verständnis der behandelten neueren Fortschritte eingeführt wurden, in möglichst leichter Weise zu solchem verhelfen; sie kann ferner denselben Zweck erfüllen für Studierende der Naturwissenschaften; sie kann insbesondere Studierenden der Physik und Mathematik eine Grundlage bilden für eine folgende Be-

schäftigung mit dem streng mathematischen Ausdruck, den Maxwell in seiner Theorie den Vorstellungen Faradays über das Wesen der elektrischen Erscheinungen gegeben hat. Vielleicht wird auch mancher, der selbst als Lehrer über diese neueren Fortschritte in elementarer Weise vortragen will, in der Schrift Vergleiche, einfache Herleitungen und Versuche finden, die ihm von einigem Nutzen sein können.

Bei gemeinverständlichen Darstellungen kann man in den exakten Wissenschaften sich nicht immer bis in die Einzelheiten streng an die Wirklichkeit binden, sondern muß in Nebenumständen von ihr abweichen, damit das Wesentliche vereinfacht hervortritt; selbstverständlich ist aber dabei stets die prinzipielle Richtigkeit gewahrt geblieben. Da jeder der Vorträge nach Möglichkeit allein für sich genommen verständlich sein sollte, waren Wiederholungen unvermeidlich; ich habe geglaubt, hieran nichts ändern zu sollen. Auch in den nachträglichen Erweiterungen mußte manches aus dem Gemeinverständlichen nochmals in anderer Form wiederkehren.

Zu den einzelnen Vorträgen wäre noch zu bemerken: Der erste bietet besonders Gelegenheit zur eingestreuten Besprechung der elementaren Gesetze von Magnetismus und Elektrizität; mit seinen beiden ersten Kapiteln ist das Ziel der Erklärung von „Ampère, Volt und Ohm“ erreicht; die drei folgenden Kapitel sind nur für interessiertere Leser bestimmt. Der zweite bis vierte Vortrag gehören zusammen und bilden neben der Erklärung der berühmten Herzschen Versuche und der Tesla-Ströme eine Einführung in die Faraday-Maxwell'schen Anschauungen über das Wesen der elektrischen Erscheinungen. Da jene Demonstrationen die Grundlage bilden mußten, konnte unmöglich für die mehr theoretischen Erörterungen die systematisch beste Reihenfolge gewählt werden; sie war aber zweckmäßig für die Aufmerksamkeit der Hörer. Im zweiten Vortrag werden die modernen Vorstellungen nur in den Einschaltungen berührt; im übrigen reichen noch zum Verständnis allein die alten Bilder der Fluida aus. Am eingehendsten im Zusammenhang werden Faradays und Maxwell's Anschauungen in den ersten vier Abschnitten des vierten Vortrages besprochen; diese wären daher bei systematischer Darstellung der Theorie an die Spitze zu stellen gewesen. Der gewiesene Standpunkt der Darstellung war derjenige, in welchem „die Fernkräfte zu Schemen herab-

gesunken sind“, wie Herz in der Einleitung zu der „Ausbreitung der elektrischen Kraft“ (Leipzig bei Joh. Ambr. Barth) sagt. Dieser Standpunkt ist durchaus einwandsfrei, wenn man nur stets darüber klar bleibt, was Bild und was Wirklichkeit ist. Der radikale Standpunkt wäre für das vorausgesetzte Verständnis ungenießbar gewesen. Auf den zweiten Teil jener Herz'schen Einleitung und auf seinen Vortrag bei der Heidelberger Naturforscherversammlung (1889) „Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität“ (Bonn bei Strauß) seien diejenigen Leser zunächst hingewiesen, die den Wunsch haben, ohne mathematischen Aufwand ihre Kenntnisse von diesen neuen Anschauungen zu erweitern.

Greifswald, im Juni 1899.

F. Richarz.

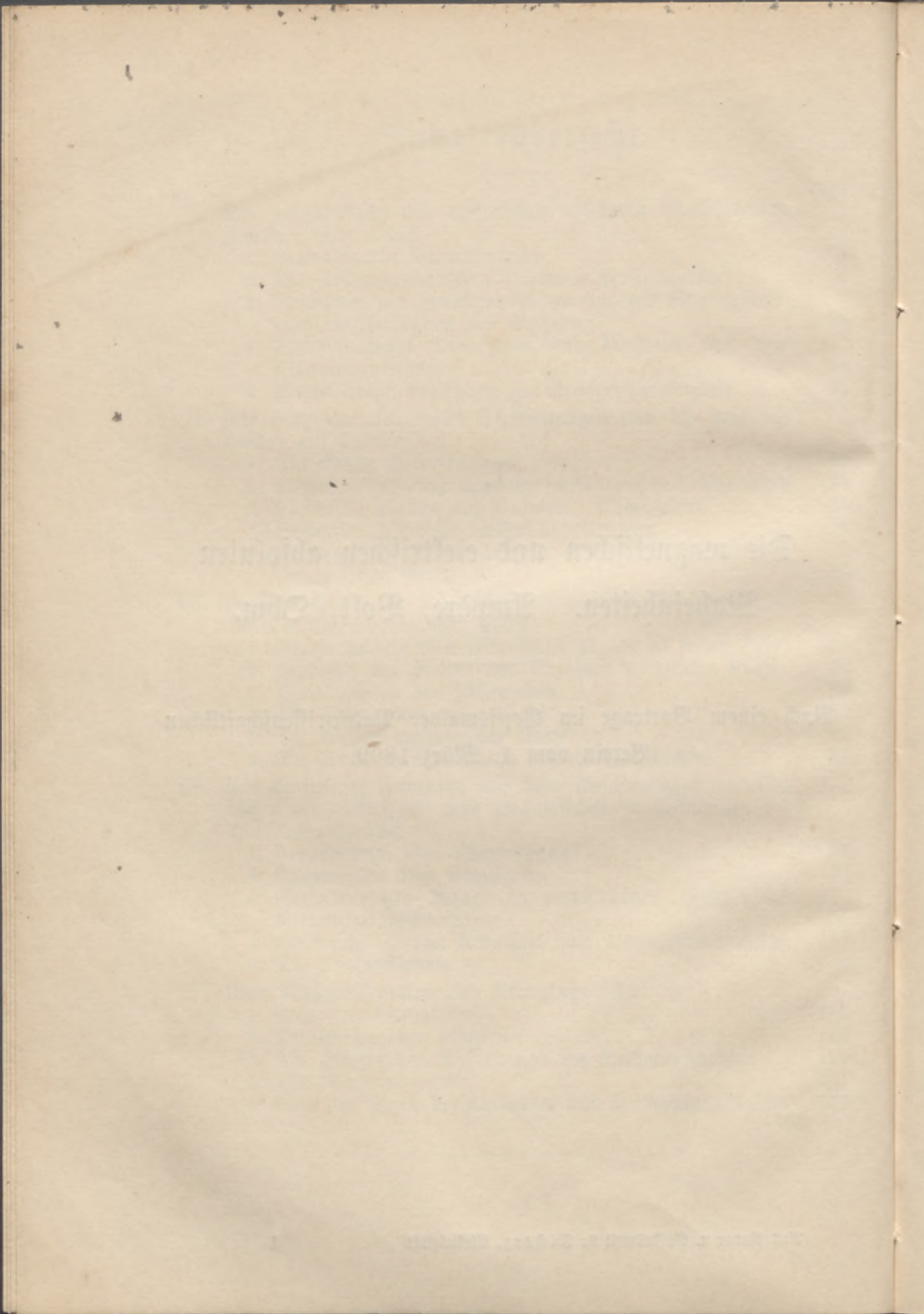
Inhaltsübersicht.

	Seite
I. Die magnetischen und elektrischen absoluten Maßeinheiten. Ampère, Volt, Ohm.	
1. Grundlegende Betrachtungen	3
2. Die elektromagnetischen absoluten Maßeinheiten	6
3. Benutzung der Induktionsströme und des Erdmagnetismus bei Festsetzung der Einheiten	21
4. Elektrostatisches Maßsystem und Vergleich mit dem elektromagnetischen	24
5. Merkwürdige Beziehung zur Lichtgeschwindigkeit	32
II. Die Hertz'schen elektrischen Schwingungen und die stehenden Wellen auf Drähten.	
1. Einleitende Bemerkungen	35
2. Elektrische Schwingungen oder oscillatorische Entladungen	37
3. Elektrische Wellen auf Drähten. Allgemeines	45
4. Stehende elektrische Wellen auf Drähten	51
5. Gleichzeitiges Vorhandensein von Schwingungen der magnetischen Kraft	58
III. Hertz'sche Wellen in freier Luft; Strahlen elektrischer Kraft und die Telegraphie ohne Draht.	
1. Die fortschreitenden elektrischen Wellen in freier Luft	65
2. Nachweis der Wellen und Strahlen elektrischer Kraft	72
3. Beziehung zu den Lichtwellen	83
4. Die Telegraphie ohne Draht	85
5. Die Wellen magnetischer Kraft	87
6. Die Schwingungsrichtung polarisierten Lichtes	91
IV. Die Kraftlinien Faradays und seine Anschauungen über das Wesen der elektrischen und magnetischen Erscheinungen. — Die Tesla-Ströme.	
1. Fernwirkung oder Übertragung?	97
2. Allgemeines über Kraftlinien	98
3. Verhalten des Aethers in verschiedenen Nichtleitern. Dielektrizitäts-Konstante	105
4. Elektrische Ströme betrachtet vom neuen Standpunkte	112
5. Die Tesla-Ströme	116
V. Über Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen.	
1. Was sind Strahlen?	125
2. Die Geißler'schen Röhren	126
3. Die Hittorff'schen Röhren und die Kathodenstrahlen	129
4. Die Röntgenstrahlen	131
5. Über das Wesen der Kathoden- und der Röntgenstrahlen	137

I.

Die magnetischen und elektrischen absoluten
Maßeinheiten. Ampère, Volt, Ohm.

Nach einem Vortrage im Greifswalder Naturwissenschaftlichen
Verein vom 1. März 1899.



1. Grundlegende Betrachtungen.

Das Resultat irgend einer physikalischen Messung ist zunächst immer nur ein relatives, welches angiebt, daß die zu messende Größe so und sovielmal größer ist, als eine andere derselben Art, welche als Einheit angenommen wird. Zum Beispiel kann ich die Stärke eines Magnetpoles messen aus der Größe einer seiner sichtbaren Wirkungen im Verhältnis zu der Größe derselben Wirkung für einen anderen Magnetpol, dessen Stärke ich als Einheit festsetze, den ich zur Wiederholung derartiger Messungen aufbewahre und von dem ich annehme, daß er sich bei dieser Aufbewahrung nicht verändert. Die Willkür und die Unsicherheit in der Festsetzung einer solchen Einheit ist hieraus ersichtlich. Kann man alle physikalischen Messungen hiervon befreien und zu „absoluten“ machen, deren Einheiten unveränderlich und nach bestimmten, durch das ganze Gebiet der Physik durchgeführten Grundsätzen festgelegt sind? Vollständig erreicht wäre dieses Ziel erst, wenn man alle Einheiten aus Grundeinheiten ableiten kann, die sich nicht weiter von anderen herleiten lassen.

Diese Grundeinheiten sind diejenigen von Länge, Zeit und Masse. Der Begriff der Masse steht nicht in gleicher Linie mit denjenigen der Anschauungsformen von Raum und Zeit. Ob es in Zukunft einmal gelingen kann, diese Ausnahmestellung des Begriffs der Masse zu erklären, bzw. ihn zurückzuführen auf Länge und Zeit, soll hier nicht erörtert werden. Wir wollen ohne Bedenken die Masse als Grundbegriff zu denjenigen von Raum und Zeit hinzunehmen, und verstehen unter Masse eines Körpers die Größe seiner Trägheit, oder das Maß seines Beharrungsvermögens, welches er bethätigt, wenn er aus dem Zustande der Ruhe in Bewegung gesetzt werden, oder wenn er in einer bereits vorhandenen Bewegung gehemmt werden soll.

Als Einheit der Länge gilt für gewöhnlich ein Meter, oder der vierzigmillionte Teil des Umfanges der Erde, am

Äquator gemessen. Als Einheit der Zeit nimmt man die Sekunde, oder den $60 \times 60 \times 24$ ten Teil eines Tages, d. h. derjenigen Zeit, in welcher sich die Erde einmal um ihre Achse dreht. Als Einheit der Masse nimmt man diejenige von einem Kubikcentimeter Wasser, und hat sie Gramm genannt. Da also der Definition des Gramm 1 ccm zu Grunde liegt, hat man konsequenterweise auch hinterher statt des Meter dessen hundertsten Teil, 1 cm, als Längeneinheit gewählt. Die Fundamenteinheiten sollen mithin sein: Centimeter, Gramm, Sekunde; das auf sie aufgebaute absolute Maßsystem nennt man daher kurz das C-G-S-System.

Ehe wir überlegen, ob man auch die Messung magnetischer und elektrischer Größen auf dieselben Grundeinheiten zurückführen könne, müssen wir uns kurz vergegenwärtigen, welche Einheiten komplizierterer Größen in der Lehre von der Bewegung und von den Kräften, also in der Mechanik, aus denen von Länge, Masse und Zeit abgeleitet werden. Das mag manchem von Ihnen trocken erscheinen; man kann ja alljährlich in der Vorlesung über Experimentalphysik erkennen, wie viel kleiner die Besuchsziffer der Studierenden während der Behandlung der Mechanik ist, als während derjenigen anderer Gebiete, wie Optik und Elektrizitätslehre, welche „interessanter“ sind. Aber es ist für das Verständnis der „interessanteren“ Messungen unerlässlich, daß wir uns zuvor durch die „trockeneren“ hindurchgearbeitet haben.

Die nächste abgeleitete Einheit der Mechanik ist diejenige der Geschwindigkeit von 1 cm pro Sekunde. Wenn ein Körper bei gleichförmiger Bewegung in 2 Sekunden einen Weg von 20 m, oder in 1 Sekunde einen Weg von 10 m zurücklegt, so hat er eine Geschwindigkeit von 1000 C-G-S-Einheiten, d. h. er legt pro Sekunde 1000 cm zurück. Beschleunigung ist ferner die Zunahme der Geschwindigkeit, welche eine beschleunigte Bewegung pro Sekunde erfährt; die Einheit der Beschleunigung ist gleich einem sekundlichen Geschwindigkeitszuwachs von 1 cm pro Sekunde. Wenn also ein ursprünglich ruhender Körper anfängt sich zu bewegen, und nach 1 Sekunde eine Geschwindigkeit gleich 1000 (s. oben) erlangt hat, so ist auch die Beschleunigung, die er erfahren hat, gleich 1000 C-G-S-Einheiten.

Beschleunigt wird die Bewegung einer Masse nur dann, wenn eine Kraft auf sie wirkt. Die Beschleunigung können wir in allen Fällen direkt beobachten, und die Größe der Masse wägen. Aus beiden schließen wir jedesmal auf die Größe der

wirkenden Kraft, die um so größer sein muß, je größer die Beschleunigung ist, welche von ihr erzeugt wird, und je größer die träge Masse ist, welche zu dieser Beschleunigung genötigt wird. Einheit der Kraft nennen wir daher konsequent diejenige Kraft, welche die Beschleunigungseinheit einer trägen Masse von 1 g aufzuzwingen imstande ist. Diese Krasteinheit ist 1 Dyne genannt worden. Die uns vertraute Schwerkraft an der Erdoberfläche erteilt den freifallenden Körpern in 1 Sekunde eine Geschwindigkeit von rund 10 m pro Sekunde, also eine Beschleunigung gleich 1000 Einheiten; verstehen wir daher unter „Gewicht“ einer Masse die Kraft, mit welcher die Schwere auf sie wirkt, so ist das Gewicht von 1 g gleich (rund) 1000 Dynen, von 1 mg gleich 1 Dyne, von 1 kg gleich 1 Million Dynen.

Eine Maschine leistet „Arbeit“, wenn sie ein Gewicht hebt, das heißt, wenn sie der Kraft der Schwere entgegen Bewegung hervorbringt. Die Arbeit ist um so größer, je größer das zu hebende Gewicht ist, und je größer die Strecke ist, um welche es gehoben wird. Hebt die Maschine ein Gewicht von 1 kg um 1 m in die Höhe, so leistet sie eine Arbeit von 1 Kilogramm-meter. Ein kgm ist aber nicht die Arbeitseinheit im absoluten C-G-S-System. Diese würde vielmehr geleistet werden, wenn eine Masse, deren „Gewicht“ gleich einer Dyne ist, also (rund) 1 mg, um 1 cm gehoben wird; diese Arbeitseinheit wird „Erg“ (aus dem Griechischen = Werk) genannt. Vergleichen wir die Arbeit von 1 kgm mit der von 1 Erg, so ist ersichtlich, daß jene gleich ist 100 Millionen Erg. Eine Maschine von 1 Pferdekraft liefert pro Sekunde eine Arbeit von 75 kgm, d. h. sie kann jede Sekunde 75 kg 1 m hoch heben; eine Leistung von 1 kgm oder rund 100 Millionen Erg pro Sekunde ist also gleich $\frac{1}{75}$ Pferdekraft.

Unmittelbar an die Größen der Mechanik anzuschließen ist die absolute Messung von Wärmemengen. Die gebräuchliche, relative Einheit der Wärmemenge ist die (große) Kalorie, d. h. diejenige Wärmemenge, durch welche 1 kg Wasser von 0° auf 1° Celsius erwärmt wird. Diese kann direkt mit mechanischen Arbeitsgrößen verglichen werden, da nach den zuerst von Foule ausgeführten experimentellen Bestimmungen des mechanischen Wärmeäquivalents 1 (große) Kalorie gleichwertig ist 425 kgm; das heißt, in einer Dampfmaschine, welche Wärme in mechanische Arbeit verwandelt, tritt für jede nutzbare Kalorie eine Arbeit

von 425 kgm auf. Oder: wenn durch Reibung, z. B. beim Bremsen, mechanische Arbeit in Wärme verwandelt wird, entsteht für je 425 verlorene Kilogrammmeter eine Wärmemenge, durch welche die Temperatur von 1 kg Wasser von 0° auf 1° C erhöht werden kann. Man kann also Wärmemengen auch absolut messen durch Angabe der Anzahl der ihr äquivalenten Arbeitseinheiten.

2. Die elektromagnetischen absoluten Maßeinheiten.

Um die Messung der elektrischen und magnetischen Größen auf die Grundeinheiten zurückzuführen, muß man von irgend welchen mechanisch meßbaren Wirkungen ausgehen. Dazu kann man z. B. benutzen die Anziehungs- bzw. Abstoßungskräfte elektrischer Ladungen (elektrostatisches Maßsystem), oder diejenigen von **Magnetpolen** (elektromagnetisches System). Letzteres ist das allgemeiner und in der Technik ausschließlich gebräuchliche. Im elektromagnetischen C-G-S-System hat derjenige Magnetpol die Stärke 1, welcher auf einen ihm gleichen Pol in 1 cm Abstand eine Kraft von 1 Dyne ausübt. Bekanntlich ist diese Kraft zwischen gleichnamigen Polen, also zwischen zwei Nordpolen, oder zwischen zwei Südpolen, eine Abstoßung; dagegen zwischen zwei ungleichnamigen Polen eine Anziehung. Eine Messung dieser Kraft könnte man in einem Idealversuch folgendermaßen wirklich ausführen. Man hängt einen langen Magnetstab *NS1* (Fig. 1), an den einen Arm einer Wage und bringt ihn durch Gewicht *P* auf der anderen Seite der Wage ins Gleichgewicht. Dann hält man 1 cm unter den unteren Pol jenes Magneten einen anderen ganz gleichen und gleichnamigen. (Dies ist eine in Wirklichkeit nicht ausführbare Fiktion, da der Magnetismus von Magneten tatsächlich nicht in punktförmigen Polen

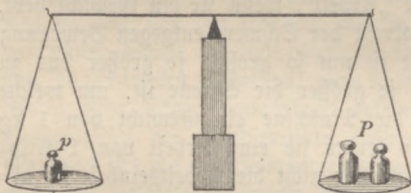


Fig. 1.

Fig. 1 zeigt eine Waage, die zur Messung magnetischer Kräfte verwendet wird. Ein Magnetstab *NS1* ist an einem Arm der Waage befestigt. Ein Gewicht *P* ist auf dem gegenüberliegenden Arm platziert. Ein zweites Magnetpol ist unter dem unteren Ende des Magnetstabs positioniert. Die Waage ist in Gleichgewicht. Die Waage hat zwei Schalen, die an einem horizontalen Balken hängen. In der linken Schale befindet sich ein Magnetstab, der an einem Punkt befestigt ist. In der rechten Schale befindet sich ein Gewicht *P*. Ein zweites Magnetpol ist unter dem unteren Ende des Magnetstabs positioniert. Die Waage ist in Gleichgewicht. Die Waage hat zwei Schalen, die an einem horizontalen Balken hängen. In der linken Schale befindet sich ein Magnetstab, der an einem Punkt befestigt ist. In der rechten Schale befindet sich ein Gewicht *P*. Ein zweites Magnetpol ist unter dem unteren Ende des Magnetstabs positioniert.

konzentriert ist.) In der Zeichnung ist dem unteren Südpol des Magneten 1 der Südpol des Magneten 2 gegenübergestellt. Die beiden werden sich abstoßen und man muß Gewichte p auf der Seite der Magnete zulegen, um wieder Gleichgewicht herbeizuführen; sagen wir etwa 90 g. (Die Wirkung der Nordpole ist wegen ihrer großen Entfernung so klein, daß sie unbeachtet bleiben kann.) Das Gewicht von 90 g oder 90000 Dynen ist also gleich der Kraft, mit welcher sich die beiden Südpole abstoßen. Daraus folgt, daß jeder dieser Pole eine Stärke von 300 C-G-S-Einheiten hat. Denn die Kraft ist um so größer, je größer der abstoßende und je größer der abgestoßene Pol ist; hat also jeder die Stärke 300, so ist die Kraft $300 \times 300 = 90000$ mal größer als für die Stärken 1, also gleich 90000 Dynen. Es ist ersichtlich, wie einfach die Berechnung der Kraft zweier Pole untereinander wird, wenn ihre Stärken in absolutem Maß angegeben sind. Haben wir z. B. einen Nordpol von 50, und einen Südpol von 8 C-G-S-Einheiten, so ziehen sich dieselben in einem gegenseitigen Abstände von 1 cm mit einer Kraft von $50 \times 8 = 400$ Dynen einander an; in einem gegenseitigen Abstände von 2 cm ist die Kraft nach dem Gesetze, in welchem sie von der Entfernung abhängt, nur noch der $\frac{1}{2 \times 2}$ te, also der vierte Teil, mithin gleich 100 Dynen; u. s. f.

Im allgemeinen hat man nun aber nicht mit der Wirkung einzelner magnetischer Pole zu thun, da solche doch immer paarweise, ein Nordpol und ein gleich starker Südpol, in demselben Stück Eisen, einem Magneten, zusammen vorkommen. Nur wenn von zwei Magneten, wie in dem vorhin beschriebenen Versuch, Fig. 1, die nächst benachbarten Pole einander sehr viel näher liegen als die anderen, kann man von der Wirkung der letzteren absehen; sonst aber darf man das keineswegs. Für die Wirkung eines ganzen Magneten in größeren Abständen ist maßgebend sein sogenanntes magnetisches Moment, das ist das Produkt aus der Stärke jedes seiner Pole mit dem Abstände derselben voneinander. Daß die Wirkung um so stärker ist, je stärker jeder seine Pole ist, bedarf keiner näheren Erläuterung. Würden sein Nord- und sein Südpol in einen Punkt zusammenfallen, so würden sie sich in ihren Wirkungen, die immer entgegengesetzt wären, völlig zu Null vernichten. Dies

wird aber um so weniger der Fall sein, je weiter die Pole auseinander gerückt werden, oder je länger der Magnetstab ist; daher also außer der Abhängigkeit der Wirkungen von der Polstärke noch diejenige vom Abstand der Pole voneinander. Letzteres läßt sich auch leicht experimentell nachweisen. Hier haben wir (Fig. 2; Grundriß) eine um ihre Mitte drehbare Magnetnadel, also einen Kompaß; sich selbst überlassen nimmt die Nadel bekanntlich die Richtung von Norden nach Süden ein, von welcher Eigenschaft her ja das eine Ende der Nadel ihr Nordpol (*N*), das andere Ende ihr Südpol (*S*) genannt wird. Hier habe ich mehrere gleich starke Magnetstäbe, zunächst soweit von der Nadel entfernt, daß diese nicht abgelenkt wird. Jetzt lege ich einen der Magnete, I, hierhin in die Nähe der Nadel;

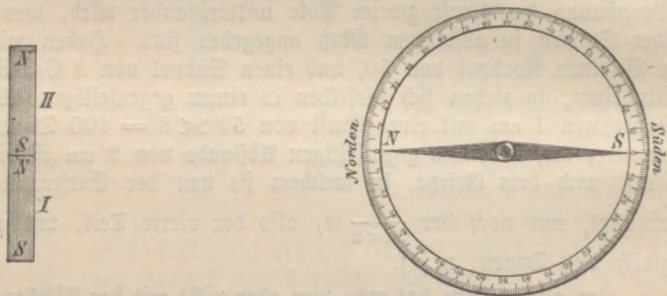


Fig. 2.

sie wird um 9 Teile der sichtbaren Skala aus ihrer Normallage abgelenkt. Nun lege ich einen zweiten der Magnete, II, dicht neben den ersten in seine Verlängerung (wie in der Figur), so daß die ungleichnamigen Pole beider zusammenstoßen. Letztere vernichten sich dann in ihrer Wirkung; wirksam bleiben nur die äußersten Pole, die gegenüber dem ersten alleinigen Magnetstabe, I, jetzt auf den doppelten Abstand voneinander gerückt sind; dem entsprechend sehen wir jetzt eine Ablenkung der Magnetnadel um 18 Teile der Skala aus der Normallage, also doppelt soviel als vorhin.

So erkennen wir die Bedeutung des „Momentes“ eines Magnetstabes für seine Wirkungen. Die Stärke der Pole können wir, wie auf Seite 6 auseinandergesetzt, in absolutem Maße

messen; multiplizieren wir sie mit dem Abstand seiner beiden Pole voneinander in Centimeter, so haben wir sein „Moment“ in C-G-S-Einheiten.

Als Polabstand ist dabei nicht einfach die ganze Länge des betreffenden Magnetstabes zu nehmen, sondern nur etwa $\frac{5}{6}$ desselben; denn die beiden Pole darf man sich nicht in den äußersten Enden des Stabes konzentriert denken, sondern in einigem Abstand von denselben. Dies kann man an dem Verlauf der „Kraftlinien“

(s. den vierten Vortrag, Abschnitt 2) für einen Magnetstab erkennen, welcher in Fig. 3 dargestellt ist, und welcher der Fig. 62 an jener Stelle ganz ähnlich wird, wo aber die Pole dann nicht in den äußersten Endflächen liegen, sondern in einem gegenseitigen Abstand von etwa $\frac{5}{6}$ der Länge des Stabes im Innern desselben zu denken sind.

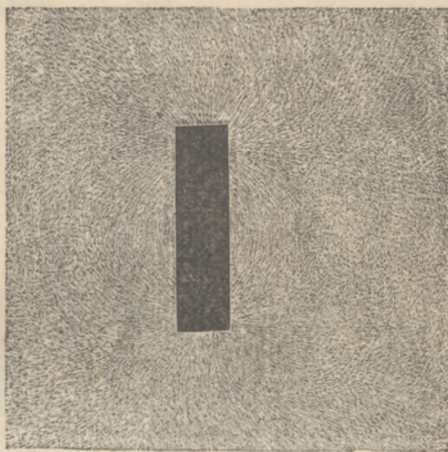


Fig. 3.

Nach dem Gesagten ist ein Magnetstab von dem Momente gleich 1 ein solcher, dessen Pole je die Stärke 1 haben und sich im Abstände von 1 cm voneinander befinden, so daß also der ganze Stab eine Länge von etwa $\frac{6}{5}$ cm haben muß.

Auch ein elektrischer Strom übt magnetische Wirkung aus, und zwar ist diese auf eine entfernte Magnetnadel um so größer, je größer die **Stromstärke**, und um so größer, je größer die Fläche ist, welche der Strom umfließt. Zum Nachweis der magnetischen Wirkung von Strömen kann man sich folgender Anordnung bedienen. Im Inneren von mehreren, in der Fig. 4 von drei, ganz gleichen, kreisförmig gebogenen Kupferdrähten hängt eine Magnetnadel. Die Flächen der Drahtkreise sind von Norden nach Süden aufgestellt, so daß die Nadel sich

selbst überlassen auch in der Ebene der Kreise sich einstellt. Gehen nun elektrische Ströme durch die Drahtwindungen, so wird die Nadel mehr oder weniger aus der Ebene der Drahtkreise herausgedreht; bei sehr starken Strömen stellt sie sich senkrecht zu jener Ebene. Man kann nun folgendermaßen beweisen, daß die magnetische Wirkung der Stromstärke proportional ist. Einen Strom von der Zuleitung *a* her lasse ich von einem quecksilbergefüllten Napf aus in die drei gleichen

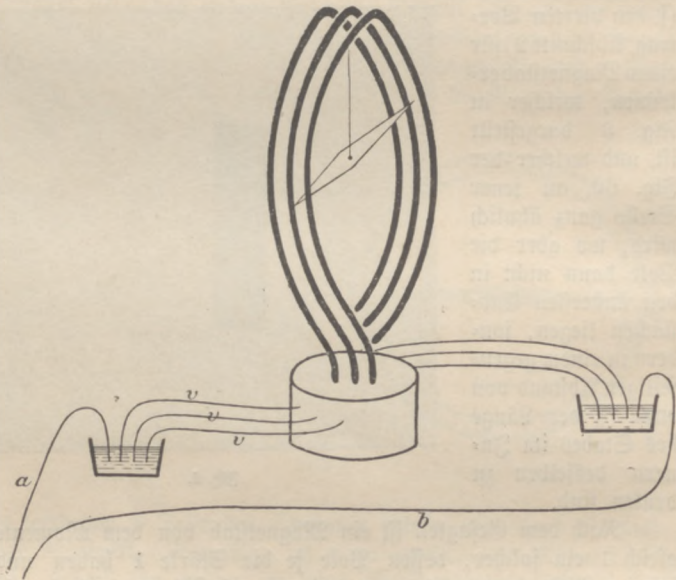


Fig. 4.

Drahtkreise durch die Verbindungen *vvv* sich verzweigen, sich wieder vereinigen, und leite ihn durch *b* ab. Dann fließt durch jeden Drahtkreis ein Drittel des Gesamtstromes. Zuerst verbinde ich die Zuleitungen *vvv* zu den Einzelkreisen so mit *a*, bezw. die auf der Hinterseite nicht sichtbaren mit *b*, daß die Ströme in den drei Drahtkreisen alle gleich gerichtet sind, so als ob ich einen Drahtkreis hätte, in welchem die ungeteilte Stromstärke fließt. Zuzweit verbinde ich eine der hinteren Zuleitungen mit *a* und die entsprechende vordere mit *b*, so daß

in dem zugehörigen Drahtkreis der Strom in umgekehrter Richtung fließt, wie in den beiden anderen. Dann hebt sich die Wirkung dieses umgekehrten Stromdrittels mit einem der beiden anderen auf, und es bleibt nur noch ein Drittel des

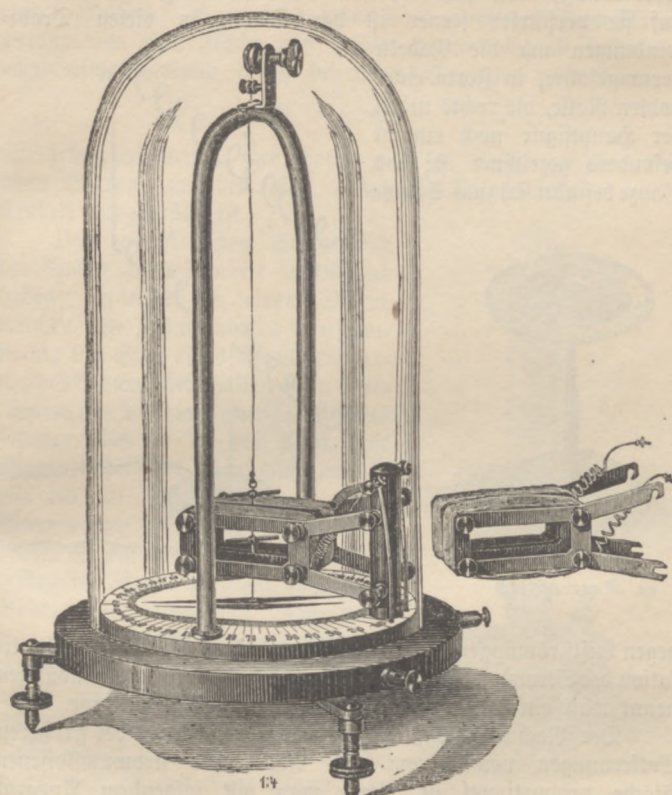


Fig. 5.

Gesamtstromes auf die Nadel wirksam. Messe ich in beiden Fällen die (kleine) Ablenkung der Nadel auf einer Kreisteilung, die in der Figur dicht unter der Nadel zu denken ist, so finde ich in der That zuerst den dreifachen Betrag, wie zuzweit.

Ein Apparat, wie der in Fig. 4, kann zum Nachweis

oder zum Messen von Stromstärken dienen, und wird im allgemeinen Galvanoskop oder Galvanometer genannt.

Fig. 5 zeigt ein solches in feinerer Ausführung, statt einer sind mehrere Magnetnadeln vorhanden in einer solchen Verbindung, daß sich die ablenkende Wirkung des Stromes auf sie verstärkt; ferner ist der Strom in vielen Drahtwindungen um die Nadeln herumgeführt, in Form einer hohlen Rolle, die rechts neben der Hauptfigur noch einmal besonders gezeichnet ist; das Ganze befindet sich zum Schutze



ca. $\frac{1}{3}$ NAT. GRÖSSE

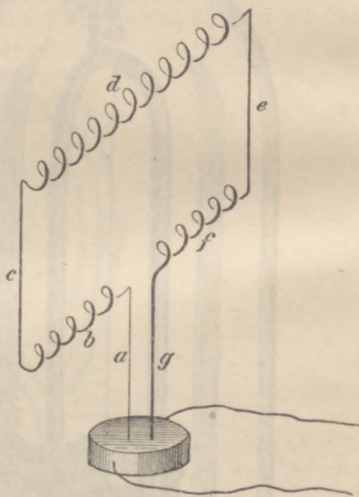


Fig. 6.

gegen Luftströmungen unter einer Glasglocke. Wegen der Multiplikation der Stromwirkung durch die große Zahl der Drahtwindungen nennt man ein solches Galvanometer auch Multiplikator.

Der Nachweis, daß die magnetische Wirkung bei größeren Entfernungen von Strom und Nadel der stromumschlossenen Fläche proportional ist, kann man mit folgendem Apparat führen (Fig. 6). Eine Nadel ist seitlich von einem Strome aufgestellt. Letzterer durchfließt, von einer Zuleitung *a* ausgehend, eine elastische Spirale *b*, ein geradliniges Stück *c*, eine Spirale *d*, einen geraden Draht *e*, eine Spirale *f* und die Ableitung *g*. Indem *c* und *e* voneinander entfernt werden, wobei die Spiralen nachgeben, kann bei ungeänderter Stromstärke die stromumschlossene Fläche *bedef* vergrößert werden, und

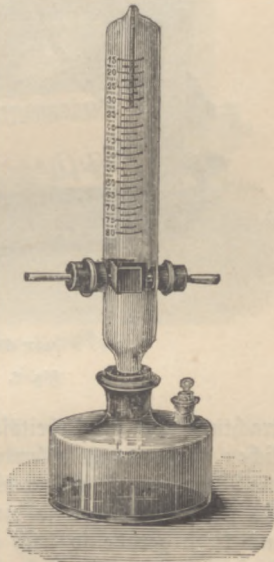
man findet z. B., daß, wenn sie verdoppelt wird, daß dann auch die (kleine) Ablenkung der Nadel sich verdoppelt.

Als Einheit der Stromstärke definiert man nun diejenige, welche, um eine Fläche von 1 qcm herumfließend, dieselbe magnetische Wirkung ausübt, wie ein Magnet vom Moment einer C-G-S-Einheit. Für einen anderen Strom von der Intensität i , welcher um eine Fläche von q qcm herumfließt, ist dann die magnetische Wirkung gleich der eines Magneten vom Moment

$$M = i \times q.$$

Sie sehen wiederum, wie einfach sich die Größe der magnetischen Wirkung angeben läßt, wenn die Stromstärke in dieser Einheit ausgedrückt ist.

Um einmal einen Strom von der Stärke einer Einheit wirklich zu haben, verändere ich einen Strom, welcher eine Fläche von 1 qcm umfließt, mit Hilfe eines Regulierwiderstandes*) durch Einschalten bzw. Ausschalten von Drähten in den Stromkreis solange, bis er in der That eine Magnetnadel um ebensoviele ablenkt wie ein an seine Stelle gebrachter Magnet vom Einheitsmoment. Denselben Strom lasse ich nun auch angesäuertes Wasser zersetzen, wobei die Bestandteile des Wassers, Wasserstoffgas und Sauerstoffgas abgeschieden werden. Das Gemisch dieser beiden nennt man Knallgas wegen seiner Fähigkeit, mit lautem Knall sich explosiv wieder zu Wasser zu vereinigen, wenn man es mit einer Flamme in Berührung bringt. Das durch den Strom entwickelte Knallgas kann man bei einem Apparat von der in Fig. 7 dargestellten Form in einem in Kubikcentimeter getheilten Meßcylinder auffangen. Geschieht dies bei dem in obiger Weise erzielten Strom von der Stärke



CA. 1/5 NAT. GRÖSSE

Fig. 7.

*) Siehe R in Fig. 10.

einer Einheit, so findet man, daß er pro Minute 104,4 ccm Knallgas ausscheidet. Den zehnten Teil dieser Stromstärke nennt man **1 Ampère**, in ehrender Erinnerung an den gleichnamigen französischen Physiker. Nachdem ich einmal konstatiert habe, daß eine Stromstärke gleich 1 Ampère 10,44 ccm Knallgas pro Minute ausscheidet, kann ich auch durch Knallgasmessung die Stärke irgend eines anderen Stromes in Ampère bestimmen.

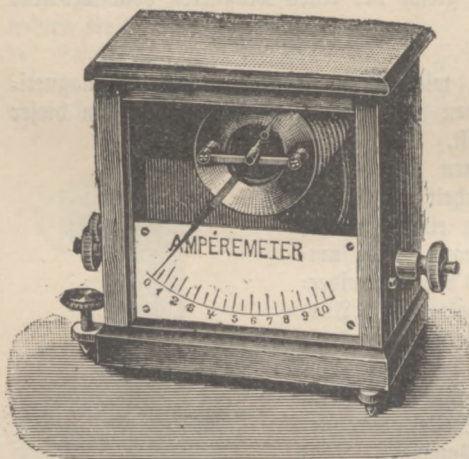
CA. $\frac{1}{4}$ NAT. GRÖSSE.

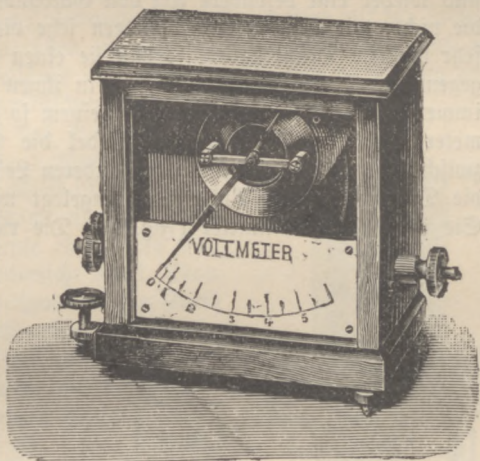
Fig. 8.

Man kann auch die Teilung, auf welcher die Nadel eines Galvanometers spielt, direkt so graduieren, daß sie die Anzahl der Ampères für einen Strom angiebt; ein solches Galvanometer nennt man Ampèremeter. Sie sehen hier ein solches aufgestellt (Fig. 8).

Eine elektrische Entladung ist imstande Arbeit zu leisten. Wie groß diese ist, können wir aus einer Be-

trachtung über die Arbeitsfähigkeit einer in erhöhter Lage befindlichen Wassermenge erkennen. Diese ist um so größer, je größer die Menge und je größer die Höhe ist, auf welcher sie sich befindet. Es fasse beispielsweise ein Mühlenteich gerade so viel Wasser und liege gerade so hoch über der Mühle, daß er einmal ausfließend gerade ein Rad eine Stunde lang zu treiben imstande ist. Wird der Teich aufs zehnfache vergrößert, so vermag das Wasser zehn Mühlenträder in derselben Weise zu treiben. Aber auch wenn die Teichanlage unvergrößert in die zehnfache Höhe über der Mühle verlegt wird, so können an dem Bergabhang noch neun neue Mühlen stoffelweise übereinander errichtet werden, und dann kann das Wasser des Teiches successive alle zehn Mühlen passieren und in jeder ein Rad in derselben Weise

treiben. Analog einer aufgespeicherten Wassermenge in erhöhter Lage ist bei einer elektrischen Ladung die angesammelte Elektrizitätsmenge, und analog der Höhe ist die **Spannung**, unter welcher sich die Ladung befindet. Und ebenfalls analog ist die Arbeitsfähigkeit einer elektrischen Entladung gleich der zur Entladung kommenden Elektrizitätsmenge multipliziert mit der Spannungsverminderung, welche dabei eintritt. Die Stromstärke in einem konstanten Strome ist nun nichts anderes als die Elektrizitätsmenge, welche pro Sekunde zur Entladung kommt. Die Arbeit, welche dabei pro Sekunde geleistet werden kann in einem bestimmten Leiterstück, etwa einem Stück Draht, ist gleich der Stromstärke multipliziert mit der Spannungsverminderung der Elektrizität von der Eintritts- bis zur Austrittsstelle. Von



CA. 1/4 NAT. GRÖSSE

Fig. 9.

den Wirkungen der elektrischen Ströme ist nun eine die Erwärmung der durchflossenen Leiter, welche ja z. B. bei der elektrischen Beleuchtung nutzbar gemacht wird. Diese Erwärmung repräsentiert eine bestimmte Arbeit. Man kann die produzierte Wärmemenge (kalorimetrisch) messen, indem man etwa eine Glühlampe einschließt in ein Bad von 1 kg Wasser; jeder Grad Temperatursteigerung desselben entspricht dann der Produktion von einer Wärmeeinheit oder einer Kalorie durch den elektrischen Strom. Durch Umrechnung kennt man dann also auch die der Arbeit des Stromes äquivalente Anzahl von Erg oder von Kilogrammometer. Auf solche Messungen kann man die Definition der Einheit der Spannung im absoluten Maß begründen, welche man **Volt** (nach dem italienischen Physiker

(Volta) genannt hat mit folgender Festsetzung: Wenn der Strom von 1 Ampère durch ein Leiterstück fließend, pro Sekunde in ihm eine Wärmemenge entwickelt äquivalent rund $\frac{1}{10}$ kgm (oder genau gleich 10 Millionen Erg), so ist der Spannungsabfall zwischen den Enden gleich 1 Volt.

Instrumente zur Messung von Spannungsdifferenzen giebt es verschiedene; man nennt sie Voltmeter; die gebräuchlichsten sind wieder eine besondere Art von Galvanometern, aber solche, die nicht, wie Fig. 4, drei, sondern sehr viele Windungen von sehr dünnem Draht haben, so daß sie einen großen Widerstand gegen den Strom bieten, und die in ihnen laufenden Ströme immer nur sehr schwach sind. Bei einem so gearteten Galvanometer giebt die Ablenkung der Nadel die Spannungsdifferenz zwischen denjenigen Stellen einer anderen Leitung an, an welche die Drahtenden des Voltmeters angelegt werden. Hier sehen Sie ein solches Voltmeter (Fig. 9). Die richtige Graduierung

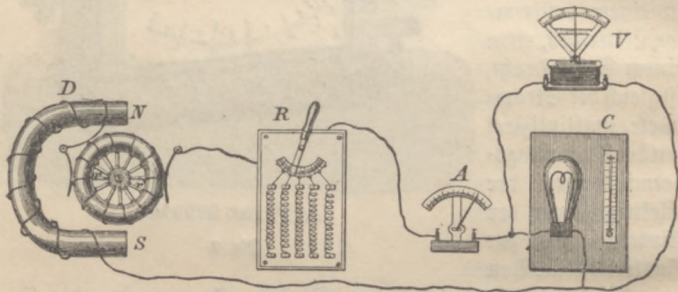


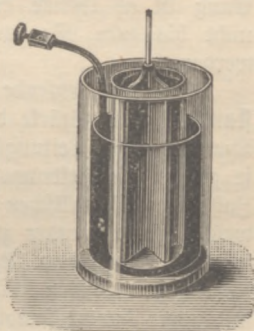
Fig. 10.

eines Voltmeters würde nach dem Vorigen in folgender Weise ausgeführt werden können (Fig. 10). Der Strom etwa von einer Dynamomaschine *D* durchlaufe einen Regulierwiderstand *R*, ein Ampèremeter *A*, eine Glühlampe, die in ein Wassergefäß (Kalorimeter) *C* eingeschlossen ist, welches 1 kg Wasser und ein Thermometer enthält. Von da gehe der Strom zum anderen Pol der Dynamomaschine *D* zurück. Von der Eintritts- und Austrittsstelle des Stromes in die Glühlampe sind Verbindungen zum Voltmeter *V* angelegt. Vermittels *R* werde die Stromstärke so reguliert, daß sie gerade 1 Ampère beträgt. Die Glüh-

lampe in C sei so gewählt, daß pro Sekunde das Thermometer um $\frac{1}{425}^{\circ}$, oder in rund je 7 Minuten um 1° steige. Dann ist die in der Glühlampe entwickelte Stromwärme gleich $\frac{1}{425}$ Kalorie, oder äquivalent 1 kgm pro Sekunde. Bei diesen Verhältnissen muß das Voltmeter, welches anzeigt, um wie viel die Spannung vom Eintritt des Stromes in die Glühlampe bis zum Austritt abfällt, gerade auf 10 Volt zeigen; denn so ist nach obigem die Einheit 1 Volt festgesetzt.

Verbinde ich die Zuleitungen eines Voltmeters mit den Polen eines offenen galvanischen Elementes, z. B. eines aus Zink in verdünnter Schwefelsäure und Kupfer in Kupfervitriollösung zusammengesetzten Daniellschen Elementes (Fig. 11), so giebt das Voltmeter die Spannungsdifferenz zwischen den Polen des Elementes an. Diese ist aber nichts anderes als die stromtreibende Kraft, die in dem Elemente ihren Sitz hat, oder seine elektromotorische Kraft. Man findet so, daß die elektromotorische Kraft eines Daniellschen Elementes gerade ein wenig größer ist als 1 Volt.

Statt als Wärme kann die Stromarbeit mittels eines elektromagnetischen Motors, z. B. eines elektrisch betriebenen Krähns, auch als mechanische Arbeit gewonnen werden. Ein Strom von der Spannung 1 Volt und der Intensität 1 Ampère kann dann pro Sekunde $\frac{1}{10}$ kgm leisten, entspricht also $\frac{1}{750}$ Pferdekraft, welche Leistung man 1 **Watt** (nach dem Erfinder der Dampfmaschine) nennt. Nach dem Prinzip von der Erhaltung der Energie ist dieselbe mechanische Leistung auch erforderlich, um einen solchen Strom zu erzeugen, wenn die Stromerzeugung auf rein mechanische Weise geschieht. Dies ist z. B. in den Dynamomaschinen der Fall (siehe D Fig. 10), wo durch bloße Drehung des eisernen mit Draht umwickelten Ankers (in Fig. 10 ringförmig gezeichnet, rr) zwischen den Polen NS des feststehenden Magneten in den Drahtwickelungen des Ankers Induktionsströme entstehen, die dann auch um die Schenkel des festen Magneten herumgeleitet werden und dessen Magnetismus verstärken, dadurch selbst wieder stärker werden u. s. f., bis nach



CA. $\frac{1}{10}$ NAT. GRÖSSE

Fig. 11.

hinreichender gegenseitiger Steigerung von Strömen und Magnetismus (Anlaufzeit der Dynamomaschine) erstere stark genug geworden sind, um nutzbar verwendet zu werden, z. B. zur Speisung von Glühlampen. Die elektrische Beleuchtungsanlage unseres Physikalischen Instituts braucht 26 Ampère und 65 Volt im Betrieb; macht (65×26) (Volt \times Ampère) = 1690 Watts = $2\frac{1}{4}$ Pferdekkräfte; der Gasmotor, der die Dynamomaschine treibt, muß also mindestens diese Leistungsfähigkeit haben; der unserige ist ein sechspferdiger, braucht also nicht einmal mit halber Kraft zu laufen, um die Dynamomaschine für die Beleuchtung zu treiben. Für einen gleichmäßigen und sicheren Gang ist es immer erforderlich, daß Maschinen bei weitem nicht bis zum Maximum ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht werden.

Die noch fehlende Definition ist die Einheit des **Widerstandes**. Die Stärke des Stromes, den eine elektromotorische Kraft in einem Leitungskreise erzeugt, ist zunächst um so größer, je größer die elektromotorische Kraft, je größer also z. B. die Zahl der Daniellschen Elemente oder der Akkumulatoren ist, welche hintereinander zu einer galvanischen Batterie verbunden werden. Außerdem ist aber die Stärke des Stromes um so kleiner, je größeren Widerstand der Leitungskreis ihm darbietet, und zwar kommt sowohl der äußere Widerstand der verbindenden Drähte u. s. w., als auch der innere Widerstand in den Elementen selbst in Betracht. Um den „Widerstand“ noch anschaulicher zu machen, sei noch bemerkt, daß er bei Drähten um so größer ist, je länger der Draht ist; um so kleiner, je größer dessen Querschnitt ist; und daß er endlich noch abhängt von der Substanz: bei übrigens gleicher Form ist der Widerstand kleiner bei Gold, Silber, Kupfer als bei Eisen, Platin, Quecksilber. — Den auseinandergesetzten Zusammenhang zwischen den drei für einen Strom charakterisierenden Größen drückt das von dem deutschen Physiker Ohm gefundene, und nach ihm benannte Gesetz aus, daß die Stromstärke in einer geschlossenen Leitung proportional ist der elektromotorischen Kraft und umgekehrt proportional dem Widerstand. Früher hatte man als Einheit des Widerstandes die Siemens-Einheit festgesetzt, den Widerstand einer (etwa in einer Glasröhre eingeschlossenen) Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Im absoluten Maße ist die Einheit so festgesetzt, daß

die elektromotorische Kraft von 1 Volt in ihr eine Stromstärke von 1 Ampère erzeugt und wird Ohm genannt.

Man würde z. B. aus einem galvanischen Element, dessen elektromotorische Kraft gerade 1 Volt wäre, einem Regulierwiderstand R und einem Ampèremeter einen Stromkreis bilden, und so viel Drähte in R (wie in Fig. 10) ein- bzw. ausschalten, daß die Stromstärke gleich 1 Ampère wird. Dann ist der Gesamtwiderstand, äußere Leitung und Element zusammengekommen, gleich 1 Ohm. Man findet so, daß der Widerstand 1 Ohm ein wenig größer ist als derjenige der Siemens-Einheit. Hat man nun eine Elementenbatterie von einer anderen elektromotorischen Kraft, etwa gleich 6 Volt, zur Verfügung, und weiß, daß der angewiesene Leitungskreis (einschließlich Elementen selbst) einen Widerstand von 3 Ohm hat, so weiß man nun nach dem Ohmschen Gesetz, daß dann eine Stromstärke gleich 6 dividiert durch 3 = 2 Ampère entsteht. Allgemein ist die Zahl der Ampères gleich Zahl der Volts dividiert durch die Zahl der Ohm. Sind zwei der drei Zahlen gegeben, so kann man die dritte also in einfachster Weise berechnen.

Das Ohmsche Gesetz kann nun auch noch in einer etwas veränderten Weise angewandt werden. Oben, S. 17, sahen wir, daß „elektromotorische Kraft“ nur ein besonderer Fall von Spannungsdifferenz ist, nämlich die an den Polen eines nicht geschlossenen galvanischen Elementes. Ebenso wie nun in einem ganzen Leiterkreis die gesamte elektromotorische Kraft die stromtreibende Größe ist, so ist in einem Leiterstück für sich allein genommen die Spannungsdifferenz zwischen seinen Enden die Größe, die in ihm den Strom treibt. Man kann daher das Ohmsche Gesetz auch so aussprechen: In einem Leiterstück ist die Stromstärke proportional der Spannungsdifferenz der beiden Enden und umgekehrt proportional dem Widerstand. Wenn man Ampère, Volt, Ohm als Einheiten nimmt, so gilt dasselbe Zahlenverhältnis wie vorhin: Zahl der Ampères gleich Zahl der Volts dividiert durch die Zahl der Ohm. Zum Beispiel bei dem auf S. 16 beschriebenen Versuch, Fig. 10, ist in der Glühlampe die Stromstärke gleich 1 Ampère, die Spannungsdifferenz zwischen ihren Enden gleich 10 Volt; also muß ihr Widerstand gleich 10 Ohm sein. Wir wollen nun einmal, anknüpfend an die bereits oben (S. 8) gemachten Angaben, die Verhältnisse unserer Beleuchtungsanlage im ein-

zeln durchsprechen. Dieselbe besteht aus 13 Glühlampen in sogenannter Parallelschaltung, d. h. die Drahtleitungen sind so geführt, daß der Gesamtstrom von 26 Ampère, den die Dynamomaschine liefert, sich unter die 13 Glühlampen verzweigt, wie Fig. 12 zeigt. Infolgedessen kommt auf jede von ihnen also eine Stromstärke von 2 Ampère. Alle erhalten die Stromzuführung durch Abzweigungen von ein und demselben Zu-



Fig. 12.

leitungsdraht, und die 13 Zweigströme werden wieder in einem Ableitungsdraht gesammelt. Zwischen dem Zuführungs- und dem Ableitungsdraht herrscht eine Spannungsdifferenz von 65 Volt; in jeder der Glühlampen fällt die Spannung von Eintritt zum Austritt um 65 Volt; daraus folgt, daß jede einen Widerstand von $32\frac{1}{2}$ Ohm hat, was durch direkte Messung bestätigt werden kann.

Hiermit sind wir uns darüber klar geworden, was man unter den Maßeinheiten Ampère, Volt und Ohm versteht, und welche Vorteile ihre Einführung bietet. Im vorhergehenden sind prinzipiell einfach ausgedachte Versuche angegeben, durch die man zur Bestimmung jener Einheiten gelangen kann. Im folgenden Abschnitte sollen noch andere Methoden hierfür angegeben werden; jedoch genügt zum Verständnis der Bedeutung von „Ampère, Volt und Ohm“ völlig das bereits Gesagte.

3. Benutzung der Induktionsströme und des Erdmagnetismus bei Festsetzung der Einheiten.

Nach Festsetzung der Einheit der Stromstärke kann man auch noch auf andere Weise zu einer Bestimmung der Einheit der Spannung gelangen. Während man einen Magnetpol in eine Drahtspirale hineinschiebt, wird in ihr ein Strom induziert, den man mit einem Amperemeter messen kann. (Demonstration, Fig. 13.) Der Induktionsstrom ist so gerichtet, daß die zwischen ihm und dem Magnetpol auftretende Kraft den letzteren abstößt, und man muß beim Hineinschieben also Arbeit leisten gegen

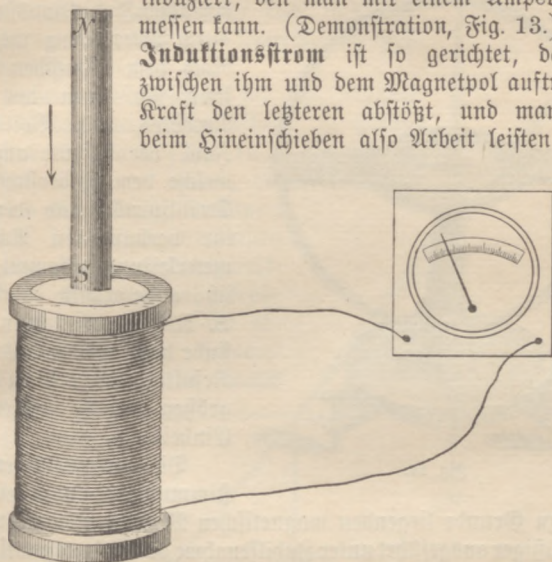


Fig. 13.

diese Abstößung. Dieser Arbeitsaufwand ist auch die Quelle der Energie, welche in dem induzierten Strome auftritt. Einerseits kann ich nun den Arbeitsaufwand beim Nähern von Pol und Induktionsstrom berechnen: die Polstärke soll in C-G-S-Einheiten gemessen sein, und aus der Zahl der Ampères kenne ich das Moment des gleichwertigen Ersatzmagneten, daraus also die Größe der Abstößung der beiden in Dynen, und die Arbeit bei der erzwungenen Annäherung in Erg bzw. Kilogrammmeter. Diese Energie tritt andererseits auf als Energie des Induktionsstromes, z. B. als die durch

ihn erzeugte Wärmemenge. Diese sekundliche Stromarbeit ist, wie wir sahen, gleich den Volts \times Ampères. Wir wollen den Magnetpol so in die Drahtspirale hineinschieben, daß der Induktionsstrom gerade eine Sekunde andauert. Dann ist die Zahl seiner Volts \times Ampères oder Watts gleich der zehnfachen Zahl der Kilogrammmeter Annäherungsarbeit. Letztere kenne ich; die Zahl der Ampères lese ich am Ampèremeter ab; also kann

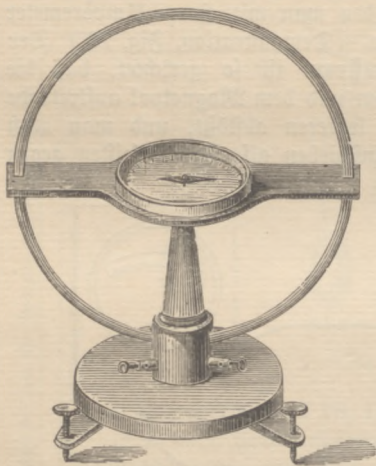


Fig. 14.

ich die Zahl der Volts des erzeugten Induktionsstromes durch Berechnung angeben. Nach dem Ohmschen Gesetz kann ich dann aus den Ampères und Volts die Zahl der Ohms angeben, welche dem Widerstand der Drahtspirale und der mit ihr verbundenen Ampèremeterleitung zukommt, den ich andererseits auch in S.-E.*) angeben kann, und finde dann wieder das obige Resultat, daß 1 Ohm etwas größer ist als 1 Siemens-Einheit.

Die der wirklichen Bestimmung der absoluten Einheiten zu Grunde liegenden magnetischen Messungen werden nun zweckmäßiger ausgeführt unter Zuhilfenahme des **Erdmagnetismus** als einer im allgemeinen konstanten magnetischen Kraft. Nachdem man einen Magnetstab vom Einheitsmoment in einer der oben beschriebenen (S. 6) ähnlichen Weise festgesetzt hat, bestimmt man die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf ihn wirkt, etwa auch wieder vermittels der Wage, in absolutem Maß. Man nennt diese Kraft Intensität des Erdmagnetismus und ihre Horizontalkomponente, welche z. B. allein auf eine horizontal drehbare Deklinationnadel, einen Kompaß, wirkt, Horizontalsintensität des Erdmagnetismus. Dann läßt man weiterhin einen Strom ablenkend wirken auf eine passend gestellte Magnet-

*) Siemens-Einheiten.

nadel und erhält dadurch direkt einen Vergleich seiner magnetischen Kraft mit derjenigen des Erdmagnetismus. Dies kann z. B. geschehen mit einem Galvanometer von der Art der Fig. 4 auf S. 10, welche Form mit kreisförmigen Drahtwindungen Tangentenbusssole genannt wird. Eine solche Tangentenbusssole, wie sie wirklich ausgeführt wird, zeigt die Fig. 14, wo an dem Fuße Klemmschrauben zur Anbringung der Verbindungsdrähte sichtbar sind; eine Säule trägt eine kreisförmige Dose, in welcher die Magnetnadel über einer Kreisteilung drehbar schwebt.

Nebenstehend zeichnen wir die Magnetnadel in der horizontalen Ebene, in welcher sie sich drehen kann (Fig. 15). In der abgelenkten Lage der Nadel, deren unge störte Lage die süd nördliche Richtung SN sei, sei der an dem einen Pol angreifende Erdmagnetismus nach Richtung und Größe durch ME dargestellt, die ablenkende Kraft des Stromes durch MJ . Beide setzen sich zusammen zu einer Resultante MR , deren Richtung mit der Längsrichtung der Nadel in der abgelenkten Lage übereinstimmt. Aus dem

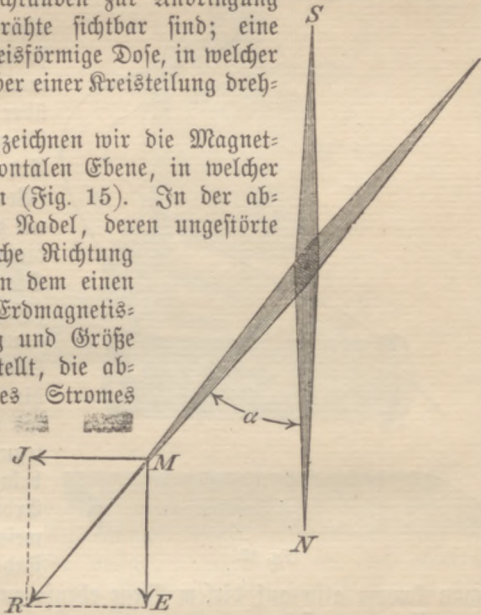


Fig. 15.

Ablenkungswinkel α ergibt sich das Verhältnis $MJ : ME$ (und zwar als trigonometrische Tangente von α ; daher der Name Tangentenbusssole). Die Intensität des Erdmagnetismus ist in absolutem Maß, wie vorhin auseinandergesetzt, meßbar; in der vorstehenden Weise damit also auch die magnetische Wirkung des Stromes und seine Intensität in Ampères.

Endlich läßt sich auch die Bestimmung von Volt und Ohm durch Induktion besonders sicher machen unter Zuhilfenahme des Erdmagnetismus als der induzierenden magnetischen Kraft. Man kann nämlich die Induktion, statt wie oben angenommen,

durch Hineinschieben eines Poles in eine Spirale, auch durch einmaliges Umdrehen der Spirale über dem Magneten erzeugen.

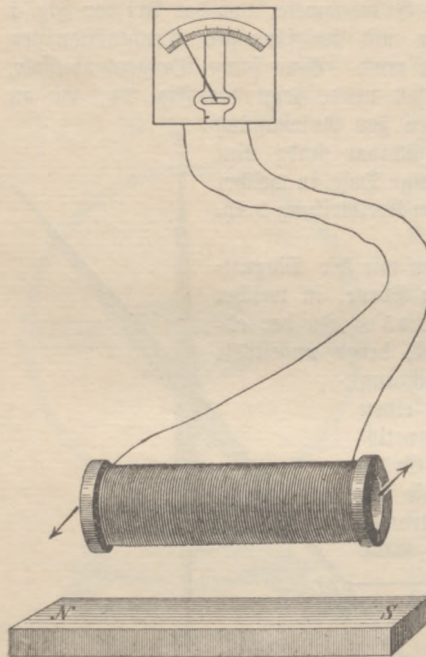


Fig. 16.

(Versuch, Fig. 16.) Die Pfeile in der Figur deuten an, in welcher Weise die Rolle zu drehen ist. Ebenso muß man also auch Induktionsströme erhalten, wenn man eine Drahtspirale über der als großer Magnet zu denkenden Erde einmal umdreht. (Versuch.) Einen Apparat zur exakten Messung dieser Ströme, wie Sie ihn hier sehen (Fig. 17)*), nennt man Erdinduktor. An Stelle der Stärke des hineingeschobenen Poles in der obigen Überlegung tritt jetzt die bekannte Intensität des Erdmagnetismus; alle weiteren Überlegungen sind die analogen und

man kommt also auf diesem Wege ebenso zu einer Bestimmung von Volt und Ohm.

4. Elektrostatisches Maßsystem und Vergleich mit dem elektromagnetischen.**)

Das im vorstehenden in seinen Prinzipien auseinander-gesetzte elektromagnetische Maßsystem ist das praktisch wichtigste;

*) Nach Weber ausgeführt von Prof. Dr. Edelmanns Physikalisch-Mechanischem Institut in München.

***) Die Abschnitte 4 und 5 bieten dem Verständnis fortschreitend größere Schwierigkeiten dar und sind nur für solche Leser bestimmt, welche tiefer in die Theorie eindringen wollen.

ein schon auf S. 6 flüchtig erwähntes anderes System, das elektrostatische, soll nun aber auch noch kurz berührt werden, einer wichtigen theoretischen Beziehung wegen, welche wir durch dasselbe verstehen lernen werden.

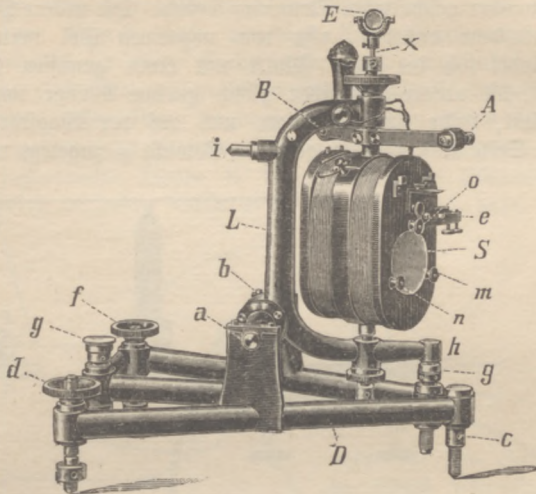


Fig. 17.

Entsprechend, wie das elektromagnetische System von den mechanisch meßbaren Anziehungs- bzw. Abstoßungskräften der Magnetpole aufeinander ausgeht, geschieht dies im **elektrostatischen System** von den Kräften elektrischer Ladungen aufeinander. Im elektrostatischen C-G-S-System wird diejenige Elektrizitätsmenge als Einheit genommen, welche auf eine ihr gleiche in 1 cm Abstand eine Kraft von 1 Dyne ausübt. Wenn wir wiederum wie bei dem auf S. 6 beschriebenen Idealversuch absehen von Nebenumständen, durch welche aber das Prinzip nicht berührt wird, können wir eine Messung von Elektrizitätsmengen in absolutem Maß ganz analog wie bei dem damaligen magnetischen Versuch mit der Wage ausführen. Die obere Platte *o* (Fig. 18) eines Kondensators hängt vermittels Seidenfäden, welche die Elektrizität nicht leiten, an dem einen Arm einer Wage und ist ungeladen durch ein Gewicht *P* auf der anderen Seite ins Gleichgewicht gebracht. Ihr

gegenüber steht in 1 cm Abstand die untere Platte u , fest auf nichtleitenden Glasfüßen aufgestellt. Nun wird die obere Platte o leitend verbunden mit dem einen, etwa dem positiven Pol einer starken galvanischen Batterie, welche aus sehr vielen hintereinander geschalteten Elementen besteht. Die untere Platte u wird mit dem anderen, also dem negativen Pol verbunden. Dann ladet sich die obere Platte mit einer gewissen Menge positiver, die untere mit einer gleich großen Menge negativer Elektrizität, beide ziehen sich an, und auf der Wagschale der anderen Seite muß noch ein gewisses Gewicht p zugelegt werden,

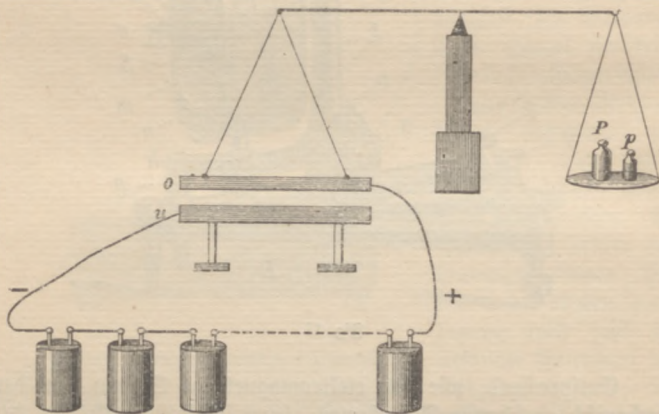


Fig. 18.

damit wieder Gleichgewicht hergestellt sei. Sagen wir, es betrage etwa 90 g; dann ist die Kraft, mit welcher die Ladungen der beiden Platten einander anziehen, gleich (rund) 90000 Dynen. Wenn wir nun die Fiktion machen, die Ladungen befänden sich nicht auf zwei Platten, sondern in zwei Punkten konzentriert, 1 cm voneinander abstehend, so gelten dieselben Überlegungen, wie auf S. 7 für die Stärke der Magnetpole, und jede der Ladungen ist gleich 300 elektrostatischen C-G-S-Einheiten. Eine dem Prinzip nach gleiche Messungsweise wie die im vorstehenden beschriebene liegt dem „absoluten Elektrometer“ von Sir William Thomson (jetzt Lord Kelvin) zu Grunde.

Weiter wollen wir auf das absolute elektrostatische Maß-

system nicht eingehen; das Gesagte genügt zur Ausführung des **Vergleichs mit dem elektromagnetischen**. Wir wollen nun auch in letzterem Elektrizitätsmengen messen, was bisher noch nicht geschehen war. Die Brücke dazu bildet die uns bekannte Messung von Stromstärken; denn Intensität eines Stromes ist ihrem Begriff nach diejenige Elektrizitätsmenge, welche pro Sekunde an einer Stelle vorbeifließt. Darauf kann man folgende elektromagnetische Meßmethode einer Elektrizitätsmenge begründen. Dieselben Kondensatorplatten *o* und *u* (Fig. 19), welche zur vorigen Messung benutzt wurden, können vermittelt einer sogenannten Wippe *W* in schneller Folge abwechselnd mit den Polen derselben Batterie *B* verbunden und dabei geladen,

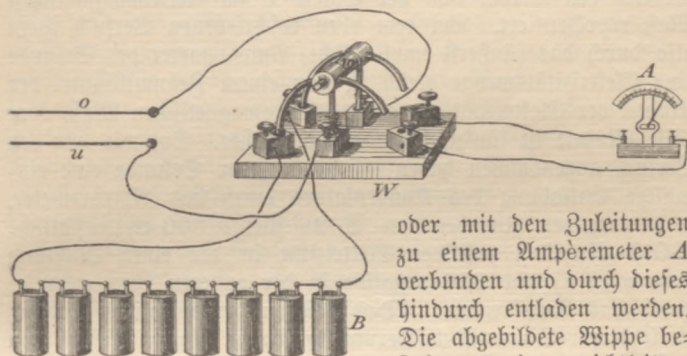


Fig. 19.

oder mit den Zuleitungen zu einem Ampèremeter *A* verbunden und durch dieses hindurch entladen werden. Die abgebildete Wippe besteht aus einem nichtleitenden Klotz etwa von Hartgummi, mit sechs quecksilbergefüllten Näpfen, angeordnet wie die sechs Augen einer Würfelsechse. Zwei Metalldreizacke sind an den Enden eines nichtleitenden Mittelstücks *m* befestigt. In der gezeichneten Stellung stellen die Zacken die leitende Verbindung je eines mittleren mit einem der links befindlichen Näpfe, damit also auch vermöge der gezeichneten Drahtleitungen die Verbindung von *o* und *u* mit den Polen von *B* her. Wird das wippende Dreizackpaar nach rechts hin umgelegt, so stellt es die Verbindung je eines mittleren mit einem der Näpfe rechts her, von *o* ist dann Verbindung durch das Ampèremeter *A* nach *u* hergestellt und der Kondensator entlädt sich durch das Ampèremeter. Durch die bei der Entladung hindurchschießenden Elektrizitäten erhält die Nadel des Ampèremeters eine stoßweise Ablenkung.

In jeder Sekunde möge nun die Wippe einmal hin und her gelegt werden. Dann erhält die Nadel des Ampèremeters alle Sekunden einen solchen Stoß, und bei passender Einrichtung bleibt sie dauernd in einer abgelenkten Lage stehen. Diese abgelenkte Lage möge etwa $\frac{1}{5}$ Mikroampère, d. h. $\frac{1}{5}$ von einem Milliontel Ampère Stromstärke anzeigen; letztere beträgt dann $\frac{1}{5}$ von einem Zehnmilliontel der absoluten elektromagnetischen C-G-S-Einheit, da 1 Ampère $\frac{1}{10}$ der letzteren ist. Da nun Stromstärke die Elektrizitätsmenge ist, welche in einer Sekunde durch eine bestimmte Stelle des Stromes hindurchfließt, muß konsequenterweise im elektromagnetischen System als Einheit der Elektrizitätsmenge diejenige definiert werden, welche in einer Sekunde durch eine Stelle fließend den Strom von der Stärke 1 im elektromagnetischen Maß repräsentiert. Bei dem oben beschriebenen Versuch fließt also durch das (äußerst empfindliche) Ampèremeter pro Sekunde eine Elektrizitätsmenge gleich $\frac{1}{5}$ von einem Zehnmilliontel der Einheit der Elektrizitätsmenge im elektromagnetischen Maß, oder diese Einheit ist fünfzigmillionenmal größer. So, wie wir den Versuch angenommen haben, fließt in jeder Sekunde eine einmalige Entladung des Kondensators durch das Ampèremeter, d. h. nach den Angaben von S. 26 fließen 300 elektrostatische C-G-S-Einheiten positiver Elektrizität in der einen Richtung (von o zu u) und 300 negative in der anderen (von u zu o) durch das Ampèremeter. Das Fließen der negativen Ladung in letzterem Sinne ist wiederum äquivalent einem Fließen von positiven in ersterem; denn man denke sich nur einmal unter den Ladungen von o und u Kapitalvermögen; unter positiver Ladung: Aktiva; unter negativer: Passiva; dann heißt das Fließen negativer Ladung von u zu o : Passiva-Übertragung von u an o , was dasselbe ist wie Aktiva-Übertragung von o an u . Das Fließen der 300 positiven Einheiten von o zu u und der 300 negativen von u zu o ist also insgesamt äquivalent einem Strömen von 600 elektrostatischen Einheiten in der ersteren Richtung. Die elektromagnetische C-G-S-Einheit ist, wie die Messung am Ampèremeter zeigte, fünfzigmillionenmal größer als diese Menge; sie ist also dreißigmilliardenmal größer als die elektrostatische C-G-S-Einheit der Elektrizitätsmenge. Hierin spricht sich zunächst aus, daß Ladungen, welche gut meßbare elektrostatische Anziehungen bezw. Abstoßungen, wie bei dem Versuch von S. 26, Fig. 18, aufeinander ausüben, bei der Entladung fließend doch nur sehr

geringe magnetische Wirkungen ausüben; und umgekehrt, daß in Strömen von gut meßbarer magnetischer Wirkung, also etwa um 1 Ampère herum, pro Sekunde Elektrizitätsmengen fließen, welche ganz enorm sind gegenüber denen, die schon ganz respectable ruhende Ladungen von Kondensatoren repräsentieren.

Ein weiterer Umstand ist im vorigen noch nicht hervorgehoben. Wenn ich eine gegebene Ladung eines Konduktors messe, einmal **elektrostatish**, einmal **elektromagnetish**, dann erhalte ich nicht nur verschiedene Zahlenwerte, sondern ich fasse auch in beiden Fällen **wesensverschiedene Seiten** an dem thatsächlich Gegebenen ins Auge. Das erste Mal betrachte ich ein Agens als vorhanden, welches ruhend, wie es ist, auf ein gleichartiges Agens Kräfte ausübt. Beim zweiten Mal lasse ich diese Kräfte ganz außer Acht, und sehe in dem Gegebenen nur etwas, das erst, wenn es in Bewegung gerät, wenn es fließt, zu einem Agens wird, welches Kräfte ausübt, nämlich auf einen Magnetpol. Ehe wir dies weiter verfolgen, wollen wir einen ähnlichen Fall betrachten, der uns, wenn er auch nicht ganz mit dem vorliegenden übereinstimmt, doch sein Verständnis erleichtert. Wenn ich nach der „Masse“ eines Körpers frage, so verstehe ich darunter nur die Quantität der Materie, die nach Gramm gemessen wird. Wenn der Chemiker, der Kaufmann von *soands*viel Gramm einer Substanz spricht, so ist es ihm nur um die Quantität des Materials, um die Masse zu thun. (F. Kohlrausch.) Daß außerdem auf die Körper die irdische Schwere wirkt, und zwar proportional ihrer Masse, ist eine neue Erkenntnis; und insofern dadurch die Massen zur Erde hinfallen, zeigen sie „Gewicht“. Man kann also auch von dem „Gewicht“ von *soands*viel Gramm sprechen; darunter ist dann aber zu verstehen die Kraft, mit welcher die Schwere auf den Körper wirkt, oder das Produkt aus Masse und der Beschleunigung beim freien Fall. Das Gewicht eines Körpers muß also nach Krafteinheiten oder Dynen gemessen werden, und wir sahen auf S. 5, daß das Gewicht von 1 g gleich (rund) 1000 Dynen ist. Wir kommen also zu dem Resultat: „Der Wert der Masse eines Körpers im C-G-S-System multipliziert mit der Beschleunigung von (rund) 1000 ist gleich dem Werte des Gewichts desselben Körpers.“

Nun kehren wir zurück zu unserer Überlegung, daß (wie im vorstehenden Vergleich Masse und Gewicht eines Körpers) beim Messen einer Ladung elektrostatish und elektromagnetish

etwas Wesensverschiedenes betrachtet wird. Diese Überlegung wollen wir schärfer ausdrücken, wozu wir etwas weiter ausholen müssen. Nach dem über die Definition des magnetischen Einheitspols auf S. 6 und 7 Gesagten gilt für die magnetische Anziehung oder Abstoßung zweier Pole aufeinander im elektromagnetischen C-G-S-System das Gesetz: Die Kraft in 1 cm Abstand ist gleich der Stärke des einen Agens multipliziert mit der Stärke des anderen Agens; wo das Agens „Magnetismus“ ist. Analog gilt nach S. 25 und 26 im elektrostatischen C-G-S-System für die Anziehungen und Abstoßungen elektrischer Ladungen genau derselbe Satz, wo aber das Agens jetzt „elektrische Ladung“ ist. Letztere im elektrostatischen System tritt also als ein analoges Agens, als ein analoges Kraftcentrum auf, wie der Magnetismus im elektromagnetischen. — Ferner: das auf S. 9—13 erklärte Gesetz für die magnetische Wirkung eines elektrischen Stromes läßt sich, wie eine hier nicht ausführbare mathematische Entwicklung ergiebt, auch folgendermaßen aussprechen. Ein Stück eines Stromes übt auf einen Magnetpol im Abstände von 1 cm eine Kraft aus, welche den Magnetpol um den Strom herumzuwirbeln strebt; wenn die Richtung des Stromes senkrecht ist auf der Verbindungslinie zum Magnetpol — und diese Annahme soll immer stillschweigend gemacht werden — so ist die Kraft um so größer, je stärker der Magnetpol ist, je länger das Stromstück ist, und je stärker der Strom ist. (Vereinfachte Form des Gesetzes von Biot und Savart.) Wird die Stärke des Poles und die des Stromes in elektromagnetischen C-G-S-Einheiten ausgedrückt, so wird die Kraft zwischen Stromstück und Magnetpol gleich der Länge des ersteren multipliziert mit der Stromstärke und multipliziert mit der Polstärke. Vergleichen wir dies Gesetz mit der obigen Form: Die Kraft in 1 cm Abstand ist gleich der Stärke des einen Agens multipliziert mit der Stärke des anderen Agens, so ist letzteres Agens, wie in dem ersten Falle auf dieser Seite, auch jetzt Magnetismus, elektromagnetisch gemessen. Als analoges erstes Agens, als analoges Kraftcentrum tritt aber jetzt das Produkt aus elektromagnetischer Stromstärke und Länge des Stromstückes auf. Den Strom denken wir uns bestehend aus einzelnen Ladungen, die in Abständen von je 1 cm aufeinander folgen. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Ladungen sich im Strom bewegen, sei

v cm pro Sekunde. Dann passieren sekundlich an einer bestimmte Stelle v der einzelnen Ladungen; die Stromstärke ist also gleich der Größe jeder einzelnen Ladung multipliziert mit der Geschwindigkeit v . Die Größe jeder einzelnen der Ladungen, die in Abständen von je 1 cm aufeinander folgen, ist gleich der Gesamtladung auf dem Stromstück, dividiert durch die Länge des Stromstücks in Centimetern. Also ist die Stromstärke auch gleich der Gesamtladung, multipliziert mit der Geschwindigkeit v , dividiert durch die Länge des Stromstücks. Endlich kann man mithin auch statt „Produkt aus elektromagnetischer Stromstärke und Länge des Stromstücks“ sagen: „Produkt aus elektromagnetisch gemessener Ladung und Geschwindigkeit v .“ Dieses Produkt tritt als Kraftagens in dem Grundgesetz der elektromagnetischen Stromwirkung auf. Im Grundgesetz der Wirkung von Ladungen aufeinander tritt die Ladung selbst, elektrostatistisch gemessen, als Kraftagens auf. Dem Wesen als Kraftagens nach ist daher das Produkt einer elektromagnetisch gemessenen Ladung mit der Geschwindigkeit v dasselbe wie eine elektrostatistisch gemessene Ladung.

Auf S. 28 fanden wir, daß die elektromagnetische C-G-S-Einheit der Elektrizitätsmenge dreißigmilliardenmal größer ist als die elektrostatistische. Wenn man ein und dasselbe mit der größeren Einheit mißt, erhält man einen kleineren Zahlenwert; eine Länge von 2000 gemessen in Metern, ist gleich 2 gemessen in Kilometern. Ebenso hat ein und derselbe geladene Körper elektromagnetisch gemessen einen kleineren Wert an Ladung, und zwar dreißigmilliardenmal kleiner als elektrostatistisch gemessen. Oder der elektromagnetische Wert einer Ladung multipliziert mit 30 Milliarden ist gleich ihrem elektrostatistisch gemessenen Wert. Dies zusammengefaßt mit dem Resultat von voriger Seite, daß eine elektromagnetisch gemessene Ladung multipliziert mit der Geschwindigkeit v dasselbe ist wie eine elektrostatistisch gemessene, ergibt schließlich:

„Der elektromagnetisch im C-G-S-System gemessene Wert einer Ladung multipliziert mit der Geschwindigkeit von 30 Milliarden, ist gleich dem elektrostatistischen Wert derselben Ladung.“

Wenn wir immer daran festhalten, daß eine elektromagnetisch betrachtete Ladung erst durch Bewegung zu einem Kraftagens wird, elektrostatistisch betrachtet aber schon ruhend ein solches ist,

erscheint uns die Multiplikation mit einer Geschwindigkeit nicht als etwas sonderbares; beide Arten der Betrachtung sehen eben etwas wesentlich anderes in der gegebenen Ladung, ebenso wie in dem Vergleich von S. 29 die beiden Betrachtungsarten eines Körpers nach seiner Masse und nach seinem Gewicht etwas wesentlich anderes in ihm sehen; das bei diesem Vergleich ausgesprochene Schlüßresultat lautete unserem jetzigen ganz analog.

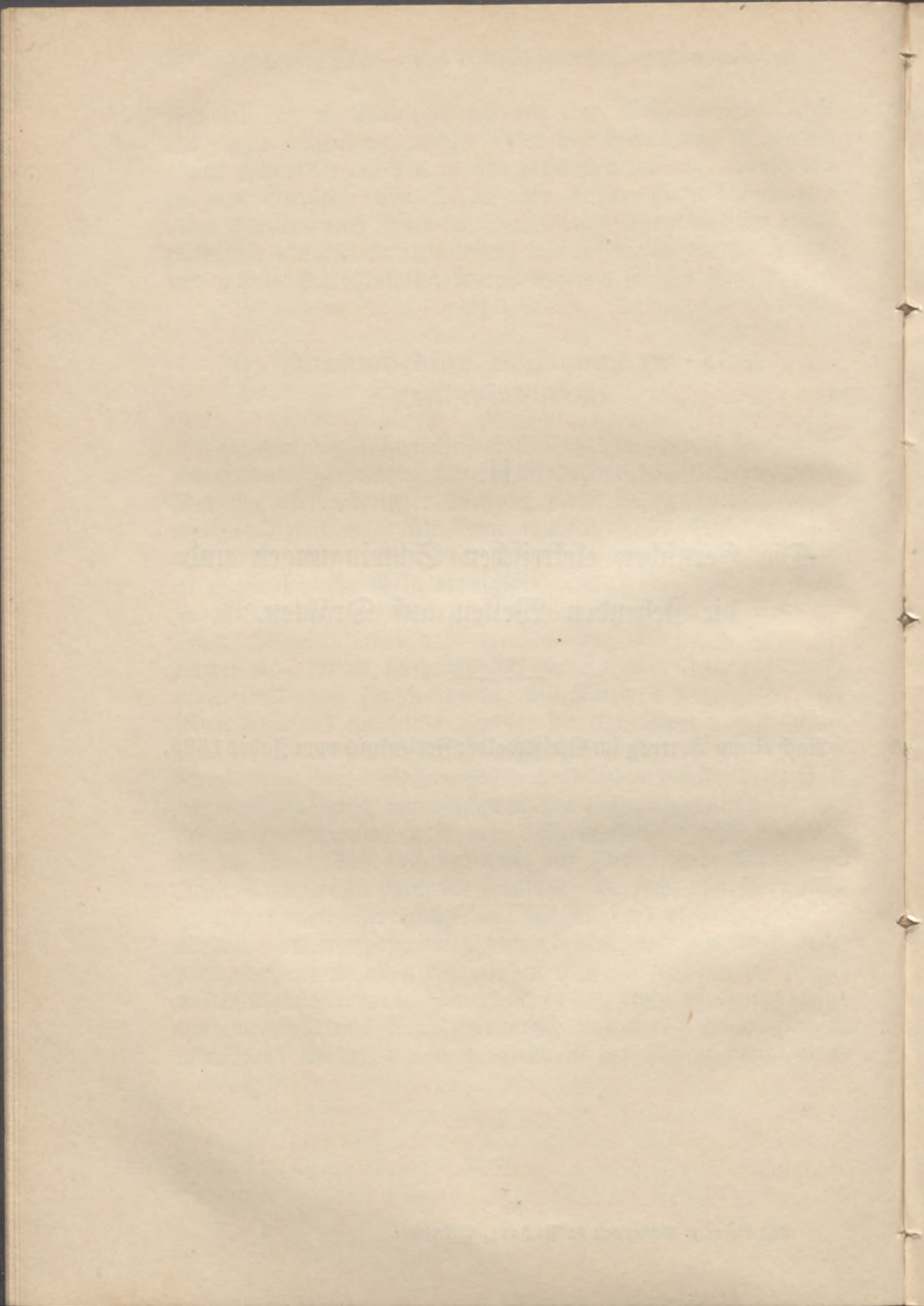
5. Merkwürdige Beziehung zur Lichtgeschwindigkeit.

Geschwindigkeit im C-G-S-System wird immer nach Centimeter pro Sekunde gerechnet. Die im Verhältnis von elektromagnetischer und elektrostatischer Messung einer Ladung vorkommende Geschwindigkeit v ist also eine solche von 30 Milliarden cm oder 300 Millionen m, oder 300 000 km pro Sekunde. Das ist genau dieselbe **Geschwindigkeit**, mit welcher sich das **Licht** im Weltenraum **ausbreitet**, z. B. von der Sonne zur Erde gelangt. Diese auffallende Übereinstimmung war schon lange bekannt; man konnte sie unmöglich für Zufall halten, aber auch keine Erklärung für sie geben, bis **Maxwell** sie lieferte. Er leitete einerseits aus seiner Theorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen ab, daß jene Geschwindigkeit, welche als Verhältnis bei beiderlei Messungsweise einer Ladung auftritt, gleich ist der Geschwindigkeit, mit welcher Wellen elektromagnetischer Kräfte sich im Weltenraum ausbreiten. Andererseits machte Maxwell die Annahme, daß auch das Licht aus Wellen jener Art bestehe. Diese Annahme ist durch die berühmten Versuche von **Hertz** aufs glänzendste gerechtfertigt worden, welcher zuerst elektromagnetische Wellen wirklich experimentell hervorbrachte, und von ihnen nachwies, daß sie in allen wesentlichen Eigenschaften mit den Lichtwellen übereinstimmen. So erklärt es sich, daß jene Geschwindigkeit im Verhältnis der elektrostatisch und der elektromagnetisch gemessenen Elektrizitätsmenge gleich ist der Lichtgeschwindigkeit.

II.

Die Hertz'schen elektrischen Schwingungen und die stehenden Wellen auf Drähten.

Nach einem Vortrag im Greifswalder Ferienkurs vom Jahre 1898.



1. Einleitende Bemerkungen.

Über die Bedeutung dessen, was **Herz** durch seine berühmten Versuche nachgewiesen hat, herrscht vielfach bei Nicht-Physikern ein Mißverständnis, welchem ich zunächst von vorn herein vorbeugen möchte. Herz hat nicht etwa nachgewiesen, daß die Erscheinungen, welche wir als elektrische und magnetische zu bezeichnen pflegen, zu erklären seien durch eine Wellenbewegung im Äther, so wie der Schall zu erklären ist durch eine elastische Wellenbewegung in der Luft. Sondern Herz hat nachgewiesen, daß sich unter ganz bestimmten, speziellen Versuchsbedingungen elektrische Wirkungen, deren Wesen an und für sich unerklärt bleibt, wellenförmig hin- und herschwankend durch den Äther fortpflanzen, während unter anderen Umständen, unter anderen Versuchsbedingungen von einer solchen Ausbreitung in Wellenform keine Rede sein kann, sondern die Ausbreitung der elektrischen Kraft von ihrem Ursprungsorte aus stoßweise geschieht, oder von einer Ausbreitung überhaupt nichts wahrgenommen wird.

Die Schallwellen in der Luft werden erzeugt durch tönende Körper und von diesen tönenden Körpern weiß man, daß sie elastische Schwingungen ausführen, welche sich auf die Luft übertragen und sich in ihr als Wellen ausbreiten. Analog werden die elektrischen Wellen hervorgerufen durch **elektrische Schwingungen** in gewissen Körpern, den elektrischen Oscillatoren. Was ist nun aber eine elektrische Schwingung? Um uns hierüber klar zu werden, müssen wir zurückgehen auf die Erscheinungen der elektrischen **Entladungen** überhaupt.

Sie wissen, daß man elektrische Ladungen aufspeichern kann in sogenannten Condensatoren, von denen eine im Laboratorium gebräuchlichste Form diejenige der **Leidener Flasche** ist (Fig. 20). Sie müßte nebenbei bemerkt mit demselben oder größeren Rechte **Kleist'sche Flasche** genannt werden; denn kurze Zeit vor ihrer

Erfindung durch zwei Physiker in Leiden hatte schon der Domherr v. Kleist zu Cammin in Pommern die Wirksamkeit einer solchen Flasche in primitiver Form gefunden. Die innere Staniolbelegung einer solchen wird von dem mit ihr verbundenen Knopf *c* her durch Berührung mit dem Konduktor einer Elektrifiziermaschine mit Elektrizität der einen Art, sagen wir etwa positiver Elektrizität, geladen. Diese positive Ladung zieht negative Elektrizität auf der äußeren Staniolbelegung an und stößt die gleichnamige positive Elektrizität ab, welche durch eine leitende Verbindung zur Erde abfließt. Wird die Ver-

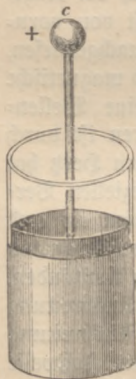


Fig. 20.

bindung des Knopfes mit der Elektrifiziermaschine aufgehoben, so bleibt die Ladung der beiden durch das Glas der Flasche voneinander isolierten Belegungen doch weiter bestehen. Die positive Ladung der inneren Belegung und die negative der äußeren binden sich einander durch ihre gegenseitige Anziehung. Biete ich den Elektrizitäten aber einen leitenden Weg von der äußeren zu der inneren Belegung dar, so vereinigen sich dieselben mit den Erscheinungen der Entladung, Funkenbildung u. s. w. Durch ihre Vereinigung verschwinden die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten, sie neutralisieren sich, sie heben sich in ihrer Existenz gegenseitig auf und gerade deshalb sind die Namen „positiv“ und „negativ“ gewählt, weil sich die beiden Arten der Elektrizität verhalten wie positive und negative

Größen, wie Gewinn und Verlust, wie Aktiva und Passiva, die in gleichen Quantitäten zusammengebracht, sich gegenseitig vernichten. Wir werden im zweitfolgenden Vortrage erkennen, daß die elektrischen Fluida nur Fiktionen sind, aber konsequente Fiktionen, mit Hilfe deren die in die Erscheinung tretenden Kräfte richtig dargestellt werden. Die Theorie der zweierlei fingierten Fluida, eines positiven und eines negativen, nennt man die dualistische. In anderen Fällen ist die bildliche Darstellung einer etwas anderen Theorie nützlicher, die man die unitarische nennt. Sie nimmt nur ein fingiertes Fluidum, die „Elektrizität“ schlechtweg an. Dasselbe ist in allen Körpern vorhanden, für gewöhnlich in einem gewissen Normalzustande, einer gewissen normalen Dichtigkeit. In diesem Falle nehmen wir an den Körpern nichts besonderes wahr; wir würden sie im Sinne der

dualistischen Theorie unelektrisch nennen. Von den „positiv elektrisch geladenen“ Körpern der dualistischen Theorie nimmt die unitarische an, daß in ihnen „komprimierte“ Elektrizität vorhanden sei; in den „negativ elektrisch geladenen“ sei „verdünnte“ Elektrizität enthalten. Die Erscheinung der Entladung würde im Sinne der unitarischen Theorie sich als ein einfaches Überströmen des Überflusses an Elektrizität aus dem positiven Körper in den negativen erklären, in welchem ein Manko an Elektrizität vorhanden war. Durch diesen Ausgleich werden die vorher bestehenden Abweichungen vom Normalzustande des einen elektrischen Fluidums in beiden Körpern vernichtet, und es bleibt in beiden nur der Normalgehalt an ihm zurück. Der menschliche Geist hat ja unter allen Umständen das Bedürfnis, sich zur Erklärung der Beobachtungen möglichst anschauliche Vorstellungen zurecht zu legen; für Ladung und Entladung ist das Bild der unitarischen Theorie besonders anschaulich.

2. Elektrische Schwingungen oder oscillatorische Entladungen.

Genauere Beobachtung hat nun ergeben, daß sehr häufig die Entladung nicht einfach in diesem Ausgleich besteht, sondern die Elektrizität gewissermaßen über das Ziel hinauschießt. Es ist dies gerade so, wie wenn ich mir einen Ballon *A*, Fig. 21, angefüllt mit komprimiertem Gas, plötzlich durch Öffnen eines Hahnes in einem Verbindungsrohre mit einem anderen luftleer gepumpten Ballon *B* in Verbindung gesetzt denke; dann wird nicht nur so viel Gas überströmen, bis in beiden Ballons gleichviel vorhanden ist, sondern von der einmal in Bewegung geratenen Gasmasse wird zuerst zu viel in den vorher luftleeren Ballon hinüberstürzen; der Überschuß wird dann wieder zurückströmen, und so wird mehrfaches Hin- und Herschwanke zwischen den beiden Ballons stattfinden, bis die Gasmasse infolge der Reibung schließlich vollständig zur Ruhe kommt. Ebenso verhält es sich häufig mit der elektrischen Entladung; positive und negative Elektrizität vereinigen sich nicht einfach, sondern gehen wieder nach entgegengesetzten Richtungen auseinander, so daß die ursprünglich positiv geladene Belegung der Leidener Flasche für einen Augenblick negativ geladen erscheint und umgekehrt.

Dann beginnt eine zweite entgegengesetzt gerichtete Entladung, welche aber ebenfalls zunächst über das Ziel hinauschießt und so fort. Daß solche „**oscillierende Entladungen**“ vorkommen, dafür hatte man schon in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts verschiedene Anzeichen. So die Beobachtung, daß nach einer Entladung einer Leidener Flasche eine der ursprünglichen entgegengesetzte Restladung vorkam (von Dettingen); ferner, daß bei Elektrolyse, z. B. derjenigen von angesäuertem Wasser durch die Entladung Leidener Flaschen an beiden Polen sowohl der Bestandteil des Wassers sich vorfand, welcher am positiven Pol (Sauerstoffgas), wie auch derjenige, welcher am negativen Pol

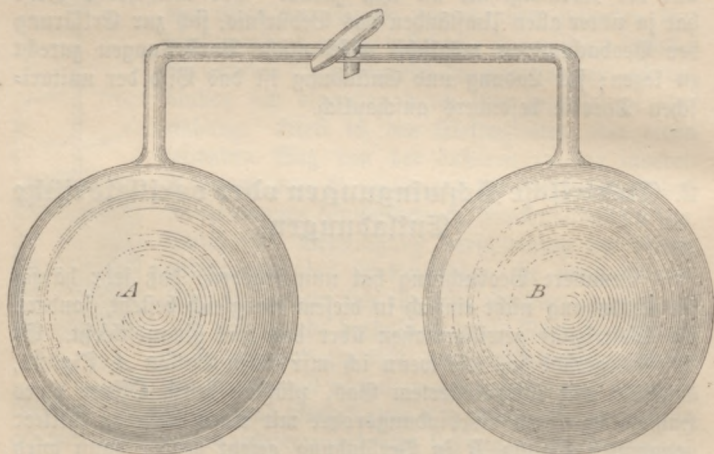


Fig. 21.

abgeschieden wird (Wasserstoffgas); diese Beobachtung rührt von Wollaston her. Auch war folgendes schon lange bekannt: wenn ein Eisenstab magnetisiert wird dadurch, daß der Entladungsstrom einer Leidener Flasche in einer Spirale um ihn herumgeführt wird, so liegen die neu erzeugten magnetischen Pole in ihm nicht immer so, wie es der sogenannten Ampèreschen Regel zufolge der Richtung des Ausgleichs der ursprünglichen Ladung entsprechen würde, sondern zuweilen auch umgekehrt. Wir erklären dies jetzt durch die Annahme, daß die rückschwingende Entladung dann den Sinn der schließlichen Magnetisierung be-

stimmt hat. Endlich möge noch erwähnt werden, daß später Paalzow auch noch den leuchtenden Streif, den die Flaschenentladung beim Durchgange durch mäßig verdünnte Luft (siehe

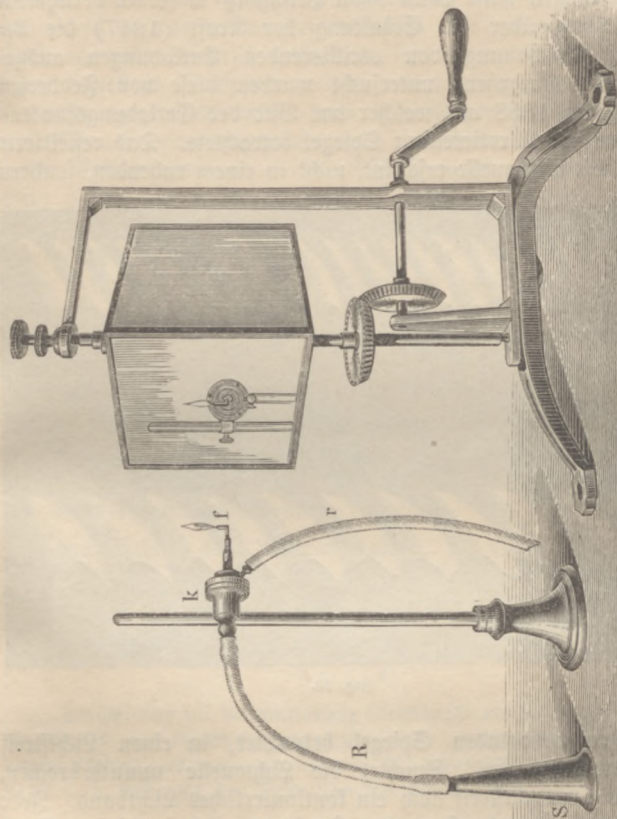


Fig. 22.

den letzten Vortrag) in sogenannten Geißler'schen Röhren erzeugt, der ablenkenden Wirkung eines Magneten unterwarf; und daß dieser Lichtstreif dabei nicht die Ablenkung erfuhr, die ein einheitlicher Strom erfahren soll, sondern in zwei Streifen zerfiel,

die nach entgegengesetzten Richtungen abgelenkt waren, der eine entsprechend der ersten Entladungsrichtung, der andere der zurückschwingenden. In Anknüpfung an einige der älteren Beobachtungen hatte dann schon Helmholtz in seiner berühmten Abhandlung über die Erhaltung der Kraft (1847) die bestimmte Anschauung von oscillierenden Entladungen ausgesprochen. Eingehend untersucht wurden diese von Feddersen vom Jahre 1858 an, welcher das Bild des Entladungsfunkens in einem schnell rotierenden Spiegel betrachtete. Das reflektierte Bild einer Lichtquelle erscheint, nicht in einem ruhenden, sondern

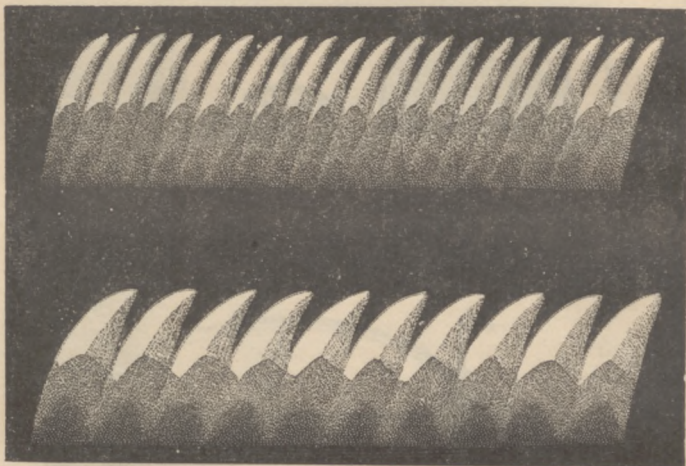


Fig. 23.

in einem rotierenden Spiegel betrachtet, in einen Lichtstreif auseinandergezogen. Leuchtet die Lichtquelle ununterbrochen, so ist dieser Lichtstreif auch ein kontinuierliches Lichtband. Jede momentane Unterbrechung des Leuchtens wird in diesem Band als dunkle Lücke erkennbar. Fig. 22 zeigt, wie man in solcher Weise Schwingungen von Flammen erkennen kann. Von dem Rohr *r* her strömt Leuchtgas durch die Kapsel *k* zur Flamme *f*. Die Abbildung zeigt deren Bild im ruhenden Spiegel. Wird letzterer gedreht, so zeigt sich zunächst das ununterbrochene Lichtband. Wird dann aber in den Schalltrichter *S* ein Ton hineingesungen, so teilen sich die Schallschwingungen durch das Rohr *R*

der in der Kapsel k enthaltenen Luft mit, dann auch der Flamme f , welche infolgedessen in schneller Abwechslung hoch herausschlägt, und ganz niedrig heruntergezogen wird. Das Bild im rotierenden Spiegel sieht dann aus wie eine der Fig. 23, von denen die obere etwa bei demselben Ton, aber langamerer Drehung des Spiegels entstanden sein kann, als die untere, durch schnellere Drehung weiter auseinandergezogene. Diese Beobachtungsmethode wurde nun von Feddersen auch auf den elektrischen Funken angewandt, und da zeigte sich, daß der gesamte Entladungsfunkel in der That zusammengesetzt war aus einer Reihe von einzelnen Funken, welche abwechselnd an den Polen das Aussehen einer in dem einen bezw. in dem entgegengesetzten Sinne gerichteten Entladung darboten. Feddersen fand, daß die oscillatorische Entladung immer dann eintritt, wenn der Widerstand der Entladungsleitung nicht zu groß ist. Auch dies können wir uns durch den Vergleich mit dem in einen ausgepumpten Ballon überströmenden komprimierten Gas plausibel machen (Fig. 21); ein überschüssiges Hinüberstürzen wird nur stattfinden, wenn die Röhre, welche die beiden Ballons verbindet, nicht zu eng ist.

Sir William Thomson und Kirchhoff haben die **Theorie der oscillierenden Entladung** entwickelt.

Kurzgefaßt ist diese Theorie folgende. Die äußere Belegung der Leidener Flasche sei beständig zur Erde abgeleitet; ihr Potential also Null. Die Kapazität der inneren Belegung sei c ; ihr Potential bei einer Ladung mit einer Elektrizitätsmenge e gleich v . Dann ist gemäß der Definition der Kapazität

$$e = c \cdot v.$$

Strömt nun bei der Entladung Elektrizität ab, so wird im Zeitelement dt eine Abnahme von e um $-de$ stattfinden. Der Abfluß dieser Elektrizitätsmenge erzeugt im Schließungsdraht eine Stromstärke i , so daß nach der Definition von Stromstärke:

$$i dt = -de,$$

oder nach der obigen Gleichung

$$i = -c \frac{dv}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

Eine zweite Gleichung liefert das verallgemeinerte Ohmsche Gesetz, welches aussagt, daß im Schließungsdraht vom Widerstande r das Produkt $i \cdot r$ gleich ist der Summe der elektrizitätsbewegenden Ursachen in ihm. Letztere sind erstens die Potentialdifferenz v zwischen den

beiden Enden; zweitens dem augenblicklichen Strome entgegenwirkend, wenn dieser anwächst, und umgekehrt, die Selbstinduktion, welche proportional ist dem Differentialquotienten von i nach der Zeit t , und proportional dem Selbstinduktionskoeffizienten p des Schließungsdrahtes. Hieraus folgt also die zweite Gleichung:

$$ir = v - p \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

Diese Gleichung muß nach t differenziert und aus (1) der Wert für dv/dt eingesetzt werden. Dann folgt für i die Differentialgleichung:

$$pc \frac{d^2 i}{dt^2} = -rc \frac{di}{dt} - i \dots \dots \dots (3)$$

Das ist die Gleichung gedämpfter Schwingungen, wenn $r^2 < 4p/c$; bezw. aperiodischer Bewegung, wenn $r^2 > 4p/c$. Für den ersten Fall ist die Dauer einer Halbschwingung allgemein:

$$\tau = \pi \sqrt{pc} / \sqrt{1 - r^2 c / 4p},$$

oder im Falle kleinen Widerstandes r einfach

$$\tau = \pi \sqrt{pc},$$

welches die gewöhnlich benutzte Formel ist. — Wenn der Widerstand des Schließungsdrahtes r gleich Null ist, würden, wie aus (3) ersichtlich, die Oscillationen ungedämpft sein, müßten also in infinitum fortbauern. Es würde dann auch in der That die Wärmeentwicklung im Drahte verschwinden, welche in der vorstehenden Theorie die einzige Ursache für die Dämpfung wäre. In Wirklichkeit kommt zu derselben bei schnellen Schwingungen aber noch hinzu als prinzipiell wichtigere Ursache die Ausstrahlung elektromagnetischer (Hertz'scher) Wellen in den umgebenden Äther hinein, welche in der vorstehenden Theorie keinen Ausdruck finden kann, wohl aber in der Maxwell'schen.

Durch Einschalten einer Spirale in die Entladungsleitung einer Leidener Flasche kann man die Oscillationen insofern der Selbstinduktionsvermehrung so verlangsamen, daß man sie mit einem ganz gewöhnlichen, durch eine Handkurbel gedrehten rotierenden Spiegel, wie in Fig. 22, bequem erkennen kann.

Diese Theorie ergiebt ein bemerkenswertes Resultat für die Schwingungsdauer der oscillierenden Entladung. Dieselbe wird erstens um so größer, je größer die Kapazität des sich entladenden Apparates ist; dieses Resultat ist sehr plausibel, denn je größer das Fassungsvermögen der an den Enden des Entladungsdrahtes befindlichen Leiter ist, um so länger wird die Elektrizität in dieselben hineinlaufen können, ehe sie wieder

zurückströmt. Zweitens ist die Schwingungsdauer um so größer, je größer die Selbstinduktion in der Entladungsleitung ist. Die Selbstinduktion äußert sich bekanntlich als der sogenannte Extrastrom, welcher in einer Spirale beim Entstehen und Verschwinden eines Stromes zu konstatieren ist. Beim Schließen des Hauptstromes ist der Extrastrom wie jeder Induktionsstrom dem erzeugenden entgegengesetzt gerichtet; beim Öffnen gleich gerichtet. Infolgedessen verzögert die Selbstinduktion das Ansteigen eines Stromes, und verlangsamt auch den Abfall. Ist also die Selbstinduktion groß wie bei Spiralen, bei welchen jede Windung auf die benachbarten starke Wirkung ausübt, so müssen auch die Schwingungen der Elektrizität bei der Entladung langsamer werden, als in geradlinigen Drähten, in welchen die Selbstinduktion klein ist. Eingehende Versuche haben die theoretische Abhängigkeit der Schwingungsdauer von diesen beiden Größen aufs genaueste bestätigt; so insbesondere Versuche von L. Lorenz 1879. Diese Bestätigung ist von Wichtigkeit, da man durch sie weiß, daß die aus der Theorie berechneten Werte der Schwingungsdauer in der That die richtigen sind.

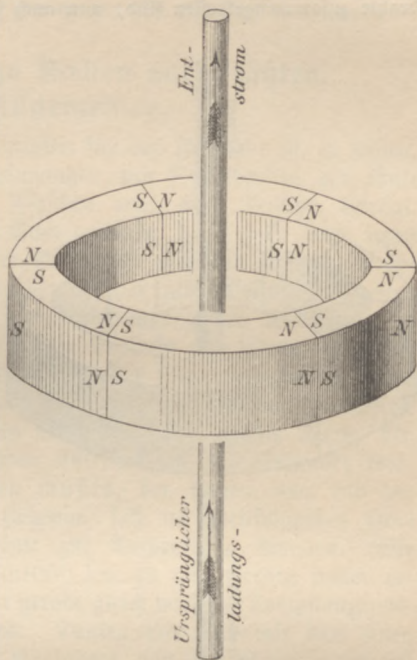


Fig. 24.

Bei näherer Betrachtung kann der obige Vergleich mit dem Gase, welches von dem einen Ballon in den anderen hinüberstürzt und wieder zurückschwingt, nicht zur Erklärung der elektrischen Oscillationen genügen. Denn das, was das Gas über die gleichmäßige Verteilung

Bei näherer Betrachtung kann der obige Vergleich mit dem Gase, welches von dem einen Ballon in den anderen hinüberstürzt und wieder zurückschwingt, nicht zur Erklärung der elektrischen Oscillationen genügen. Denn das, was das Gas über die gleichmäßige Verteilung

in beiden Ballons hinaustreibt, ist in Folge des Beharrungsvermögens die erworbene Geschwindigkeit. Wir haben aber keinen Grund, ebenso wie der ponderablen Materie, auch dem fingierten Fluidum „Elektrizität“ Beharrungsvermögen zuzuschreiben. Vielmehr müßten wir von diesem Gesichtspunkte aus vermuten, daß die entgegengesetzten Ladungen der beiden Belegungen einer Leidener Flasche, wenn sie im Schließungsdrahte zusammengetroffen sind, nun auch sich neutralisierend vereinigt

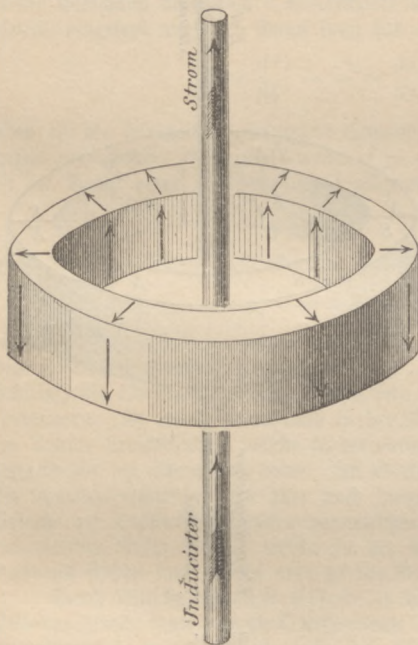


Fig. 25.

bleiben und nicht nach entgegengesetzten Richtungen wieder auseinanderfahren. Auch hier führen die Faraday-Maxwell'schen Anschauungen zur Erklärung der Ursache, welche dieselbe Wirkung hervorbringt, wie das Beharrungsvermögen. Gleichzeitig mit dem Zusammenströmen der getrennten Elektrizitäten treten um die Entladungseitung herum magnetische Kräfte auf. Je größer die anwachsende Stromstärke wird, um so größer werden diese magnetischen Kräfte, so daß sie am stärksten sind im Augenblicke des Zusammentreffens der beiden Ladungen. Den magnetischen Kräften entsprechen Spannungen oder Magnetisierungen des Äthers, in einer Anordnung, wie sie durch Fig. 24 schematisch veranschaulicht wird.

haben nun weiterhin das Bestreben, wieder rückgängig zu werden, und das Verschwinden der Magnetisierung des Äthers erzeugt dann — wie aus der Richtung der in Fig. 25 angedeuteten Ampère'schen Molekularströme ersichtlich, von welchen diejenigen Teile maßgebend sind, welche dem Drahte am nächsten liegen; also die auf der Innenfläche des Ringes — in dem Entladungsdraht durch Induktion einen elektrischen Strom, der dieselbe Richtung hat, wie der erste Entladungsstrom, so daß also die vereinigten Elektrizitäten nach entgegengesetzten Richtungen wieder

auseinandergetrieben werden. Während die magnetische Spannung im umgebenden Aether also allmählich wieder verschwindet, treten neue den ursprünglichen entgegengesetzte Ladungen der Leidener Flasche auf, die so lange wachsen, als noch ein Rest magnetischer Spannung in der Umgebung vorhanden ist. Dann beginnt das Spiel in umgekehrter Richtung von neuem. (In den Fig. 24 und 25 ist die ganze Umgebung der Drähte mit Ringen der gezeichneten Art angefüllt zu denken.)

3. Elektrische Wellen auf Drähten. Allgemeines.

Von besonderer Wichtigkeit für das Folgende ist, zu wissen, daß die Zahl der Schwingungen pro Sekunde bei den Entladungen von Leidener Flaschen etwa eine Million beträgt. Von solchen elektrischen Schwingungen hatte man nun schon früher vermutet, daß ihre Wirkungen sich wie von den elastischen Schwingungen tönender Körper als **Wellen** ausbreiten würden. Was zunächst die Fortpflanzung der Elektrizität in Metalldrähten betrifft, so hatten Versuche von Werner Siemens 1875 ergeben, daß dieselbe mit einer Geschwindigkeit geschähe, welche herankam an die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, also an 300 000 km pro Sekunde. Der größte Wert, den Siemens wirklich fand, war 260 000 km pro Sekunde; weshalb er einen Wert finden mußte, der kleiner war als der für uns in Betracht zu ziehende, soll im zweitfolgenden Vortrage über die Teslaströme zur Besprechung kommen. Wir nehmen den Wert von 300 000 km an und werden später erkennen, warum dieser Wert gerade gleich wird der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Denken wir uns mit dem einen Ende eines sogenannten Ausladers von der Form *a* in der Fig. 26 einen sehr langen isolierten Draht verbunden. Im Augenblicke der ersten Berührung des Knopfes *b* mit der Zuleitung *c* zur inneren Belegung der Leidener Flasche fließt auch ein Teil der ursprünglichen positiven Ladung derselben in den Draht hinein, und bei den dann weiter folgenden Entladungsschwingungen wird in das Ende des Drahtes von der inneren Belegung her immer abwechselnd positive und negative Elektrizität hineingeschickt. Diese Ladungen fließen dann wie Wellen auf dem Drahte weiter, und zwar, wie aus obigen Angaben ersichtlich, auf eine Drahtlänge von 300 000 km einemillionmal abwechselnd positive und negative Ladungen, so daß jedesmal

nach 0,3 km positiver Ladung 0,3 km negative Ladung folgt. (Fig. 27.) Mit Wasserwellen verglichen, würde also immer ein Wellenberg von 300 m Länge und ein Wellenthal von ebenso



Fig. 26.

großer Länge aufeinander folgen. Auf die Länge eines Laboratoriumsraumes würde immer nur ein kleiner Bruchteil einer Wellenlänge kommen, so daß wenig Aussicht war, durch Versuche die Wellennatur

bei denselben nachweisen zu können. Die Schwingungen mußten noch schneller aufeinander folgen, damit die Länge der einzelnen Welle noch kürzer wurde.

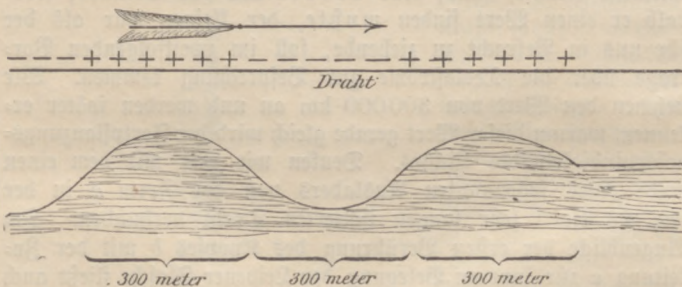


Fig. 27.

Daß solche noch schnelleren Schwingungen in kurzen Drähten auftreten könnten, ist zuerst durch **v. Bezold** beobachtet worden (1870), welcher zum Nachweis der dabei auftretenden elektrischen Ladungen die Lichtenbergschen Staubfiguren benutzte.

Dann hat **Herz**, damals in Karlsruhe, Erscheinungen gefunden, welche ebenfalls nur durch das Vorhandensein solcher

sehr schneller Schwingungen erklärbar waren. Diese erste Beobachtung gab die Grundlage zu seinen epochemachenden Versuchen. Die Entladung, welche seine Oscillationen hervorruft, ist die eines Induktionsapparates, wie der, den Sie hier sehen.

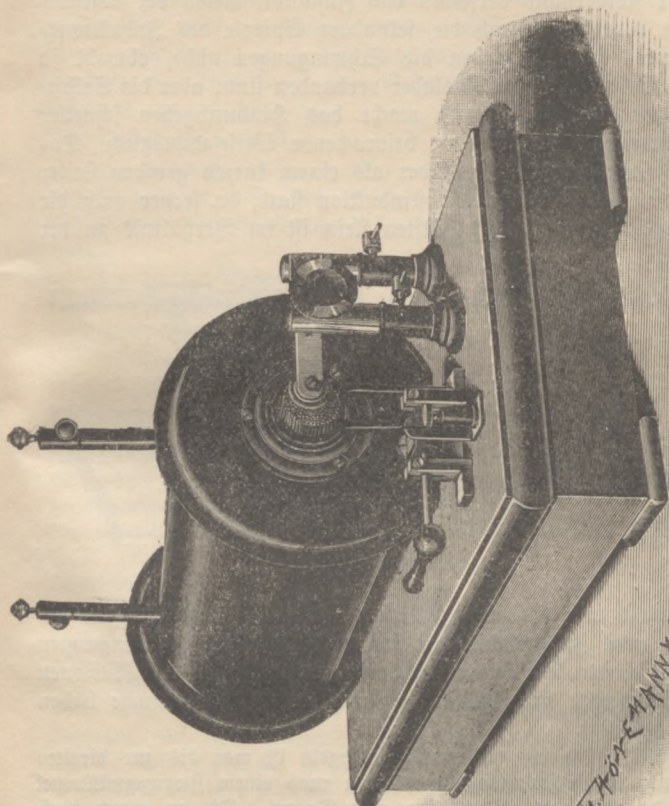


Fig. 28.

M. Hörnermann, K.A.

(Fig. 28.) Bei seinen ersten Beobachtungen waren die Pole eines solchen verbunden mit den beiden isolierten Leitern *ee* eines **Ausladers** von der Form der Fig. 29. Die auf die erste Entladung folgenden Oscillationen der Elektrizität gehen

nur zwischen den beiden Konduktoren des Ausladers, durch die zwischen ihnen befindliche kleine Funkenstrecke hindurch, vor sich. Damit sie auftreten, darf die durch den Funken zu durchschlagende Luftschicht nicht zu lang sein, damit nicht ein zu großer Widerstand derselben das Zustandekommen der Oscillationen vereitle. Durch die sekundäre Spirale des Induktionsapparates hindurch gehen die Schwingungen nicht, obwohl ja deren Enden mit dem Auslader verbunden sind; aber die Selbstinduktion in der Spirale macht das Hindurchgehen schneller Schwingungen in der oben besprochenen Weise unmöglich. Dagegen findet in dem Auslader als einem kurzen geraden Leiter nur eine sehr geringe Selbstinduktion statt; da ferner auch die Kapazität seiner beiden Hälften klein ist im Verhältnis zu der

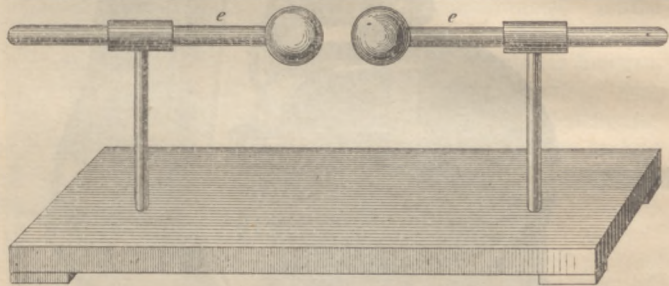


Fig. 29.

Kapazität von Leidener Flaschen, sind alle Bedingungen gegeben zum Zustandekommen sehr viel schnellerer Schwingungen als bei diesen. Die Theorie läßt eine Zahl von etwa 100 Millionen Schwingungen pro Sekunde erwarten, und die Versuche haben dies bestätigt.

Mit Hilfe des rotierenden Spiegels ist man bis zur direkten Messung von Schwingungsdauern von rund einem Zwanzigmilliontel Sekunde gekommen (Trowbridge und Duane). Die zu einem fünf-milliontel gehörige Wellenlänge, ebenfalls direkt auf Drähten gemessen, betrug rund 57 m (Abstand eines Wellenberges von einem Wellenthal also $28 \frac{1}{2}$ m). Hieraus berechnet sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit (gleich Wellenlänge dividiert durch Schwingungsdauer) in der That sehr nahe gleich derjenigen des Lichtes.

Erzeugen wir an einem Drahtende jetzt Ladungen, welche in diesem hundertmal schnelleren Tempo wechseln, so werden

auf dem Drahte auch hundertmal kürzere Wellen fortschreiten, als vorhin (Fig. 27) betrachtet. Von solchen Wellen von 3 m Länge — Herz und andere haben weiterhin auch noch viel kürzere Wellen herstellen können — konnte man mit Recht erwarten, daß sich auch im Laboratorium die Wellennatur direkt nachweisen lasse, da man mehrere Wellenberge und -thäler bequem gleichzeitig wird übersehen können. Herz hat den Nachweis in der That durch eine Reihe verschiedenartiger Versuche geliefert, von welchen ich jetzt in der weiteren Darstellung nur auf den Versuch lossteuern will, den ich Ihnen demonstrieren werde.

Die für die Auffassung entscheidenden Beobachtungen von Herz waren folgende. Erstens (Fig. 30 Grundriß): Mit der einen Hälfte A_1 des Ausladers ist eine Leitung $abcde$ verbunden, welche bei ae nicht in sich ganz geschlossen ist, sondern zwischen den dort befindlichen Kugeln a und e eine kleine Unterbrechung hat. Herz bemerkte, daß dort Funken übergingen, also zwischen den Stellen a und e eine Spannungsdifferenz vorhanden war. Eine solche kann nur zustande kommen,

wenn in der Ausladerhälfte A_1 äußerst rapide Spannungsveränderungen auftreten. Bei einigermaßen langsamen Veränderungen der Spannung auf A_1 muß infolge der so sehr großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität in e jederzeit dieselbe Spannung herrschen, wie in a , und Funken können zwischen diesen beiden Kugeln nicht übergehen. In einem gewissen Augenblick herrscht in e eine Spannung, die sich von A_1 über $abcd$ fortgepflanzt hat, während die gleichzeitig in a vorhandene Spannung nur den kurzen Weg A_1 bis a zurückzulegen hatte. Letztere entspricht daher einem Werte, der etwas später in A_1 vorhanden war als der mittlerweile in e angelangte. Beide können nur dann merklich verschieden sein, wenn während dieser außerordentlich kurzen Zeit die Spannung auf A_1 sich bereits sehr stark geändert

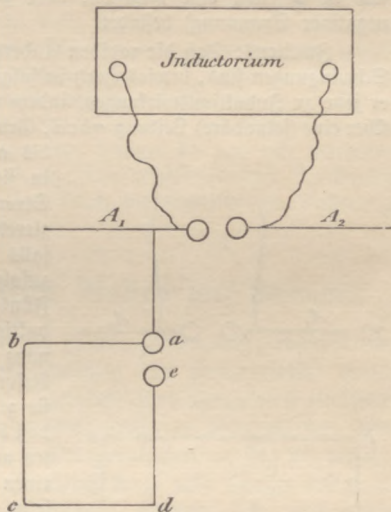


Fig. 30.

hat: so stark, daß die zwischen a und e herrschende Differenz genügt, die Luftstrecke in Form eines Funkens zu durchbrechen. Das Auftreten dieses „Nebenfunkens“ beweist also das Vorhandensein äußerst rapider Spannungsänderungen auf A_1 .

Wenn diese — was aus dieser Beobachtung noch nicht hervorgeht — in Oscillationen zwischen A_1 und A_2 bestehen, von welchen aus Wellen in die Leitung $A_1 a b c d e$ hineingeschickt werden, so müssen die Schwingungen so schnell geschehen, daß in dem Augenblicke, in welchem in e ein Wellenberg (Maximum positiver Spannung) angelangt ist, sich in a etwa eine Nullstelle oder gar ein Wellenthal (Maximum negativer Spannung) befindet.

Zweitens: Daß die rapiden Änderungen im Entlader in der That Schwingungen sind, bewies Herz in folgender Weise. Zunächst benutzte er jene zu Induktionseffekten, indem er dem Auslader $A_1 A_2$ gegenüber eine (sekundäre) Leitung $a b c d$, Grundriß Fig. 31, aufstellte, welche

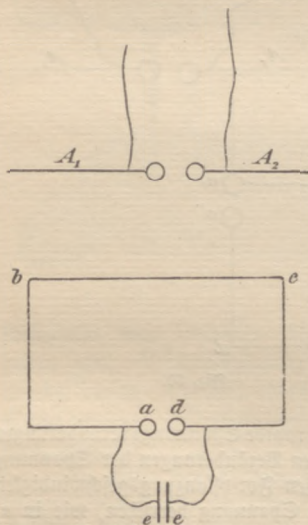


Fig. 31.

bis auf eine sehr kurze Luftstrecke in sich zurückkehrte. Die schnellen Stromschwankungen in $A_1 A_2$ induzieren dann vorwiegend in bc ebenfalls schnelle Stromschwankungen, zufolge deren zwischen a und d Funken auftreten. Für diese Induktionseffekte konnte Herz Resonanz nachweisen. Die Bezeichnung Resonanz ist der Akustik entlehnt, wo sie z. B. die Erscheinung bezeichnet, daß bei einem Klavier, in dessen Saiten man bei aufgehobener Dämpfung einen Ton laut hineinsingt, dieser selbe und nur dieser Ton nachklingt. Allgemein gerät ein Gebilde (Saite), welches eigener Schwingungen fähig ist, dann und nur dann in Mitschwingen, wenn eine periodische Erregung (Schallwellen des hineingesungenen Tones) sie trifft, deren Schwingungszahl pro Sekunde mit derjenigen der möglichen eigenen Schwingungen (Eigenton der Saite)

übereinstimmt. Nur dann addieren sich die Wirkungen der wiederholten Impulse zueinander bis zur Erregung des Resonators. Die Leitung $a b c d$ ist ein Gebilde, in welchem die Elektrizität Schwingungen ausführen kann, deren Periode durch Selbstinduktion und Kapazität gegeben ist. Wenn nun die in $A_1 A_2$ stattfindenden rapiden Schwankungen

der Elektrizität Oscillationen sind, wird ihre Induktionswirkung bei Übereinstimmung der Perioden in $abcd$ elektrische Resonanz hervorrufen. Herz machte die Eigenschwingungsdauer der sekundären Leitung dadurch veränderlich, daß er mit den Enden a und d die verstellbaren, kleinen Platten ee eines Kondensators verband, dessen änderbare Kapazität dann den „Eigenton“ bestimmte. Dann konnte er nachweisen, daß nur bei einem bestimmten Abstand der Platten voneinander zwischen a und d starke Funken erregt wurden; sowohl bei größeren wie kleineren Abständen wurden die Funken außerordentlich viel schwächer. Nur bei dem einen Plattenabstand fand starke Induktionswirkung auf den sekundären Leiter statt; die ihm entsprechende Kapazität machte die Eigenschwingungsdauer des sekundären Leiters gerade gleich der Periode der erregenden Schwingung in $A_1 A_2$, so daß Resonanz stattfand. Deren Auftreten beweist, daß in der That in $A_1 A_2$ Oscillationen stattfinden. Herz ändert den „Eigenton“ des Resonators auch noch durch Änderung der Längen der Drähte ba und cd ; variierte auch die Periode des Erregers $A_1 A_2$, und bewies jedesmal das Stattfinden der Resonanz, welche aber durch die letzterwähnte Änderung bei anderen „Tonhöhen“ eintrat.

4. Stehende elektrische Wellen auf Drähten.

Bei den Versuchen, die ich Ihnen zeigen will, entsteht die Herzsche Schwingung anstatt zwischen den Konduktoren eines gewöhnlichen Ausladers zwischen zwei größeren Blechplatten, den Erregerplatten, ee Fig. 32, welche durch kurze dicke Drähte mit zwei kleinen Kugeln kk verbunden sind; zwischen letzteren schlagen die Entladungsfunken über, durch welche hindurch die Elektrizität von einer Platte zur anderen

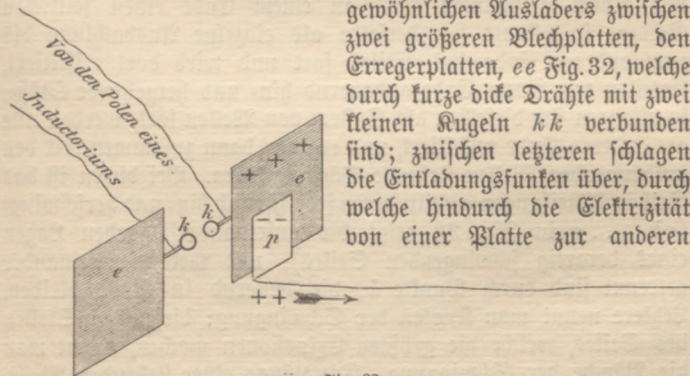


Fig. 32.

oscilliert. Die Intensität der Schwingung, d. h. die hin- und herschwankenden Elektrizitätsmengen werden bei dieser Anordnung größer. Herz stellte nun zunächst der einen jener Platten eine

kleinere Platte p , „Auffangeplatte“, gegenüber, von welcher aus ein langer Draht gespannt war. Wurde durch die Entladung des Induktoriums die mit dem einen Pol desselben verbundene Platte zuerst positiv geladen, so wird die ihr gegenüberstehende Auffangeplatte durch Influenz negativ geladen, während die abgestoßene positive Elektrizität aus ihr in den Draht hinein abfließt. Ist dann die Elektrizität zwischen den Erregerplatten einmal herüberoscilliert, so ist die zuerst betrachtete Platte negativ geladen, die Auffangeplatte durch Influenz positiv, während gleichzeitig negative Elektrizität in den Draht hineinströmt. So entstehen in letzterem die abwechselnden Wellen von positiver und negativer Elektrizität, wie wir sie im allgemeinen betrachtet haben (Fig. 27).

Denken wir uns den Draht unbegrenzt lang, so laufen die aufeinanderfolgenden Wellen in dieser Weise in infinitum weiter. Ist derselbe aber an einer bestimmten Stelle zu Ende, so stauen sich an dieser Stelle die ankommenden Wellen und werden reflektiert. Wie aus den Elementen der Wellenlehre bekannt, ergeben sich aus dem Zusammenwirken, der Interferenz, der anlaufenden und der reflektierten Wellen alsdann sogenannte **stehende Wellen**. Was wir hierunter zu verstehen haben, wird ohne weiteres klar an dem Falle von Seilwellen. Ertheilen wir einem gespannten Seil an einem Ende einen seitlichen Schlag, so pflanzt sich derselbe als einzelne Ausbuchtung bis zum anderen Ende des Seiles fort und wird dort reflektiert. Ertheilen wir jenem Ende andauernd hin- und hergehende Stöße, so pflanzen sich dieselben als System von Wellen fort, werden alle am anderen Ende reflektiert, und ergeben dann zusammen mit den ankommenden Wellen stehende Schwingungen. Bei diesen ist das Seil in Abteilungen geteilt, deren jede für sich hin- und herschwingt (*ab g* in Fig. 33 zeigt die aufeinanderfolgenden Lagen eines derartig schwingenden Seiles), und welche voneinander getrennt sind durch Punkte k , die dauernd in Ruhe bleiben. Letztere nennt man Knoten der Schwingung; diejenigen Stellen des Seiles, welche die größten Exkursionen machen, nennt man die Bäuche der Schwingung. Die Länge einer stehenden Welle, d. h. der Abstand zwischen einem Knotenpunkt und dem zweitfolgenden, ist dieselbe wie die Länge der fortschreitenden Wellen, aus welchen die stehende durch Reflexion erzeugt wird. In derselben Weise entstehen nun auch durch die Reflexion an dem

Drahtende stehende elektrische Wellen, wobei zu bemerken ist, daß am Drahtende immer die stärkste Stauung der ankommenden

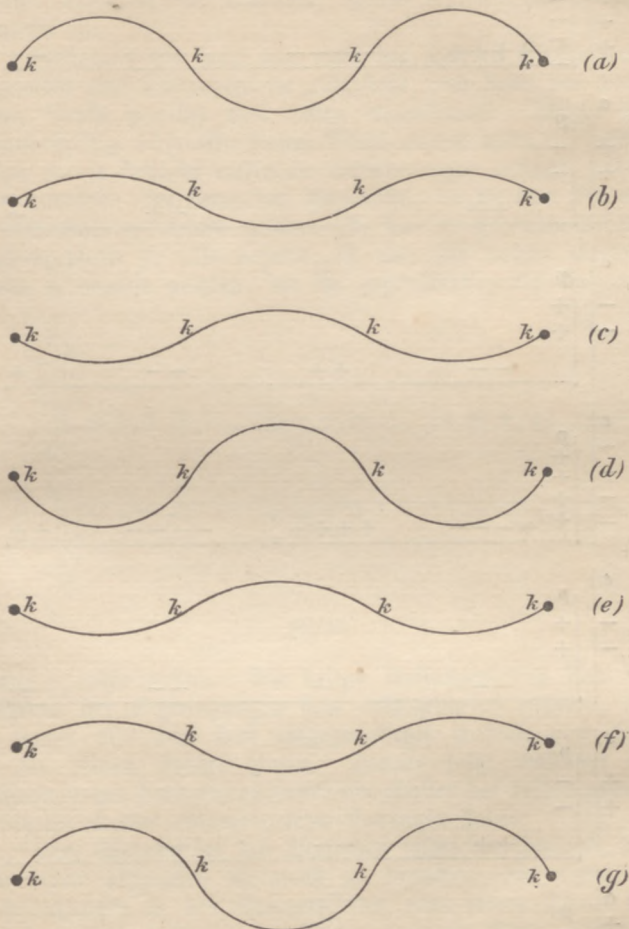


Fig. 33.

den elektrischen Ladung stattfindet, so daß also an ihm die Ladung zwischen den größten Extremwerten hin- und herschwankt; d. h. am freien Drahtende bildet sich ein Bauch der elektrischen

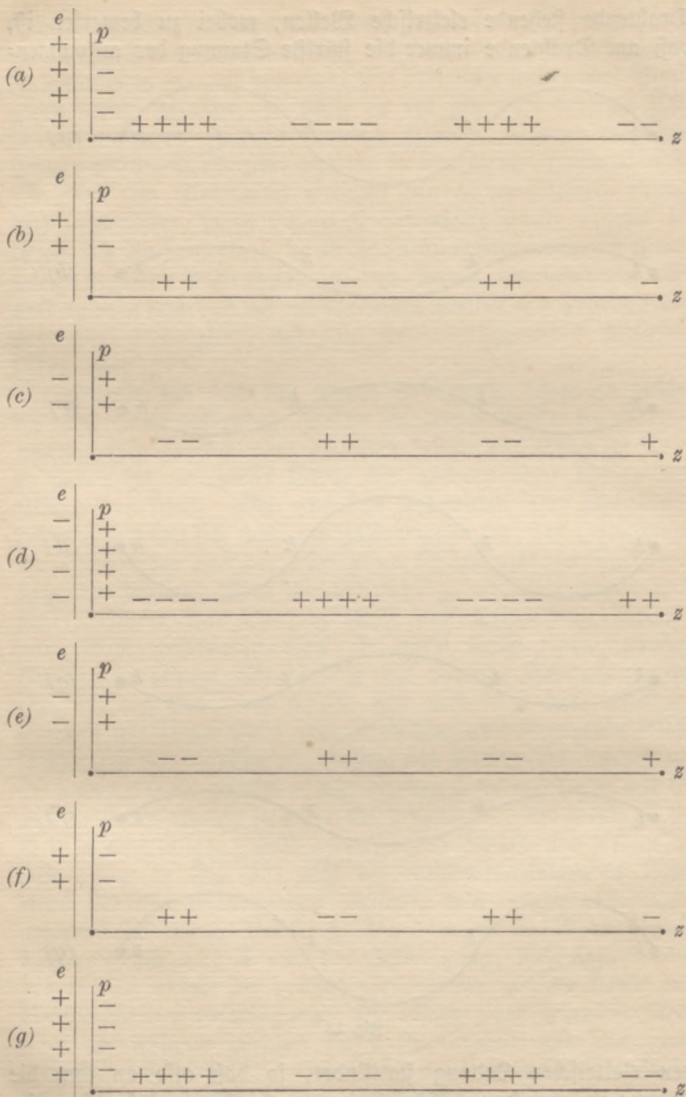


Fig. 34.

Schwingung aus. In Fig. 34 würden $ab..g$ (analog Fig. 33) die successiv aufeinander folgenden Ladungszustände auf dem Drahte der Fig. 32 bedeuten, wenn derselbe bei z abgeschnitten ist.

Weiterhin hat man nun auch der anderen Erregerplatte gegenüber eine Auffangeplatte aufgestellt, und dann von dieser einen Draht parallel dem ersten ausgespannt. (Siehe den Grundriß Fig. 35.) In diesem Draht werden dann im wesentlichen ebenso stehende elektrische Schwingungen erzeugt, wie in dem anderen. In demselben Augenblick, in welchem die eine Erregerplatte e_1 positiv geladen ist, die ihr gegenüberstehende Auffangeplatte p_1 also negativ, ist aber die andere Erregerplatte e_2 negativ geladen, die ihr gegenüberliegende Auffange-

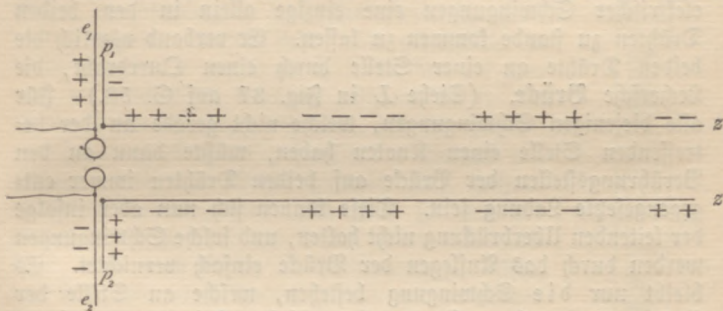


Fig. 35.

platte p_2 also positiv. Die beiden Auffangeplatten sind also während der Schwingungen stets entgegengesetzt geladen, und es laufen also auch stets entgegengesetzte Anstöße von ihnen in die beiden Drähte hinein. Daraus folgt, daß bei den Schwingungen stets gegenüberstehende Stellen der beiden parallel geführten Drähte entgegengesetzte Ladungen haben.

Eine Störung bei den Versuchen bildet der Umstand, daß, um einen akustischen Vergleich zu brauchen, die elektrischen Schwingungen in den Erregerplatten nicht reinen Tönen entsprechen, sondern stets einem Gewirr mehrerer Töne; gerade so wie eine Saite, ungeeignet angestrichen, keinen reinen Ton giebt. Zwar giebt eine Saite niemals nur einen Ton allein an; aber sie giebt doch geeignet angestrichen in überwiegender Stärke ihren Grundton, bei welchem sie als Ganzes hin- und

herschwingt; daneben giebt sie dann gleichzeitig, aber nur schwach, auch ihre Obertöne, bei denen sie entweder in zwei Hälften schwingt mit einem Knotenpunkt in der Mitte, oder in drei Dritteln mit zwei Knotenpunkten, wie Fig. 33, oder in vier Vierteln mit drei Knotenpunkten u. s. f. Wird jedoch die Saite sehr nahe dem Ende angestrichen, so werden ein oder mehrere Obertöne neben dem Grundton sehr stark, können ihn sogar übertönen, so daß man einen unreinen Ton erhält. Wenn ich aber dabei einen Punkt der Saite leise mit dem Finger berühre, so kann nur derjenige Ton entstehen, für welchen die Saite so schwingt, daß sie an der berührten Stelle einen Knotenpunkt hat. Einen ganz analogen Kunstgriff hat **Lecher** angewandt, um aus dem störenden Gewirr verschiedener elektrischer Schwingungen eine einzige allein in den beiden Drähten zu stande kommen zu lassen. Er verband nämlich die beiden Drähte an einer Stelle durch einen Querdraht, die **Lecher'sche Brücke**. (Siehe *L* in Fig. 37 auf S. 58.) Für alle diejenigen Schwingungen, welche nicht gerade an der betreffenden Stelle einen Knoten haben, müßte dann an den Berührungsstellen der Brücke auf beiden Drähten immer entgegengesetzte Ladung sein. Diese können sich nun aber in Folge der leitenden Überbrückung nicht halten, und solche Schwingungen werden durch das Auflegen der Brücke einfach vernichtet. Es bleibt nur die Schwingung bestehen, welche an Stelle der Brücke gerade einen Knoten hat; dieser Schwingung schadet die Verbindung der beiden Stellen nichts, da ja in ihnen, als Knotenstellen, ohnehin schon niemals Ladung vorhanden ist. Es kommt natürlich noch darauf an, daß die durch Festlegung dieser Knotenstelle übrigbleibende Schwingung auch in den Erregerschwingungen überhaupt vorhanden ist, und man muß daher die Lecher'sche Brücke so lange verschieben, bis man eine solche Stelle gefunden hat, welche dieser Bedingung genügt.

Wir kommen jetzt zu der Frage, wie man das Vorhandensein von Knoten und Bäuchen der elektrischen Wellen auf den Drähten zeigen kann. Hierzu hatte man zuerst sich kleiner Geißler'scher Röhren bedient, also Röhren mit verdünnter Luft, welche unter dem Einfluß elektrischer Entladungen leuchten. Legte man eine solche Röhre quer über die beiden Drähte an einer Knotenstelle, so blieb sie dunkel,

da ja beide Enden dauernd unelektrisch blieben. An jeder anderen Stelle leuchtete sie, am stärksten an den Stellen, welche den Bäuchen entsprechen; denn an allen anderen gegenüberstehenden Stellen, außer den Knoten, sind auf den beiden Drähten immer entgegengesetzte Ladungen vorhanden, die eine schwache leuchtende Entladung durch die quer gelegte Geißlersche Röhre hervorrufen. Die Anbringung mehrerer Geißlerscher Röhren, oder das Verschieben einer einzigen, welches zur Demonstration erforderlich ist, wird nun überflüssig gemacht durch die von **Arons** getroffene Anordnung, die beiden Drähte auf eine Strecke von etwa 2 m in eine einzige große Röhre einzuschmelzen, und aus dieser die Luft auszupumpen. Dann sieht man gleichzeitig in dieser Röhre die verdünnte Luft an den Bäuchen und in deren Nähe leuchten, während sie in den Knoten dunkel bleibt, ein Anblick, wie ihn Fig. 36 annähernd wiedergibt. Damit der Versuch gut gelinge, muß die Röhre ziemlich weit gehend evakuiert werden; man thut gut, sie mit der Quecksilberluftpumpe, am besten einer automatischen, etwa nach Raps, in Verbindung zu lassen, um Luft, die durch Undichtigkeiten nachgedrungen ist, immer wieder wegzuschaffen. Dagegen scheint es unwesentlich zu sein, am äußersten Ende der Röhre durch leitende Überbrückung der beiden Drähte noch eine zweite erzwungene Knotenstelle zu schaffen; es hat vielmehr für die Demonstration den Vorteil, daß am äußersten Ende der Röhre nochmals ein leuchtender Bauch vorhanden ist, wenn man die Drahtenden, wie auch in der vorstehenden Auseinandersetzung angenommen wurde, nicht miteinander verbindet. Dr. Geißlers Nachfolger in Bonn liefern die Arons'schen Röhren, welche z. B. in vorliegendem Exemplar für unsere Anordnung die Demonstration von vier Bäuchen auf ihre ganze Länge zeigt. Das Auge, welches vom Tageslicht ermüdet ist, nimmt die Erscheinung manchmal erst nach längerem Verweilen im verdunkelten Zimmer wahr; dem

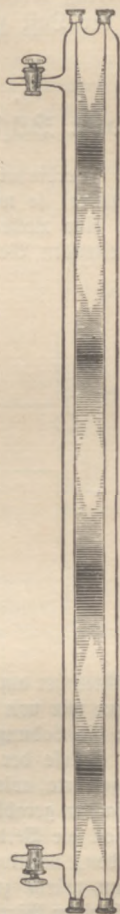


Fig. 36.

vollkommen ausgeruhten Auge erscheint sie dann aber sehr glänzend.

Das sind die Herzschen Wellen auf Drähten; im nächsten Vortrag werde ich mir erlauben, Ihnen die Herzschen Wellen in der Luft zu zeigen.

5. Gleichzeitiges Vorhandensein von Schwingungen der magnetischen Kraft.

Verbindet man die beiden Enden der parallelen Drähte miteinander, so wird das gemeinsame Ende ein Knotenpunkt, gerade so, wie eine Lechersche Brücke, da bei den zu Grunde liegenden fortschreitenden Wellen stets entgegengesetzt gleiche Ladungen von beiden

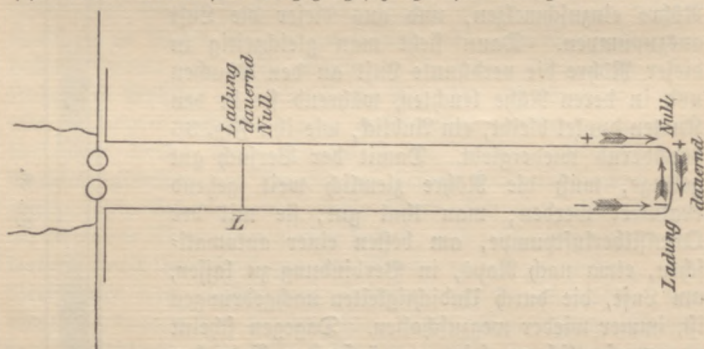


Fig. 37.

Drähten her am Ende ankommen, die sich also stets vernichten. (Fig. 37.) Wenn wir von Knoten und Bäuchen sprachen, hatten wir bisher dabei nur die Ladung im Auge. Die Lage jener beiden ist in Bezug auf die Stärke der an jeder Stelle stattfindenden **Strömung** gerade die umgekehrte, wie wir sogleich sehen werden. Gehen wir aus von der einfachen geradlinigen Schwingung wie in einem Auslader (Fig. 29), so soll die Verteilung der Ladung längs derselben graphisch dargestellt werden, positive und negative als Ordinaten nach oben und unten. Dann würde zu Beginn etwa *aaa*, Fig. 38, die Ladung angeben; nach einer Viertelschwingung wäre sie überall gleich Null, nach einer weiteren Viertelschwingung *bbb*, u. s. f. Die Mitte ist ein Knoten für die Ladung (auch für die Spannung, das Potential); die Enden Bäuche. Dagegen strömt während der Dauer der ersten beiden Viertel der Schwingung fortwährend durch die Mitte hindurch positive Elektrizität

von links nach rechts, und negative von rechts nach links, während natürlich durch die Enden des Ausladers hinaus keine Elektrizität strömen kann. Die Enden sind daher Nullstellen, Knoten für die Strömung, die Mitte ein Bauch. Freie, blinde Leiterenden, wie die Enden z in den Fig. 34, 35, sind immer Knoten der Strömung, Bäuche für die Ladungen. Bei den an ihren Enden miteinander verbundenen parallelen Drähten, Fig. 37, strömt durch das gemeinsame Ende, in welchem die Ladung dauernd gleich Null ist (Knoten der Ladung), gleichzeitig immer die eine Elektrizität in der einen, die andere in der entgegengesetzten Richtung hindurch, so daß dort ein Bauch der Strömung vorhanden ist, deren Richtung nach jeder Halbschwingung in die entgegengesetzte umschlägt. Ebenso bildet die Lecher'sche Brücke L eine Knotenstelle für die Ladung, aber einen

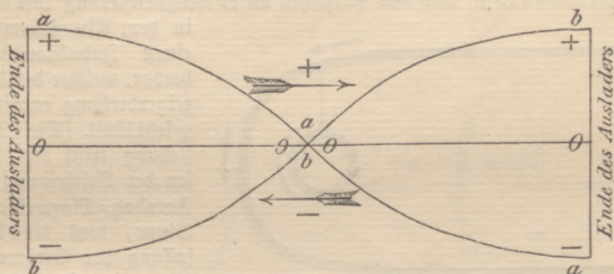


Fig. 38.

Bauch für die Strömung. (Das Verhältnis von Knoten und Bäuchen für Ladungen bezw. Strömung ist ganz analog demjenigen für die Dichtigkeitschwankungen und die Bewegung bei stehenden Longitudinalwellen.)

Während nun durch die Ladungen und Spannungen die elektrischen Kräfte bedingt sind, rufen die Strömungen elektrodynamische oder magnetische Kräfte hervor. Ringförmig, siehe Fig. 24, um diejenigen Stellen eines Drahtes herum, an welchen die Strömung am stärksten hin- und hergeht, treten auch die stärksten magnetischen Kräfte hin- und heroscillierend auf. In dem Zwischenraum zwischen den beiden Drähten, Fig. 35, ist die magnetische Kraft wie bei einem Galvanometer immer senkrecht auf deren gemeinsamer Ebene, also auf derjenigen des Papiers in unseren Zeichnungen; aber sie schwankt wie die Strömung fortwährend hin und her, so daß sie einen Nordpol abwechselnd nach vorn und nach hinten aus der Papierebene her austreiben würde. Herz hat auch diese magnetischen Oscillationen experimentell nachgewiesen in folgender Weise. Die Ebene der beiden Paralleldrähte stellte er vertikal. In das Innere der Schleife am Ende derselben hing er

an einem Kokonsfaden einen leichten Aluminiumdrahttring (siehe Fig. 39). Da das gemeinsame Ende der Drähte ein Bauch für die Strömung ist, tritt im Inneren der Schleife starke oscillierende Magnetisierung des Äthers ein. Jedes Auftreten einer Magnetisierung von bestimmter Richtung erzeugt in dem Aluminiumring einen Induktionsstrom, und zwar ist nach den Regeln der Induktion die Richtung dieses Induktionsstromes jedesmal entgegengesetzt der Richtung desjenigen Stromes, welcher die Magnetisierung erzeugte, also entgegengesetzt der Richtung des Stromes in der Drahtschleife. Wenn z. B. von einem Augenblick der Stromlosigkeit an eine am Ende der Schleife von oben nach unten gerichtete positive Strömung beginnt, also im Sinne des Uhrzeigers herumgehend, so würde dieser Strom eine Magnetisierung des Äthers erzeugen, bei welcher vorn der Südmagnetismus, hinten der Nord-

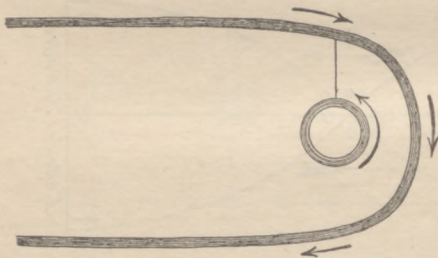


Fig. 39.

in dem Aluminiumring einen Induktionsstrom hervor, welcher der Uhrzeigerdrehung entgegengesetzt läuft. [Diese Darstellung trifft das Wesen der Erscheinung im Faraday-*Maxwell'schen* Sinne, was die Auffassung der Ströme im Aluminiumring als durch *Volta*induktion erzeugt weniger thun würde.]

Der Strom in der Drahtschleife wird nun auf denjenigen im Ring eine sogenannte **elektrodynamische bewegende Kraft** ausüben, eine Kraft, welche ihrem Wesen nach nichts anderes ist als ein besonderer Fall von magnetischer Kraft. Letzteres ersieht man aus folgender Überlegung. Man denke sich zwei stromdurchflossene Drahtkreise, Fig. 40; der eine, I, fest in der Ebene des Papiers; der andere, II, senkrecht zur Ebene des Papiers, nicht fest, sondern an dem dünnen Faden *f* beweglich aufgehängt. Die auf den Kreisen angebrachten Pfeile bedeuten die Richtung der in ihnen zirkulierenden elektrischen Ströme. Dann üben nach bekannten Regeln jeder Strom auf einen Magneten und auch die beiden Ströme aufeinander dieselben Kräfte aus, wie je ein Magnet; der an Stelle von I zu denkende mit seiner Längsachse senkrecht auf der Ebene des Papiers stehend; der an Stelle von II zu denkende mit der Achse in der Ebene des Papiers liegend. Die Pole, *N* und *S*, haben die in den Figuren gezeichneten Lagen. Der Erfaßmagnet von I übt auf die Pole desjenigen von II die an diesen mit Pfeilen angezeichneten Kräfte aus, welche den

Ersatzmagneten von II und damit den Kreis II selbst drehen werden; *S* nach vorne, *N* nach hinten. Diese drehende, ihrem Wesen nach magnetische Kraft kann man sich nun auch als von den Teilen des stromdurchflossenen Drahtkreises I als auf diejenigen von II ausgeübt denken und nennt sie in dieser Anschauungsweise elektrodynamische Kraft. Dieselbe aus den magnetischen Kräften soeben abgeleitete Drehung von II kommt dann auch zustande, wenn ich Kräfte annehme, welche den vorderen Teil des Drahtkreises II nach rechts, den hinteren nach links zieht, wie die gesiederten Pfeile in der Figur angeben. Diese Kräfte fasse ich auf als in überwiegender Weise von demjenigen Teile des Kreises I herrührend, welcher in der Figur den Pfeil der Stromrichtung trägt, weil dieser Teil der dem Kreise II

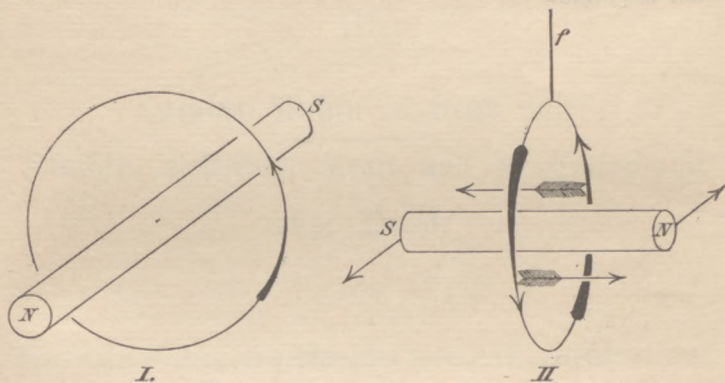


Fig. 40.

nächst gelegene ist. Die durch die gesiederten Pfeile bezeichneten Kräfte auf II kommen dann zustande, wenn zwischen dem maßgebenden Teile des Kreises I und dem von einem gleichgerichteten Strome durchflossenen (hinteren) Teile von II eine Anziehung, zwischen jenem selben und dem von einem entgegengesetzten Strome durchflossenen (vorderen) Teile von II eine Abstoßung existiert. Daraus folgt das einfachste Grundgesetz der elektrodynamischen (ihrem Wesen nach magnetischen) Kräfte: gleichgerichtete Ströme ziehen sich an, entgegengesetzt gerichtete stoßen sich ab.

In der Endschleife Fig. 39 ist nun die Richtung des Stromes entgegengesetzt derjenigen im Aluminiumring; jener Strom stößt also diesen ab und infolgedessen wird sich der Aluminiumring senkrecht zur Papierebene zu stellen bestrebt sein. Beginnt nach einer Hinschwingung die Rückschwingung der Elektrizität, so beginnt mit der Umkehr der Stromrichtung in der Drahtschleife auch eine entgegengesetzte Magneti-

fierung aufzutreten; im Aluminiumring wird der entgegengesetzte Strom induziert, so daß ebenfalls wieder Abstoßung desselben eintritt. Es entsteht also eine dauernde Abstoßung. Diese konnte Herz in der That beobachten, aber immer nur in der Nähe der Bäuche für die Strömung. Da dies die Knoten der elektrischen Ladung sind, in denen niemals letztere vorhanden ist, war ausgeschlossen, daß irgend eine direkte Wirkung der elektrischen Kräfte die Drehung des Aluminiumringes hervorbrachte, wie ja auch die Arons'sche Röhre an diesen Stellen dunkel bleibt. Vielmehr sind die Oscillationen der magnetischen Kraft in der eben auseinandergesetzten Weise die Ursache jener Drehung, und diese haben immer dort einen Bauch, wo die Oscillationen der elektrischen Ladungen und Kräfte einen Knotenpunkt haben, und umgekehrt.

III.

Herz'sche Wellen in freier Luft;
Strahlen elektrischer Kraft und die Telegraphie
ohne Draht.

Nach einem Vortrag im Greifswalder Ferienkurs vom Jahre 1898.

III

THE HISTORY OF THE
CITY OF BOSTON
FROM 1630 TO 1800
BY
JOHN H. COOPER

NEW YORK: PUBLISHED BY
G. P. PUTNAM'S SONS, 26 NASSAU ST.

1. Die fortschreitenden elektrischen Wellen in freier Luft.

Wir haben im vorigen Vortrag kennen gelernt, was man unter oscillatorischen Entladungen, speziell was man unter einer Hertz'schen elektrischen Schwingung zu verstehen hat; und haben weiter gesehen, wie durch dieselbe in Drähten elektrische Wellen hervorgerufen werden, die der Demonstration direkt

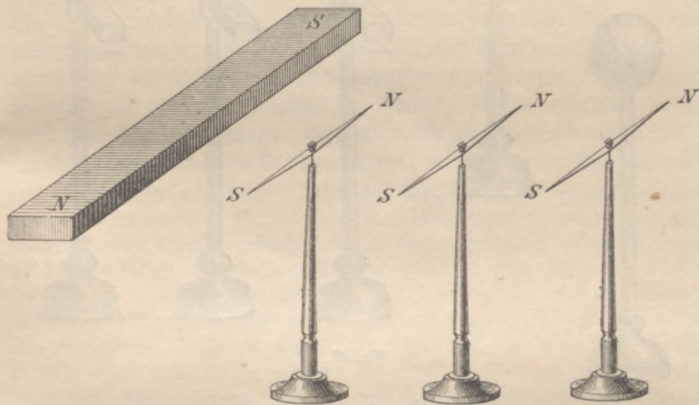
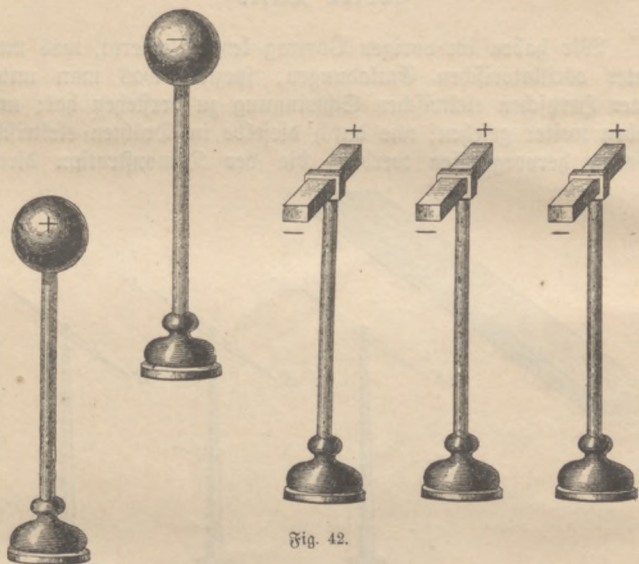


Fig. 41.

zugänglich sind. Nun wissen wir aber weiter, daß elektrisch erregte Körper nicht bloß diejenigen Leiter der Elektrizität beeinflussen, welche direkt mit ihnen in Verbindung stehen, sondern alle, auch in größerer Entfernung von ihnen befindlichen Leiter durch die Luft hindurch elektrisch beeinflussen oder „influenzieren“. Wie man sich diese Influenzwirkung zu denken hat, kann man am besten veranschaulichen durch folgenden analogen magnetischen Versuch.

Sie sehen hier (Fig. 41) drei Magnetnadeln, die sich alle unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus in die

Richtung von Norden nach Süden einstellen würden; ihre Nordpole sind rot angestrichen, ihre Südpole weiß. Neben ihnen befindet sich in einiger Entfernung von ihnen, parallel mit ihnen ein kräftiger Stabmagnet, dessen Wirkung auf die Nadeln diejenige des Erdmagnetismus übertrifft, so daß sie die Richtung annehmen müssen, welche durch die Pole des Stabmagneten angewiesen wird. Sein Südpol zieht nach dem Gesetz der Anziehung der ungleichnamigen Pole die Nordpole der kleinen



Magnetnadeln nach seiner Seite; sein Nordpol die Südpole derselben nach seiner Seite. Kehre ich den Stabmagneten um, so kehren sich auch die Magnetnadeln um. Ganz ähnlich ist die influenzierende Wirkung, welche zwei elektrische Konduktoren ausüben, die ich mir an Stelle des Stabmagneten denke, an Stelle seines Nordpols etwa einen positiv geladenen Metallkonduktor auf isolierendem Glasfuß, an Stelle seines Südpols einen negativ geladenen. (Fig. 42.) An Stelle der kleinen Magnetnadeln denke ich mir kleine, ebenfalls isolierte, stabförmige Metallstücke; dann wird die Influenz jener beiden entgegengesetzt geladenen Konduktoren auf die kleinen Metall-

stärke sich so äußern, daß an den Enden, welche an der Seite des positiv geladenen Konduktors liegen, sich die negative Elektrizität ansammelt; und umgekehrt an den Enden, welche nach der Seite des negativ geladenen Konduktors liegen, die positive Elektrizität. Denke ich mir den vorher positiv geladenen Konduktor jetzt negativ geladen und umgekehrt, so kehren sich zwar nicht, wie die Nadeln im vorigen Versuch, die kleinen Stäbe selbst um; aber es kehrt sich die elektrische Influenz in ihnen um, so daß die vorher positiv geladenen Enden jetzt negativ werden und umgekehrt. Das ist ein vollkommenes elektrisches Analogon zu dem Versuch mit den Magneten, den ich Ihnen soeben zeigte.

Bei den Herzschen Schwingungen sind die beiden Hälften des Entladers (Fig. 29) zwei solche Konduktoren, von denen der eine zuerst positiv, der andere zuerst negativ geladen ist, und bei welchen infolge der elektrischen Oscillationen weiterhin dann abwechselnd auch jener Konduktor negativ und dieser positiv geladen ist. Wie die influenzierende Wirkung sich äußert, wenn wir die Ladungen der Konduktoren in einem bestimmten Sinne uns dauernd festgehalten denken, wissen wir aus dem eben Auseinandergesetzten. Wie wird sich aber die influenzierende Wirkung geltend machen bei den schnell wechselnden Ladungen?

Im folgenden mußte, wenn die Darstellung gemeinverständlich sein sollte, abgesehen werden von den Induktionswirkungen der in fortwährendem Wechsel entstehenden und wieder verschwindenden Ströme in der Herzschen Schwingung, welche Wirkung nach der alten Auffassung als besondere hinzutritt zu der Influenz der elektrostatistischen Ladungen. Die Induktion wird sogar in größerer Entfernung von der erregenden Herzschen Schwingung die Influenz bedeutend überwiegen; denn während letztere, wie die richtende Wirkung eines kleinen Magneten, dann abnimmt wie die umgekehrte dritte Potenz der Entfernung, nimmt erstere nur ihr selbst umgekehrt proportional ab; letzteres weil es sich nicht um Kugelwellen, sondern um cylinderähnliche Wellen handelt, welche vornehmlich nur in der Äquatorialebene der geradlinigen Schwingung sich ausbreiten. Nach neuer Auffassung giebt es aber nur eine einheitliche „elektrische Kraft“, und für diese, welche aus der alten Influenz und Induktion zusammengesetzt ist, gilt im wesentlichen das, was im folgenden der Einfachheit halber nur für elektrostatistische Influenz allein genommen entwickelt wird. Herz geht in seinen Arbeiten von der Betrachtung der beiden Arten von Kräften in der alten Darstellungsform aus, und macht erst im Laufe seiner Publikationen den völligen konsequenten Übergang, auch im Ausdruck, zu der einheitlichen Darstellungsweise der Maxwell'schen Theorie.

Dabei wird, wie wir sogleich erkennen werden, ein ganz neuer Umstand in Betracht kommen, nämlich die Frage, ob sich die influenzierende Wirkung momentan bis zu jeder beliebigen Entfernung hin geltend macht, oder ob sie zum Fortschreiten durch die zwischenliegende Luft eine gewisse Zeit bedarf. Ist eine solche nicht erforderlich, so wird mit der Umkehrung der Elektrifizierung der beiden Hälften der Herz'schen Schwingung momentan auch die influenzierte Elektrifizierung in allen kleinen Metallstücken im selben Augenblick sich umkehren, so daß die influenzierten Ladungen in ihnen allen während der ganzen Dauer der Herz'schen Oscillationen im selben Tempo mit jener hin- und herschwingen. Anders aber, wenn die influenzierende **Wirkung Zeit braucht, um sich durch die Luft auszubreiten.** Diese Annahme müssen wir machen, wenn wir uns auf den Standpunkt stellen, daß raumüberspringende Fernwirkungen, worauf wir im nächsten Vortrage näher eingehen werden, unmöglich sind, vielmehr die Wirkung sich von der erregenden Schwingung zuerst auf die unmittelbar benachbarten Ätherschichten, von diesen wieder auf die nächsten u. s. f. überträgt. Dann kann die Wirkung einer bestimmten Phase der Schwingung in einem bestimmten Moment immer nur in einer Ätherschicht ihren Sitz haben, und muß jede nächstfolgende Schicht erst etwas später erreichen, als die vorhergehende, braucht also notwendig Zeit zu ihrer Ausbreitung.

Darüber, wie die fortschreitende Ausbreitung der elektrischen Kraft nach der Maxwell'schen Theorie zustande kommt, siehe die anschauliche elementare Darstellung von Helmholtz in seinen Vorlesungen über theoretische Physik, Leipzig, bei Joh. Ambr. Barth, Band V, S. 33.

Wir denken uns eine große Zahl jener kleinen influenzierten Leiter in immer größerer Entfernung von der Herz'schen Schwingung angebracht und nummerieren dieselben. (Fig. 43.) Im ersten Moment der Entladung sei die obere Hälfte der letzteren positiv, die untere negativ geladen (durch *a* dargestellt). Die influenzierende Wirkung auf 1 wird dann diejenige sein, daß es oben negativ, unten positiv geladen wird. Wir wollen annehmen, daß bis zu einem Augenblick kurz vor der ersten Wiedervereinigung der ursprünglichen Ladungen auf dem Auslader, jene influenzierende Wirkung sich auch noch bis auf Nr. 2 fortgepflanzt hat, aber noch nicht weiter. Diese influenzierende Kraft wird dann auch noch weiter fortschreiten, und nach Ab-

lauf nochmals derselben Zeit Nr. 3 und 4 ergriffen haben (*b* in der Figur). Mittlerweile aber hat sich der Sinn der Ladungen in der Hertz'schen Schwingung umgekehrt, und die influenzierende Wirkung dieser umgekehrten Ladung ergreift

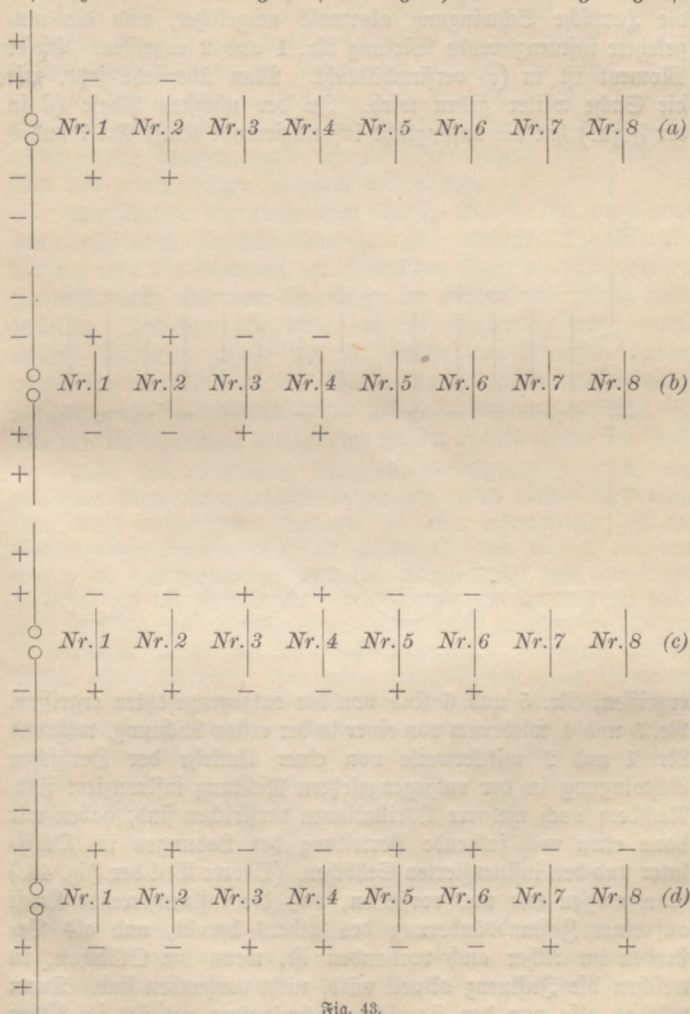


Fig. 43.

successive Nr. 1 und 2, wie in (b) dargestellt. Die jetzt vorhandenen influenzierenden Kräfte schreiten ebenfalls weiter fort; die von Nr. 3 und 4 auf Nr. 5 und 6 (c in der Figur), die von Nr. 1 und 2 auf Nr. 3 und 4. Mittlerweile hat sich dann die Hertz'sche Schwingung abermals umgekehrt, und die umgekehrte influenzierende Wirkung Nr. 1 und 2 ergriffen. Dieser Moment ist in (c) versinnbildlicht. Man übersieht jetzt, wie die Sache weiter gehen wird. In der nächsten Phase (d in der Figur) hat die anfängliche influenzierende Kraft Nr. 7 und 8

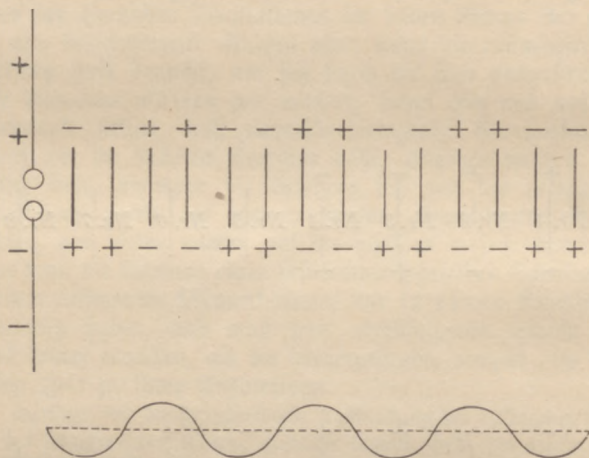


Fig. 44.

ergriffen, Nr. 5 und 6 sind von der entgegengesetzten ergriffen, Nr. 3 und 4 wiederum von einer in der ersten Richtung, während Nr. 1 und 2 mittlerweile von einer Umkehr der Hertz'schen Schwingung in der entgegengesetzten Richtung influenziert sind. Nachdem noch mehrere Oscillationen verstrichen sind, haben wir dann etwa noch folgende Verteilung der Ladungen im Oszillator und den influenzierten Stäbchen. (Oberer Teil der Fig. 44.) Nun müssen wir uns vorstellen, daß die influenzierende Kraft auf einer Zustandsänderung des Äthers beruht, und als Bestreben im Äther auch vorhanden ist, wenn die Stäbchen, in welchen die Influenz aktuell wird, nicht vorhanden sind. Dann würden also von der Hertz'schen Schwingung aus sich im Äther

von Stelle zu Stelle fortschreitend, elektrisch influenzierende Kräfte von abwechselnder Richtung allmählich immer weiter ausbreiten, ganz wie Wellen, indem wir eine nach oben gerichtete positive Kraft mit einem Wellenberg, eine nach unten gerichtete mit einem Wellenthal vergleichen, wie im unteren Theil der Fig. 44 gezeichnet. Das sind die **Hertz'schen Wellen elektrischer Kraft** in der Luft, oder richtiger im Äther; denn die gleichzeitige Anwesenheit der Luft ist nebensächlich, wie der Umstand beweist, daß sich die Wellen der elektrischen Kraft auch durch andere Medien, bezw. den luftleeren Raum, das Vakuum, also den reinen Äther hindurch fortpflanzen.

Die Wellen der elektrischen Kraft, wie sie im vorstehenden anschaulich gemacht wurden, sind einfache Transversalwellen, weil die Richtung der elektrischen Kraft an allen Stellen senkrecht steht auf der Richtung, in welcher die Welle fortschreitet. Indessen gilt diese einfache Beziehung nur, wenn letztere Richtung gerade die ist, welche wir betrachtet haben, wenn sie nämlich von der Mitte der Hertz'schen Schwingung entspringend, senkrecht zu deren Längsausdehnung gerichtet ist. Bei den im folgenden betrachteten Fällen ist dies immer der Fall.

Nicht jede oscillierende Bewegung der Elektrizität, z. B. eine von einer Wechselstrommaschine ausgehende, wird Wellen der elektrischen Kraft ausstrahlen. Vielmehr ist dazu erforderlich, daß die Schwingungen hinreichend schnell geschehen. Das können wir uns wieder an dem gespannten Seil klar machen. Ich fasse eine Stelle desselben mit den Fingern und führe sie langsam hin und her; dann wird noch ein Stück des Seiles von dieser Stelle ab auf beiden Seiten in demselben Tempo der hin- und hergehenden Bewegung folgen; Wellen bilden sich nicht. Das wäre eine wellenlose (nach Volkmann asone = klanglose, aphote = lichtlose) Bewegung. Erst, wenn ich die gefaßte Stelle schnell hin- und herbewege, schnüren sich Wellen von ihr ab. Die Hin- und Herführung der Stelle muß mit einer Geschwindigkeit geschehen, welche von derselben Größenart ist wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Seilwellen, damit letztere zustande kommen können. Ähnlich verhält sich z. B. auch in einem Gase, welches als elastische Flüssigkeit sehr wohl imstande ist, die von einem schnell oscillierenden (tönenden) festen Körper ausgehenden Stöße als Wellen (Schall) fortpflanzen. Bewege ich aber den festen Körper langsam hin und her, so weicht das Gas wie eine unelastische tropfbare Flüssigkeit um ihn herum aus, ohne daß Wellen entstehen. Analog strahlen auch langsame elektrische Bewegungen keine Wellen aus, sondern dies thun nur Stöße oder schnelle Oscillationen.

2. Nachweis der Wellen und Strahlen elektrischer Kraft.

Wie weisen wir nun das Vorhandensein von fortschreitenden Wellen elektrischer Kraft nach? Seit einigen Jahren wird hierzu folgende Demonstrationmethode allgemein benutzt. Wenn wir Feilspäne, etwa von Kupfer, lose in eine Glasröhre ($C \dots C$, Fig. 45 in schematischer Darstellung) einschließen, durch deren Enden Drähte hindurchgehen, und versuchen, durch eine solche Röhre einen elektrischen Strom zu schließen, so finden wir, daß dieselbe

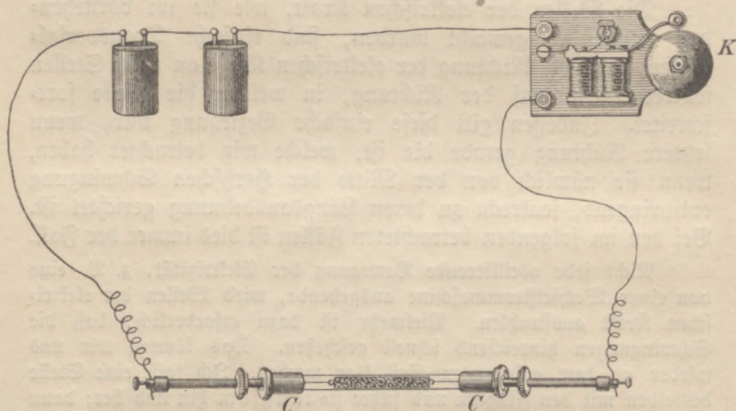


Fig. 45.

ihm einen fast unüberwindlichen Widerstand entgegensetzt. Stellt man eine solche Röhre parallel der Hertz'schen Schwingung auf und treffen dann die elektrischen Wellen auf sie, so wird in einer noch nicht ganz aufgeklärten Weise ihr Widerstand bedeutend vermindert, wie **Branly** zuerst gefunden hat. Es werden gewissermaßen die Feilspäne zusammenhängender, kohärenter gemacht und deswegen nennt man eine solche Röhre auch **Kohärer**. Haben wir einen Leitungskreis gebildet aus galvanischen Elementen, einer elektrischen Klingel (K in Fig. 45) und einem Kohärer, so kommt zunächst wegen des überaus großen Widerstandes des letzteren kein Strom zustande. In dem Augenblicke aber, wo elektrische Wellen auf den Kohärer auftreffen, wird sein Wider-

stand vermindert, der Strom der Elemente kann hindurchgehen und die Klingel ertönt. (Versuch.) Auch nachdem die Herzschen Wellen aufgehört haben, bleibt die Widerstandsverminderung bestehen, und die Glocke tönt weiter. Erst wenn ich die Feilspäne wieder durcheinander schüttele, wozu Klopfen des Rohrers genügt, wird sein Widerstand wieder so groß, daß die Glocke verstummt. (Versuch.)

Die Apparate, mit welchen ich Ihnen diese Versuche zeige, stammen aus der Werkstatt des Mechanikers Ernede in Berlin (SW, Königgräzerstraße 112); sie funktionieren in ausgezeichnete Weise. Hier (Fig. 46) befindet sich die erregende Herzsch'sche Schwingung, eingebaut in die horizontal liegende Brennnlinie eines gekrümmten Metallspiegels, dessen Bedeutung wir nachher erkennen werden. Der

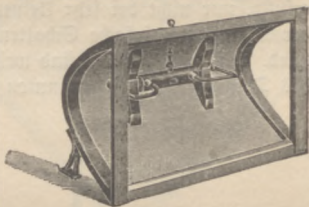


Fig. 46.

Entlader, in welchem die wellenerregenden Schwingungen stattfinden, ist im einzelnen konstruiert in einer von Righi angegebenen Weise; seine leitenden Hälften, zwischen denen die Funken überspringen, sind eingeschlossen in eine Hartkummikapsel mit nichtleitendem Vaselinöl. Auch der

Rohr器 ist, um sicher zu arbeiten, etwas anders ausgeführt, als die das Prinzip angegebende Zeichnung C...C, Fig. 45; er ist, wie Sie hier sehen (Fig. 47), ebenfalls in der Brennnlinie eines Metallhohlspiegels angebracht,

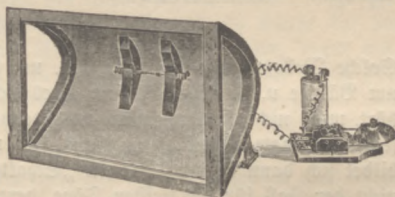


Fig. 47.

hinter welchem sich das galvanische Element und die Klingel befinden.

Den Luftraum durchschreiten die Wellen der elektrischen Kraft unverändert. Treffen sie dagegen auf Metalle auf, so erzeugen sie auf ihren Oberflächen wechselnde elektrische Ladungen und Ströme, gehen aber nicht durch sie hindurch. Hinter Metallen entsteht gewissermaßen ein **Schatten der elektrischen Kraft**.

In Metallen, oder allgemeiner in „Leitern“, ist der Äther in solcher Weise modifiziert, daß in ihnen eine elektrische Kraft als solche, als Spannungszustand im Äther, sich keine endliche Zeit hindurch auf-

recht erhalten kann, sondern sich außerordentlich schnell ausgleicht, indem Ströme und Ladungen entstehen. Wesentlich ist uns jetzt: Metalle sind undurchlässig für die elektrische Kraft, also auch für die Hertz'schen Wellen derselben. Nicht immer bildet sich aber hinter einem Schirm, der für eine Wellenbewegung undurchlässig ist, ein scharf begrenztes Gebiet der Ruhe, ein „Schatten“ aus. Beim Licht ist es der Fall, beim Schall im allgemeinen nicht. Schattenbildung findet dann und nur dann statt, wenn die Länge einer Welle verhältnismäßig klein ist gegenüber der Größe des betreffenden Schirmes. Bei der außerordentlichen Kleinheit der Lichtwellenlängen ist diese Bedingung fast immer erfüllt, nur nicht bei sehr kleinen Schirmen, bei welchen dann auch in der That keine einfache Schattenbildung, sondern „Beugung“ sichtbar wird. Die Schallwellen sind weit größer, z. B. hat jede einzelne Welle des Tones a' , des sogenannten Kammertones, eine Länge von $\frac{3}{4}$ m.

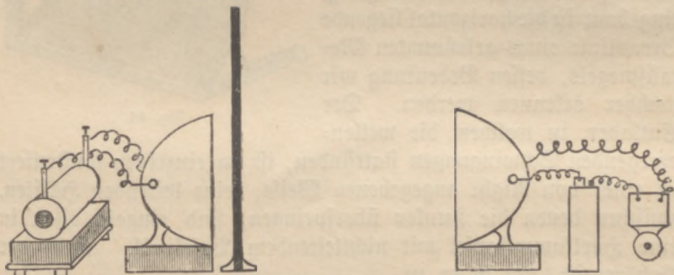


Fig. 48.

Solche Wellen gehen um Menschen, um Säulen in einem Konzertsaal, um Bäume u. ä. ohne Bildung eines Schallschattens herum. Dagegen hört man nicht hinter einem ausgedehnten Gebäude eine vor demselben erzeugte Musik, wenigstens von mittlerer Tonlage; für diese bildet sich dann in der That ein „Schatten“. Aber auch dann ist dies nicht der Fall für die tiefsten Töne, deren Wellen sogar bis zu 14 m lang werden; die tiefsten Töne der Musik hört dann bekanntlich der hinter dem Gebäude befindliche Hörer doch; diese gehen um die Ecken desselben herum; aber nur diese allein, nicht die höheren Töne. — Damit bei den Hertz'schen Wellen Schattenbildung auftritt, müssen ebenfalls die Schirme groß sein gegen die Wellenlänge; letztere zählt bei den Righi-Sendern einige Centimeter; dem gegenüber ist 1 qm hinreichend groß. Wie die Schattenbildung mit der Strahlbildung zusammenhängt, siehe im fünften Vortrag, 1. Abschnitt.

Bringen wir z. B. (siehe die in Fig. 48 dargestellte Anordnung) zwischen die Hertz'sche Schwingung und den Kohärer diesen großen Metallschirm von über 1 qm Fläche, so ertönt

die Klingel nicht; thut dies aber sofort, wenn wir den Metallschirm niederlegen. In einem **Gitter** aus parallel gespannten Metalldrähten (Fig. 49) haben wir einen Schirm, welcher gewissermaßen in der Längsrichtung der Drähte die Eigenschaft eines Metalls hat; in ihrer Richtung können durch die elektrische Kraft die beiden Elektrizitäten bis an die Drahtenden auseinandergetrieben werden. Bringe ich daher diesen Schirm zwischen Herzsche Schwingung und Rohörer, so daß die Richtung der Drähte parallel ist den Längsrichtungen jener beiden, so werden die elektrischen Wellen vollständig durch ihn abgehalten. (Versuch.)

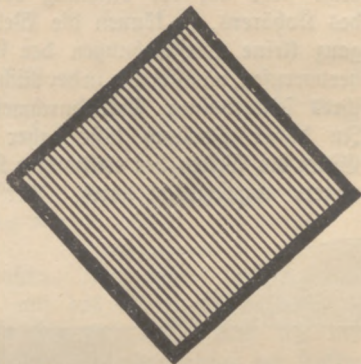


Fig. 49.

Diese Erklärung könnte jemanden nicht genügen, der etwa den Einwand machen wollte, daß ja doch ein erheblicher Teil der Wellen durch die Zwischenräume zwischen den Drähten hindurchgehen kann. Darauf ist zu erwidern: Wenn ein Wellenzug elektrischer Kraft von links her, wie in der Fig. 50 gezeichnet, ankommt, so würde bei der gewählten Stellung, wenn das Gitter wirkungslos wäre, rechts desselben bei weiterem Fortschreiten der Wellen zuerst eine Kraft auftreten, welche die positive Elektrizität nach unten, die negative nach oben zu treiben strebt. In den Gitterstäben äußert sich thatsächlich die Kraft in dieser Weise, und dadurch werden die Stäbe selbst sekundäre Herzsche Oscillatoren, die auch ihrerseits wiederum Wellen aussenden. Nun ist ersichtlich, daß in der gezeichneten Phase die von ihnen ausgesandte Kraft die positive Elektrizität nach oben, die negative nach unten zu treiben strebt; ihre Wirkung ist also derjenigen der hindurchgehenden direkten Kraftwelle entgegengesetzt und vernichtet dieselbe für ihren weiteren Verlauf. — Für den gedachten Beginn der elektrischen Strömung aus vorhergehendem unelektrischem Ruhezustand in den Gitterstäben gewinnen wir dasselbe Resultat auch, wenn wir die Induktion ins Auge fassen; die nach unten gerichtete Strömung der positiven Elektrizität induziert bei ihrem Entstehen im umgebenden Aether eine Kraft, welche eine nach oben gerichtete positive Strömung hervorzurufen strebt, also ebenfalls der Kraft der direkten Welle entgegengesetzt gerichtet ist. Auch so gelangen wir zum Resultat, daß die

primäre Welle und die von dem Gitter ausgehende sekundäre sich hinter demselben einander aufheben.

Drehe ich den Schirm aber jetzt um einen rechten Winkel in seiner eigenen Ebene, so daß die Drahtrichtung jetzt senkrecht steht auf der Richtung der Hertz'schen Schwingung und des Kohärens, so können die Wellen der elektrischen Kraft nur ganz kleine Verschiebungen der Elektrizitäten in den Drähten hervorrufen, nämlich nur in der Richtung ihres sehr kleinen Dikendurchmessers. In dieser Stellung läßt daher das Gitter die Wellen der elektrischen Kraft nahezu ungeschwächt durch. (Versuch.)

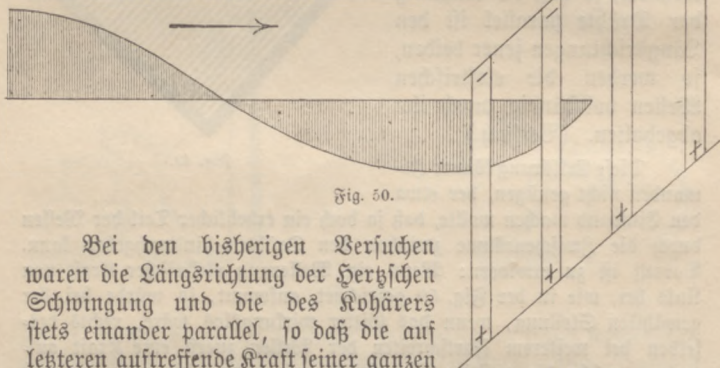


Fig. 50.

Bei den bisherigen Versuchen waren die Längsrichtung der Hertz'schen Schwingung und die des Kohärens stets einander parallel, so daß die auf letzteren auftreffende Kraft seiner ganzen Länge nach auf ihn wirken konnte.

Wenn die mit dem empfindlichen Metallpulver gefüllte Stelle dabei auch nur wenige Millimeter lang ist, wirken doch die auf beiden Seiten angebrachten Zuleitungen zu dieser Stelle als Auffänger der elektrischen Wellen, wenn deren Krafrichtung mit der Längsrichtung des gesamten Kohärerapparats übereinstimmt.

Jetzt stellen wir (Fig. 51) die Hertz'sche Schwingung vertikal, den Kohärer aber horizontal auf; die auf ihn auftreffende quer gerichtete Kraft ist nun wirkungslos. (Versuch.) Zwischen sie bringe ich nun wieder das Drahtgitter, zuerst mit vertikal gestellten Drähten: dann gehen die Wellen überhaupt nicht hindurch; sodann mit horizontaler Drahtrichtung: dann gehen die Wellen zwar hindurch, können aber wie zuvor auf den Kohärer nicht wirken, da die Krafrichtung senkrecht steht

auf seiner Länge. In beiden Fällen ändert das Gitter also nichts an dem Schweigen der Klingel. (Versuche.) Stellt man aber die **Gitterdrähte schräg** unter einem Winkel von 45° , also die Stellung wie in Fig. 49, so ertönt sie. (Versuch.)

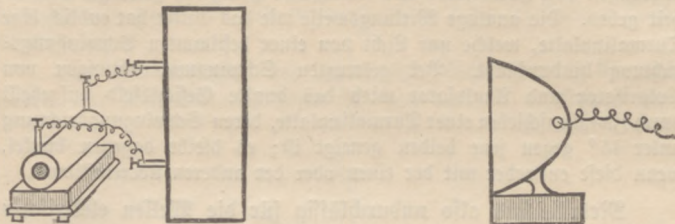


Fig. 51.

Dies erklärt sich folgendermaßen. Die von der Herzschen Schwingung SS ausgehende, auf das Gitter G auftreffende vertikal gerichtete Kraft (siehe Fig. 52) denkt man sich als Resultante nach dem Satz von dem Parallelogramm der Kräfte

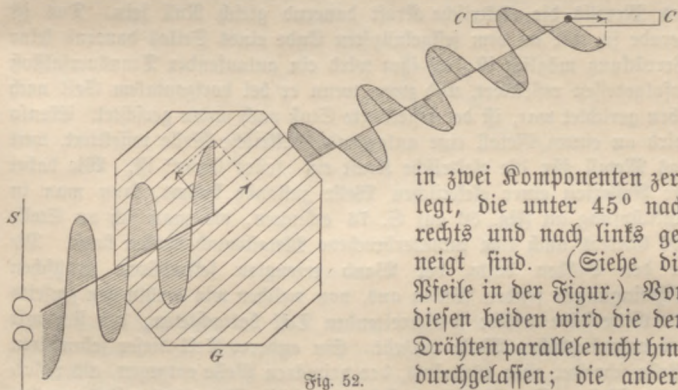


Fig. 52.

in zwei Komponenten zerlegt, die unter 45° nach rechts und nach links geneigt sind. (Siehe die Pfeile in der Figur.) Von diesen beiden wird die den Drähten parallele nicht hindurchgelassen; die andere aber geht hindurch. Auf

den Kohärer CC auftreffend ergibt die Welle eine nicht völlig quer gegen seine Längsrichtung gerichtete Kraft, sondern eine schräg unter 45° geneigte. Diese ergibt dann wiederum eine Komponente quer und eine längs des Kohäfers; erstere ist unwirksam, letztere aber wirkt, wie wir soeben sahen.

Die zuletzt beschriebenen Versuche erinnern jeden mit der Optik Vertrauten lebhaft an die Erscheinungen beim polarisierten Licht. An

Stelle der Hertz'schen Schwingung ist der Polarisator zu denken, aus welchem geradlinig polarisiertes Licht hervortritt. An Stelle des Rohrers tritt der Analysator, und an die der Klingel das lichtempfindliche Auge. Wir finden dann zunächst wieder, daß parallele Schwingungsrichtungen von Polarisator und Analysator Helligkeit, gekreuzte Dunkelheit geben. Die analoge Wirkungsweise wie das Gitter hat endlich eine Turmalinplatte, welche nur Licht von einer bestimmten Schwingungsrichtung hindurchläßt. Bei gekreuzten Schwingungsrichtungen von Polarisator und Analysator wird das dunkle Gesichtsfeld aufgehellt durch Zwischenschieben einer Turmalinplatte, deren Schwingungsrichtung unter 45° gegen jene beiden geneigt ist; es bleibt dagegen dunkel, wenn diese entweder mit der einen oder der anderen übereinstimmt.

Metalle sind also undurchlässig für die Wellen elektrischer Kraft. Gerade so wie nun die Metalle auch für Lichtwellen undurchlässig sind, aber die Lichtwellen reflektieren — denken Sie nur an unsere gewöhnlichen Spiegel, bei welchen der Metallbelag der Rückseite das Reflektierende ist — ebenso **reflektieren die Metalle auch die elektrischen Wellen.**

Wie oben auf S. 73/74 auseinandergesetzt, muß an der Oberfläche des Metalls die elektrische Kraft dauernd gleich Null sein. Das ist gerade so, wie an dem festgeknüpften Ende eines Seiles dauernd keine Berrückung möglich ist; an ihm wird ein anlaufender Transversalstoß insolgedessen reflektiert, und zwar wenn er bei horizontalem Seil nach oben gerichtet war, ist der reflektierte Stoß nach unten gerichtet. Ebenso wird an einem Metall eine anlaufende elektrische Welle reflektiert, weil das Metall für die elektrische Kraft ein „festes Ende“ ist. Wie dabei die Reflexion einer elektrischen Welle zustande kommt, kann man in der Anknüpfung an Fig. 50 auf S. 76 erkennen, wo man sich an Stelle des Gitters auch eine ununterbrochene Metallwand denken kann. Die in den Stäben bezw. der Wand erzeugten sekundären Hertz'schen Schwingungen senden Wellen aus, von welchen wir vorhin den jenseits der Gitterstäbe weiter fortschreitenden Teil betrachteten, der sich mit der ursprünglichen Welle aufhebt. Ein anderer Teil dieser sekundären Welle schreitet aber rückwärts, der primären Welle entgegen, als reflektierte Welle. So verhält es sich, wenn die Ebene des reflektierenden Gitters bezw. der Wand senkrecht steht auf der Richtung des Fortschritts der Wellen. Steht sie schräg zu derselben, so wird die Ableitung des Reflexionsgesetzes aus dem Prinzip von Huyghens besonders anschaulich für das Gitter. Es seien a, b, c . . (Fig. 53) die Querschnitte von dessen Stäben, die also senkrecht zur Papierebene zu denken sind. Gegen sie laufe ein Wellenbündel schräg an, so daß die erste elektrische Kraftwirkung in einem gewissen Augenblick bis zu der Front aa' vorgebrungen ist. Dann beginnt jetzt der Stab a sekun-

därer Oscillator zu werden und eine sekundäre Welle auszusenden. Successive geschieht bei weiterem Fortschritt der primären Welle dasselbe bei b , c u. s. f. In dem späteren Augenblick, in welchem die Front der primären Welle von a' bis f fortgeschritten ist, sind die von a u. s. w. ausgehenden Sekundärwellen bis zu den gezeichneten Kreisen fortgeschritten und setzen sich zu der Front $f'f$ der reflektierten Welle zusammen.

Von der Reflexion der elektrischen Wellen durch Metalle haben wir stillschweigend schon bei den vorigen Versuchen Ge-

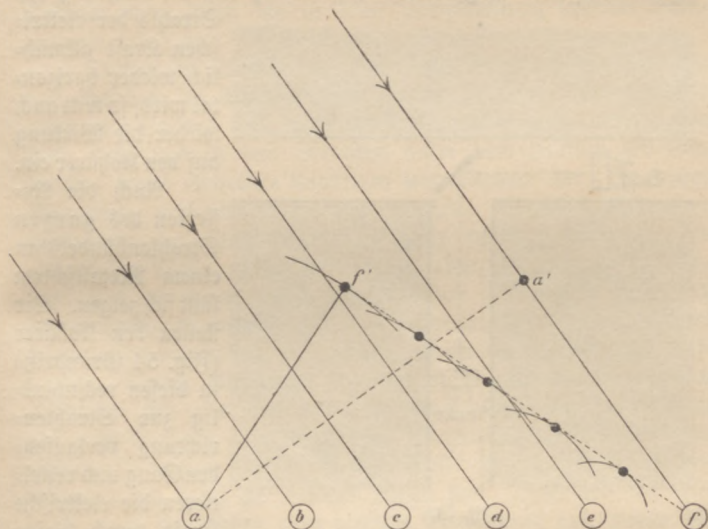


Fig. 53.

brauch gemacht; denn es sind, worauf ich Sie schon aufmerksam machte, sowohl die Hertz'sche Schwingung wie auch der Kohärer eingeschlossen in Hohlspiegel, welche den Lichtreflektoren in ihrer Form ganz ähnlich sind.*) Der Hohlspiegel, in welchem sich die erregende Schwingung befindet, reflektiert alle von ihr ausgehenden elektrischen Wellen in seiner Achsenrichtung, so daß in ihr ein verstärktes Bündel elektrischer Wellen, so zu sagen ein **Strahl** von elektrischer Kraft sich ausbreitet. Dieses

*) Es sind parabolisch gekrümmte Cylinderspiegel, in deren Brennlinien sich der Oscillator bezw. der Kohärer befinden.

ganze Bündel wird durch den Hohlspiegel, in welchem der Kohärer sich befindet, aufgefangen, und durch Reflexion in ihm konzentriert. Daß von der Hertzschen Schwingung infolge ihrer Anbringung in dem Reflektor in der That ein begrenzter Strahl elektrischer Kraft ausgeht, können wir leicht in folgender Weise zeigen. Ich kippe den sie enthaltenden Reflektor um, so daß seine Öffnung vertikal nach oben zeigt; dann trifft die Wirkung den Kohärer nicht, und die Glocke schweigt. Neige ich den Reflektor langsam wieder so weit, daß die Richtung des

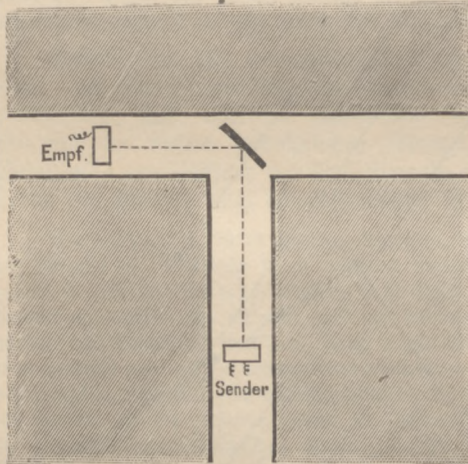


Fig. 54.

Strahls der elektrischen Kraft allmählich wieder horizontal wird, so tritt auch wieder die Wirkung auf den Kohärer ein.

Auch die Reflexion des ganzen Strahlenbündels an einem Metallschirm läßt sich zeigen. Wir stellen den Kohärer (Fig. 54 Grundriß) in diesen rechtwinklig zur Strahlenrichtung verlaufenden Gang und reflektieren die elektrische Kraft durch diesen

Metallschirm auf ihn. (Versuch.) Ohne den reflektierenden Schirm ist keine Wirkung vorhanden. (Versuch.) Die Reflexion können wir auch durch das Drahtgitter vornehmen; stehen seine Drähte wie die Richtung der Hertzschen Schwingung und des Kohäriers horizontal, so läßt es, wie wir wissen, keine Kraft durch, reflektiert sie aber (Versuch); stehen seine Drähte vertikal, so läßt es die Kraft hindurch und reflektiert sie nicht. (Versuch.)

In dieser Hinsicht ist ein wesentlicher Unterschied vorhanden in dem Verhalten des Gitters zu Hertzschen Wellen und einer Turmalinplatte zu geradlinig polarisierten Lichtwellen. Bei jenem werden nicht hindurchgehende Wellen reflektiert; von dieser in ihrem Inneren absorbiert.

Stellen wir, während übrigens alles unverändert bleibt, den Kohärer vertikal, so reagiert er auch nicht auf das am Gitter mit horizontalen Drähten reflektierte Strahlenbündel, analog dem auf S. 76/77 beschriebenen Versuche. Drehen wir nun aber das Gitter, so daß seine Drähte unter 45° gegen Horizontale und Vertikale geneigt sind, so findet wieder Wirkung auf den Kohärer statt, indem analog Fig. 52 zuerst am Gitter eine Komponentenzerlegung der ankommenden Welle stattfindet und die parallel den Drähten schwingende reflektiert wird; am Kohärer wird dann die in seine Längsrichtung fallende Komponente wirksam.

Treffen die Wellen der elektrischen Kraft auf ein Medium auf, welches die Elektrizität nicht wie die Metalle leitet, also etwa auf trocknes Holz oder Pech, so treten in diesen Medien auch nicht wie in den Metallen unter dem Einfluß der elektrischen Kraft elektrische Ladungen und Ströme auf. In dieser Beziehung verhalten sich diese Medien, die Nichtleiter oder Isolatoren der Elektrizität, also ganz wie der Luftraum; die elektrischen Wellen durchschreiten sie, ohne in ihnen in die Erscheinung zu treten. Sie durchschreiten sie insolgedessen auch im wesentlichen ungeschwächt, und ihre elektrisierende Wirkung wird wie immer erst aktuell, wenn sie auf Metalle auf treffen. Durch Nichtleiter des elektrischen Fluidums hindurch überträgt sich also die elektrische Kraft; durch die Leiter geht sie nicht hindurch. Aber in einer Beziehung unterscheiden sich andere Nichtleiter doch von der Luft: die Hertz'schen Wellen pflanzen sich durch sie weniger schnell fort. Insolgedessen tritt auch unter Umständen ganz dieselbe Erscheinung auf, welche die Lichtwellen zeigen, wenn sie aus der Luft eindringen in ein Medium, in welchem sie sich langsamer fortpflanzen, nämlich die **Brechung**. Diese wird beim Licht z. B. sichtbar, wenn wir einen Lichtstrahl auf ein Prisma von Glas fallen lassen; der Lichtstrahl wird beim Eintritt und beim Austritt aus dem Glasprisma aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, so daß er nach dem Durchgang durch das Prisma eine beträchtlich veränderte Richtung einschlägt. Ganz dasselbe geschieht auch mit einem Strahl Hertz'scher Wellen durch ein Prisma einer nichtleitenden Substanz, z. B. von Pech, wie es hier in Holzwände eingeschlossen ist. Bringen wir dasselbe in den uns bekannten Weg der elektrischen Wellen (Fig. 55 Aufriß), so muß der

Kohärer jetzt bedeutend tiefer gestellt werden, damit die Wellen nach der Brechung auf ihn aufstreifen. (Versuch.) Daß die wirksamen Wellen dabei ihren Weg in der That gerade durch das Prisma genommen haben, ist daraus ersichtlich, daß ich sie durch einen vor das Prisma gestellten Metallschirm abblenden kann. (Versuch.) Lege ich den Schirm nieder, so ist die Wirkung wieder da; fahre ich jetzt aber das Pechprisma beiseite, so treffen die Wellen den Kohärer nicht mehr, sondern gehen ungebrochen geradeaus über ihn weg. (Versuch.)

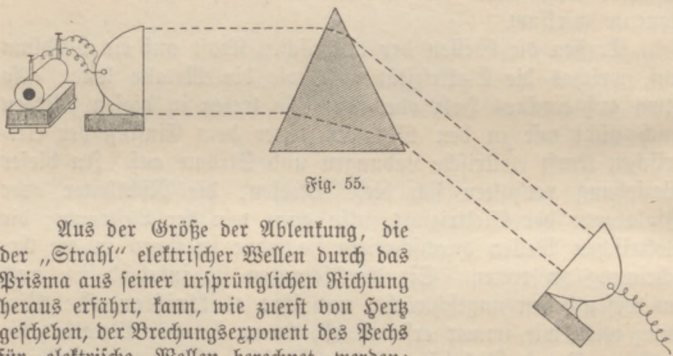


Fig. 55.

Aus der Größe der Ablenkung, die der „Strahl“ elektrischer Wellen durch das Prisma aus seiner ursprünglichen Richtung heraus erfährt, kann, wie zuerst von Herz gesehen, der Brechungsexponent des Pechs für elektrische Wellen berechnet werden; man findet dann einen Wert nahe demjenigen der pechartigen Substanzen für Lichtwellen. Indessen macht sich im allgemeinen hierbei die Verschiedenheit der Wellenlängen geltend. Der Brechungsexponent für Licht ist abhängig von der Wellenlänge, worauf ja die Dispersion, Farbenzerstreuung, beruht. In den Herzhigen Wellen haben wir gewissermaßen Lichtwellen von außerordentlich großer Wellenlänge. Es wird daher der Brechungsexponent der Herzhigen Wellen nur übereinstimmen mit demjenigen für ultra-ultravioletes Licht von sehr großer Wellenlänge; wie in der That vielfach bestätigt.

Auch **Interferenz** kann in verschiedenen Erscheinungsformen bei den Herzhigen Wellen nachgewiesen werden. Einer der einfachsten bezüglichen Versuche ist folgender von Volkmann angegebener. Das vom Sender S Fig. 56 ausgehende Strahlenbündel fällt nahezu senkrecht auf zwei nebeneinanderstehende Blechschirme B_1 und B_2 , deren jeder die Hälfte des Bündels nach dem Empfänger E hin reflektiert. So summieren sich die Wirkungen der beiden Spiegel B_1 und B_2 . Schiebt man aber nun den einen von ihnen B_2 zurück in die Stellung B_3 , so müssen die an ihm reflektierten Strahlen einen größeren Weg zurücklegen; wenn man ihn um ein Viertel Wellenlänge zurückschiebt, müssen

sie auf Hin- und Rückweg zusammen einen um eine halbe Wellenlänge größeren Weg zurücklegen, als die an dem anderen Schirm reflektierten, so daß nach der Reflexion bei der Ankunft am Kohärer ein Wellenthal der einen mit einem Wellenberg der anderen koinzidiert, und beide sich

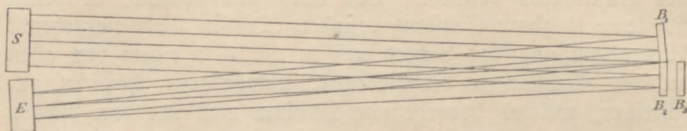


Fig. 56.

durch Interferenz vernichten. Sucht man, um wieviel man den einen Schirm zurückschieben muß, damit diese Vernichtung eintritt, so hat man in dieser Länge ein Viertel einer Wellenlänge in Luft, und da nun, wie auf S. 40 u. 48 auseinandergesetzt, auch die Dauer einer Schwingung direkter Messung zugänglich ist, kann man damit die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Herz'schen Wellen in Luft berechnen, und findet sie ebenfalls gleich derjenigen des Lichts.

3. Beziehung zu den Lichtwellen.

Bei der Vorführung aller dieser Versuche wird manchen von Ihnen schon die große Analogie aufgefallen sein zwischen den Versuchen mit den Herz'schen Wellen und allbekannten Versuchen, die wir mit dem **Licht** anstellen können. Wenn man nun noch bedenkt, daß auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Herz'schen Wellen in der Luft gleich ist derjenigen des Lichtes, so wird man gezwungen sein, sich die Frage vorzulegen, ob denn nicht bloß eine Analogie, sondern eine innere Verwandtschaft zwischen beiden besteht. Diese besteht in der That. Von dem Licht wissen wir, daß es ebenfalls eine Wellenbewegung ist; das geht hervor aus den bei ihm nachgewiesenen Erscheinungen der Interferenz. Man beobachtet nämlich, daß unter Umständen Licht zu Licht addiert nicht verstärktes Licht, sondern Dunkelheit giebt. Diese Thatsache läßt sich nur erklären durch die Annahme, daß in diesem Fall zwei Wellenbewegungen so zusammentreffen, daß ein Wellenberg der einen mit einem Wellenthal der anderen koinzidiert und umgekehrt, so daß die beiden sich gegenseitig vernichten. Das Licht ist also eine Wellenbewegung. Wir wissen ferner, daß das Licht sich fortpflanzt durch die Räume zwischen der Sonne und den

Planeten, durch die Räume zwischen den Fixsternen und der Erde, durch das sogenannte Toricellische Vakuum, welches sich in den geschlossenen Schenkeln der Barometerrohren oberhalb des Quecksilbers befindet. Das alles sind Räume, in denen sich keine wägbare Substanz befindet. Die in ihnen vorgehende Wellenbewegung des Lichtes müssen wir also einem von allen anderen Substanzen verschiedenen, unwägbaran Medium zuschreiben, welches hypothetische Medium man mit dem Namen **Äther** bezeichnet hat, ein der altgriechischen Philosophie entlehntes Wort.

In vorstehendem haben wir bereits auch das hypothetische Medium, welches wir als den Sitz der elektrischen Kräfte annahmen, Äther genannt. Von vornherein ist nicht gesagt, daß beide Medien identisch sind; aber es wird eine außerordentliche Vereinfachung sein, wenn wir dies annehmen dürfen. Es soll geschehen. Wir wissen ferner vom Licht aus den Erscheinungen der sogenannten Polarisation, daß in ihm von den beiden Arten von Wellenbewegungen, longitudinale und transversale, die letztere vorliegt. Das heißt nach der alten Vorstellung erleidet jedes einzelne Ätherteilchen bei der Lichtbewegung transversale Verschiebungen in einer Richtung, welche senkrecht steht auf der Richtung des Fortschreitens der Welle, gerade so wie bei den Herz'schen Wellen die Richtung der elektrischen Kraft senkrecht steht (in Fig. 44 auf S. 70 überall vertikal) auf der Richtung des Fortschreitens der Welle (von links nach rechts). Aber die alte Theorie ging zu weit, indem sie einfach annahm, daß die Ätherteilchen beim Licht mechanisch verschoben werden, und diese Verschiebungen es sind, welche sich wellenförmig ausbreiten. Wir können vielmehr mit Bestimmtheit nur sagen, daß an jedem einzelnen Ätherteilchen eine transversal gerichtete Zustandsänderung auftritt. Nichts hindert uns, von letzterer anzunehmen, daß sie identisch sei mit derjenigen, welche eine in derselben transversalen Richtung wirkende elektrische Kraft hervorruft. Machen wir also die Annahme, daß die Lichtwellen ebenfalls ihrem Wesen nach Herz'sche Wellen sind, so haben wir zwei Gruppen von Erscheinungen unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt vereinigt. Ein wesentlicher Unterschied existiert dabei zwischen den Herz'schen Wellen und denen des Lichtes. Jede Welle hat bei Herz eine Länge von etwa 1 m oder etwas weniger; Righi hat kleinste elektrische Wellen von etwa

nur Centimeterlänge hergestellt. Die Lichtwellen aber haben eine Wellenlänge von weniger als $\frac{1}{1000}$ mm; und aus diesem Unterschied erklärt sich auch die Verschiedenheit der Eigenschaften von Lichtwellen und elektrischen Wellen, soweit solche vorhanden sind, obwohl beide ihrem innersten Wesen nach dasselbe sind.

Eine weitere Frage drängt sich dann alsbald auf: wie werden beim Licht die Wellen erregt? Es muß da etwas Ähnliches vorhanden sein, wie eine Herzische Schwingung, von welcher die elektrischen Wellen ausgehen. Das ihr Analoge sind beim Licht die **schnellen Schwingungen der elektrisch geladenen Atome**, welche in den leuchtenden glühenden Körpern schnell hin- und heroscillierend jedes eine kleine Herzische Schwingung repräsentiert, von welcher diejenigen elektrischen Wellen ausgehen*), welche wir ihrer außerordentlichen Kleinheit wegen und der dadurch bedingten Fähigkeit, auf unser Auge zu wirken, als Lichtwellen bezeichnen.

4. Die Telegraphie ohne Draht.

Die Ausbreitung der elektrischen Kraft durch die freie Luft hat in den allerletzten Jahren eine sensationelle Anwendung gefunden in der **Marconischen Telegraphie ohne Draht**. Bei dieser handelt es sich indessen weniger um die Ausbreitung regelmäßiger Wellen von elektrischer Kraft, als um die von starken Stößen derselben, die sich zu jenen etwa verhalten, wie ein Kanonenschuß zu einem musikalischen Ton. Auch durch musikalische Töne kann man Signale geben, aber nicht auf sehr große Entfernung; mit Kanonendonner kommt man weiter. Ebenso kann man auch mit Herzischen Wellen ohne Draht, wie wir ja gesehen haben, von der erregenden Schwingung aus die Klingel am Kohärer in Thätigkeit setzen, und insofern hat Herz schon vollständig das Prinzip der Telegraphie ohne Draht gehabt. Marconis Verdienst besteht darin, einen sehr starken Erreger oder Sender benutzt und dessen Wirkung mit einem sehr empfindlichen Branly'schen Kohärer aufgefangen zu haben.

*) Hierüber ist näheres zu finden in den Arbeiten des Verfassers; u. a. Sitzung der Gesellschaft für Naturkunde zu Bonn vom 12. Januar 1891; Naturwissenschaftliche Rundschau, Jahrgang IX, S. 273, 1894.

Auf diese Weise konnte er die Wirkung der starken Stöße elektrischer Kraft auf viele Kilometer Entfernung verfolgen, wie sie sich durch die freie Luft ohne Drahtleitung fortpflanzt. Wir haben hier am anderen Ende des langen Korridors einen starken Erreger aufgestellt. Hier befindet sich im Hörsaal in der Verlängerung des Korridors ein empfindlicher Kohärer, welcher in die Leitung von galvanischen Elementen zu einem dort in der Ecke befindlichen Galvanometer eingeschaltet ist. Zunächst kann durch den Kohärer wegen seines großen Widerstandes kein Strom hindurchgehen. Sobald wir im Erreger die Funkenentladungen eintreten lassen, wird der Widerstand des Kohärens klein, der Strom der Elemente geht durch das Galvanometer, und der Lichtreflex, welcher bei stromlosem Zustande des Galvanometers eine bestimmte Ruhelage einnahm, wird jetzt zur Seite abgelenkt. (Versuch.) In dieser Weise kann man auch einen Morse'schen Schreibapparat in Thätigkeit setzen und mit ihm Buchstaben telegraphieren wie bei der gewöhnlichen Telegraphie. Das ist das Prinzip der Telegraphie ohne Draht. Schon jetzt ist sie nicht mehr von bloß theoretischem Interesse, wie folgender Vorfall beweist. Während eines dichten Nebels rannte am 28. April dieses Jahres ein von London kommender Dampfer gegen das East Goodwin-Leuchtschiff auf der Höhe von Ramsgate an. Das Leuchtschiff wurde schwer beschädigt und war dem Sinken nahe. Zum Glück befand sich der Sender eines Marconischen Apparates für drahtlose Telegraphie an Bord des Leuchtschiffes, welcher auf einen Empfänger in dem 18 km entfernten South Foreland-Leuchtschiff gerichtet war, so daß dieses von dem Unfalle in Kenntnis gesetzt werden konnte. Ein Gehülfe Marconis, der sich an Bord befand, war nicht wenig überrascht, die Lärmglocke zu hören. Sofort wurde nach Ramsgate gemeldet, dem sinkenden Schiffe Hilfe zu senden. Ein Schleppdampfer und ein Rettungsboot gingen so rasch als möglich nach der Unglücksstätte ab, und der raschen Hilfe ist die Rettung des Leuchtschiffes zu verdanken. So hat die drahtlose Telegraphie schon etwas Nützliches geleistet, denn ohne ihre Mitwirkung wäre das Leuchtschiff gesunken.

In einfacher Weise können Sie noch bei unserer Versuchsanordnung sehen, wie die elektrische Kraft durch Nichtleiter nahezu ungeschwächt hindurchgeht. Trockenes Holz ist ein Nicht-

leiter; wenn wir die beiden Thüren schließen, sowohl diejenige, welche das andere Korridorende abtrennt, wie die am Eingange vom Korridor in den Hörsaal, so sehen Sie, wie die Wirkung auch durch beide geschlossene Thüren hindurchgeht.

Mit solchen Stößen elektrischer Kraft würden wir dagegen vergeblich versuchen, wie mit regelmäßigen Wellen Schatten und Strahlbildung nachzuweisen.

5. Die Wellen magnetischer Kraft.

So wie nun nach den Auseinandersetzungen am Schlusse des vorigen Vortrages mit den stehenden elektrischen Wellen oder Oscillationen stets auch stehende magnetische Schwingungen verbunden sind, so auch mit den fortschreitenden elektrischen Wellen magnetische. Knoten und Bäuche giebt es bei fortschreitenden Wellen nicht, sondern fortschreitende Nullstellen, Wellenberge und -thäler. Welches ist deren gegenseitige Lage für die miteinander verbundenen elektrischen und magnetischen Wellen? Um dies zu erkennen, zeichnen wir uns zuerst

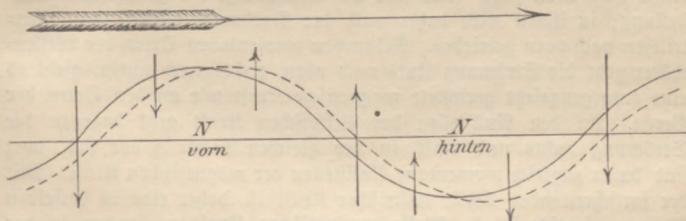


Fig. 57.

eine momentane Lage einer von links nach rechts fortschreitenden Welle elektrischer Kraft (Fig. 57), wo die von der Mittellinie aus nach oben gerichteten Ordinaten in den Wellenbergen eine die positive Elektrizität nach oben treibende Kraft bedeuten, die in den Wellenthälern nach unten gerichteten Ordinaten eine die $+$ Elektrizität nach unten treibende Kraft. Wie in Fig. 43 auf S. 69 gezeichnet, treiben diese Kräfte in den dort angenommenen kleinen Metallstücken positive Elektrizität wirklich in den betreffenden Richtungen, negative in der entgegengesetzten. Dasselbe tritt nun auch ein in jedem kleinsten Teilchen des Äthers, sei es des freien Äthers, sei es des Äthers im Innern eines Nichtleiters. Dies nennt man die im Äther unter dem Einflusse der betreffenden Kräfte eintretende elektrische Verschiebung, von welcher im

nächsten Vortrage, 3. Abschnitt, noch näher gesprochen werden soll. Die Kurve, welche die Welle der elektrischen Kraft graphisch darstellt, stellt daher auch die elektrische Verschiebung, oder genauer gesprochen die Verschiebung der positiven Elektrizität nach Richtung und Größe dar. Außer dieser einen, in der Fig. 57 ausgezogenen Kurve, welche den Zustand in einem gewissen Moment darstellt, zeichnen wir daneben noch gestrichelt die Kurve für die elektrischen Verschiebungen zu einem ein wenig späteren Moment. Die auf die Kurven aufgezeichneten Pfeile, welche jedesmal an der betreffenden Stelle von der ersten zur zweiten Phase der Verschiebungen gerichtet sind, geben daher die Änderung der Verschiebung an, oder sie geben an, in welcher Richtung sich die positive Elektrizität an der betreffenden Stelle in den kleinsten Theilchen des Äthers bewegt. Diese Bewegung ist aber gleichwertig einer Strömung. Wenn Strömungen eine Stelle umkreisen im Sinne der Uhrzeigerdrehung, so tritt dort eine magnetische Kraft auf, welche den Südmagnetismus nach vorn treibt; bei Umlaufung im umgekehrten Sinne sucht die magnetische Kraft den Nordmagnetismus nach vorn zu treiben; den entgegengesetzten Magnetismus jedesmal in der entgegengesetzten Richtung. Nun giebt es zwar bei den fortschreitenden Wellen keine Stellen, welche von den Verschiebungsströmen geradezu umkreist werden, aber doch Stellen, neben welchen die Strömung links nach unten, rechts nach oben geht. Das sind die Wellenberge der graphischen Darstellung; in ihnen wird daher auch der Nordmagnetismus der Äthertheilchen nach vorn getrieben. Neben den momentanen Orten der Wellenthäler geht die Strömung links nach oben, rechts nach unten, giebt es eine entgegengesetzt gerichtete magnetische Kraft wie an den Orten der Berge. An den Nullstellen der elektrischen Kraft geht dagegen die Strömung rechts und links in der gleichen Richtung vor sich, dort sind daher zugleich momentane Nullstellen der magnetischen Kraft. Mit der fortschreitenden Welle elektrischer Kraft ist daher eine in derselben Richtung fortschreitende **Welle magnetischer Kraft** verbunden in der Weise, daß die Nullstellen beider miteinander übereinstimmen. Die Richtungen der beiden Kräfte stehen senkrecht aufeinander. Als Richtung der elektrischen bezw. magnetischen Kraft schlechtweg soll die Richtung bezeichnet werden, in welcher positive Elektrizität bezw. Nordmagnetismus getrieben wird. Dann kann aus der Figur folgende Regel abgelesen werden: Wenn der ausgestreckte Zeigefinger der linken Hand die Fortpflanzungsrichtung der elektromagnetischen Welle angiebt, und der abgepreizte Daumen (Fig. 58) die Richtung der elektrischen Kraft an irgend einer Stelle der Welle, so giebt der eingeschlagene Mittelfinger die Richtung der magnetischen Kraft ebenda an.

Die Übereinstimmung der Nullstellen beider Kräfte gilt nur in hinreichender Entfernung vom Ursprungsorte der Wellen. In einem Herz'schen Oscillator selbst, bezw. in seiner unmittelbaren Umgebung

ist, wie auf S. 44 des vorigen Vortrags auseinandergesetzt, die elektrische Verschiebung ein Maximum, wenn die magnetische Kraft gleich Null ist, und umgekehrt. In welcher Weise dieses Verhältnis in weiterer Entfernung vom Oscillator in das vorhin auseinander-gesetzte übergeht, hat Herz in seiner Abhandlung über „die Kräfte elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie“ entwickelt.

Durch Reflexion an einer zur Fortpflanzungsrichtung senkrechten Metallwand und Interferenz der ankommenden und reflektierten Welle können **stehende elektro-magnetische Wellen** im freien Äther entstehen. Bei denselben liegen, analog den stehenden Wellen auf Drähten, die Knoten der elektrischen Kraft an den Stellen der Bäuche der magnetischen, und umgekehrt. Daß dies der Fall ist, kann man in Anknüpfung an das Vorige in folgender Weise erkennen. An einer Stelle gebe *A* (Fig. 59) die Krafrichtungen in der ankommenden Welle an, *E* die der elektrischen (nach vorn), *M* die der magnetischen (nach unten), und die Pfeilspitze die Richtung des Fortschreitens. An derselben Stelle

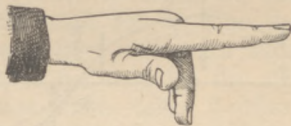


Fig. 58.

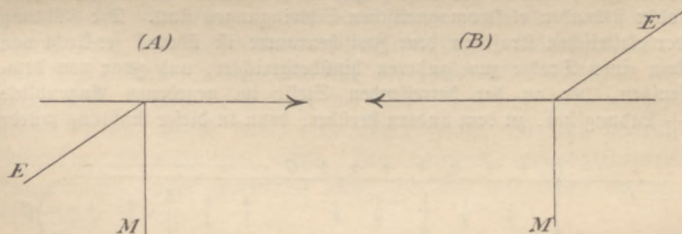


Fig. 59.

trifft dann auch gerade eine gewisse Phase der reflektierten Welle ein; diese sei durch (B) dargestellt und es werde angenommen, daß etwa die Richtung der elektrischen Kraft in ihr gerade entgegengesetzt (nach hinten) sei, wie in der ankommenden Welle. Dann folgt aus der Regel von Zeigefinger, Daumen und Mittelfinger der linken Hand, daß die Richtung der magnetischen Kraft dann übereinstimmt mit der in (A). Wenn also die elektrischen Kräfte an der betreffenden Stelle sich aufheben, verstärken sich die magnetischen, oder an der Stelle eines Knotens der elektrischen Kraft liegt ein Bauch der magnetischen, und umgekehrt.

Zu diesem Resultat kann man auch direkt gelangen durch eine Überlegung, welche der in Fig. 57 für fortschreitende Wellen darge-

stellen analog ist. In Fig. 59 a soll die ausgezogene Kurve die elektrischen Verschiebungen im Äther für einen gewissen Augenblick darstellen, und zwar bei einer stehenden Welle; die gestrichelte Kurve stelle wiederum die Verschiebungen für einen etwas späteren Moment dar. Dann geben die Pfeile wiederum die Richtung der Verschiebungsströme an, und durch die an Fig. 57 angeknüpfte Schlußweise folgt jetzt, daß bei den stehenden Wellen Knoten der elektrischen mit Bäuchen der magnetischen Kraft zusammenfallen.

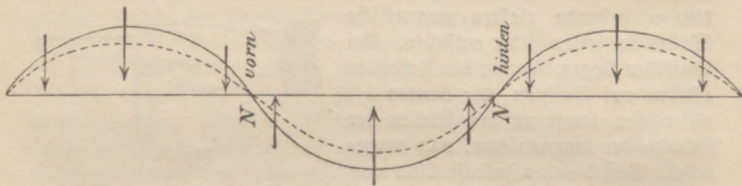


Fig. 59 a.

Zwischen den beiden Drähten der Fig. 37 auf S. 58 des vorigen Vortrages finden in der Luft (bezw. im Innern der Arons'schen Röhre) solche stehenden elektromagnetischen Schwingungen statt. Die Richtung der elektrischen Kraft in dem Zwischenraume ist überall senkrecht von dem einen Drahte zum anderen hinübergerichtet, und zwar von demjenigen, der an der betreffenden Stelle im gegebenen Augenblicke + Ladung hat, zu dem andern herüber; denn in dieser Richtung würde

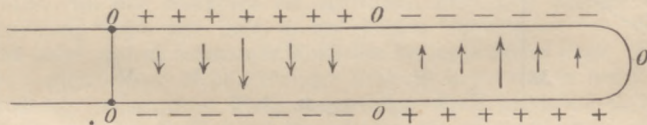


Fig. 60.

sich ja ein dorthin gebrachter positiver Pol bewegen. Die kleinen Pfeile in der Fig. 60 geben dies an, ihre Länge zugleich die momentane Stärke der elektrischen Kraft an der betreffenden Stelle. Wie in diesem Falle die stehenden magnetischen Schwingungen und ihre Lage auch aus den Strömungen der fiktiven elektrischen Fluida in den Drähten abgeleitet werden können, ist am Schlusse des vorigen Vortrages gezeigt worden. Jetzt gelangt man zu dem gleichen Resultat durch die an die Fig. 57—59 a angeknüpfte Überlegungen für die stehenden Wellen der Kräfte im freien Äther.

6. Die Schwingungsrichtung polarisierten Lichtes. *)

Von den Lichtschwingungen nahm man früher an, daß bei ihnen die einzelnen Ätherteilchen transversale Oscillationen ausführten unter dem Einflusse der **Elastizität**, wie die einzelnen Teilchen eines gespannten Seiles bei einer Seilwelle. Dies führte dann aber zu großen Schwierigkeiten in Bezug auf die Konstitution des Äthers. Einestheils sieht man, daß der Äther im Weltraum der Bewegung der Himmelskörper nur einen verschwindenden Widerstand entgegensetzt, so daß man sich ihn als eine Flüssigkeit oder ein Gas vorstellen müßte, dessen Teilchen außerordentlich leicht gegeneinander verschiebbar sind und einem anderen Körper ohne merklichen Widerstand ausweichen. Andererseits sind eben wegen dieser leichten Verschiebbarkeit ihrer Teilchen gegeneinander Gase und Flüssigkeiten nicht imstande, elastische Transversalwellen fortzuleiten, sondern nur Longitudinalwellen. Da aber nun die Lichtwellen unzweifelhaft transversale sind, bestand ein Widerspruch, der erst durch die Annahme seine Lösung fand, daß die Lichtwellen nicht elastische, sondern elektromagnetische sind. Welcherlei Art die Zustandsänderungen im Äther sind, welche die Ursache der elektrischen und magnetischen Kräfte bilden, bleibt dabei eine offene Frage; sie sind ähnlich elastischen Berrückungen bezw. den dadurch hervorgerufenen Spannungen, aber jedenfalls nicht identisch mit ihnen im gewöhnlichen Sinne.

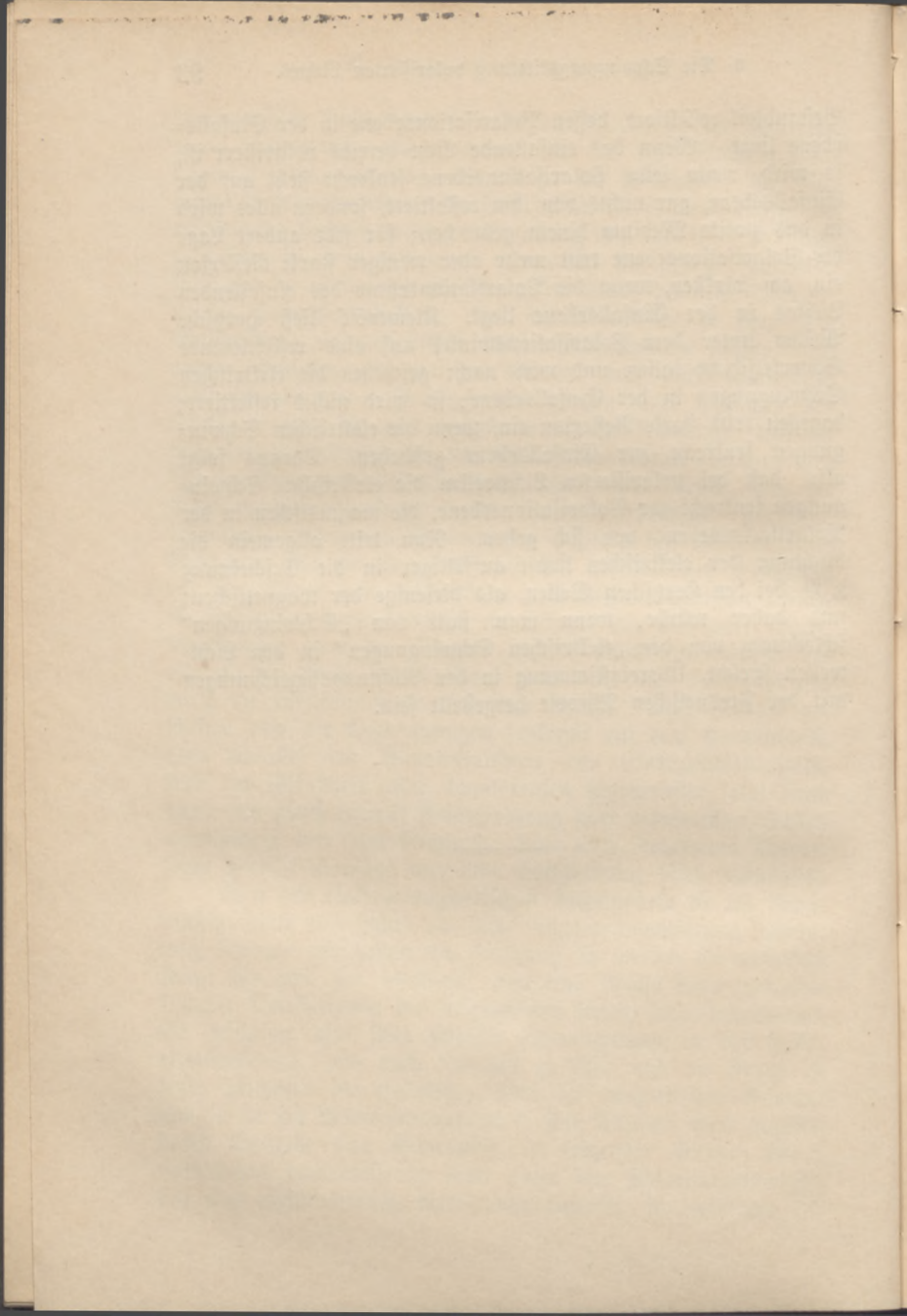
Was unter „Schwingungsrichtung“ der Ätherteilchen in geradlinig polarisiertem Lichte im Sinne der alten Theorie zu verstehen war, bedarf keiner besonderen Erläuterung. In Bezug auf die Bestimmung derselben für irgend einen konkreten Fall entstand dagegen eine Zweideutigkeit. Licht, welches an einer nichtmetallischen Fläche unter dem Polarisationswinkel reflektiert ist, ist geradlinig polarisiert; von ihm sagt man, daß die Einfallsebene seine **Polarisationsebene** sei. Das ist eine konventionelle Festsetzung; nachdem sie für diesen einen Fall getroffen ist, kann man die Lage der Polarisationssebene auch für andere Fälle angeben. Von allen auf einem reflektierten Strahle senkrechten,

*) Dieser Abschnitt ist versehentlich in großem Druck ausgeführt worden; er ist nur für fortgeschrittenere Verständnis bestimmt.

transversalen Richtungen sind bei dem Vorgange der Reflexion zwei geometrisch ausgezeichnet: die in der Einfall's (Polarisations-)ebene liegende und die zu ihr senkrechte. Aus einfachen Symmetriegründen müßten daher die Schwingungen des reflektierten Lichtes, welche nachweislich nur in einer Richtung geschehen, in einer von jenen beiden vor sich gehen. Entweder fällt also die Schwingungsrichtung (im Sinne der alten Theorie) in die Polarisationsebene, oder sie ist senkrecht zu ihr. Die Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten müßte durch andere Erscheinungen geliefert werden, war aber thatsächlich nicht beizubringen. Infolgedessen blieben zwei Theorien der Optik möglich, die eine aufgebaut auf die Annahme, daß die Schwingungsrichtung mit der Polarisationsebene übereinstimme (Franz **Neumann** und Kirchhoff); die andere darauf, daß die Schwingungen senkrecht zur Polarisationsebene geschehen (**Fresnel**). Fresnel's Theorie war insofern der Neumann'schen überlegen, als sie zu einer einfachen anschaulichen Erklärung des Verhaltens von ordentlichen und außerordentlichen Wellen in Krystallen, speziell optisch einachsigen, wie Kalkspat, führte. Unabhängig von der Theorie ist die Polarisationsebene der ordentlichen Welle im Kalkspat stets die eines Hauptschnittes durch die Wellennormale oder den Strahl. Nach Fresnel geschehen also die Schwingungen senkrecht auf dem Hauptschnitt, oder parallel der Äquatorialebene des Elastizitätsellipsoids. Aus der Gleichheit aller äquatorealen Durchmesser folgt dann direkt die gleich schnelle Fortpflanzung aller ordentlichen Wellen unabhängig von ihrer Richtung. Aber auch Neumann's Theorie hatte gewisse Vorzüge und eine Entscheidung blieb unmöglich.

Nach der **elektro-magnetischen Lichttheorie** ist die Frage müßig; denn wir haben gar keine Schwingungsrichtung schiefweg, sondern wir haben eine Richtung, in welcher die elektrische Kraft hin und her oscilliert, und eine zweite dazu senkrechte für die Oscillationen der magnetischen Kraft, beide transversal. Es geschehen also stets sowohl Schwingungen in der Polarisationsebene, als auch senkrecht zu ihr, und die Frage ist jetzt: geschehen die elektrischen oder die magnetischen Schwingungen in der Polarisationsebene? Die Antwort wird gegeben durch Versuche von **Klemenčič** in folgender Weise. Wenn natürliches unpolarisiertes Licht unter dem Polarisationswinkel auf eine nichtmetallische Grenzfläche auftrifft, so wird nur der

Bestandteil reflektiert, dessen Polarisationssebene in der Einfallsebene liegt. Wenn das einfallende Licht bereits polarisiert ist, so wird, wenn seine Polarisationssebene senkrecht steht auf der Einfallsebene, gar nichts von ihm reflektiert, sondern alles wird in das zweite Medium hinein gebrochen; für jede andere Lage der Polarisationssebene tritt mehr oder weniger starke Reflexion ein, am stärksten, wenn die Polarisationssebene des einfallenden Lichtes in der Einfallsebene liegt. Klemenčič ließ Herz'sche Wellen unter dem Polarisationswinkel auf eine reflektierende Schwefelschicht fallen und wies nach: geschehen die elektrischen Schwingungen in der Einfallsebene, so wird nichts reflektiert; dagegen tritt starke Reflexion ein, wenn die elektrischen Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene geschehen. Daraus folgt also, daß bei polarisierten Lichtwellen die elektrischen Schwingungen senkrecht zur Polarisationssebene, die magnetischen in der Polarisationssebene vor sich gehen. Nun tritt allgemein die Richtung der elektrischen Kraft auffälliger in die Erscheinung z. B. bei den Herz'schen Wellen, als diejenige der magnetischen; und daher würde, wenn man statt von „Schwingungen“ schlechtweg von den „elektrischen Schwingungen“ in den Lichtwellen spricht, Übereinstimmung in den Richtungsbezeichnungen mit der Fresnel'schen Theorie hergestellt sein.



IV.

Die Kraftlinien Faradays und seine Anschauungen
über das Wesen der elektrischen und magnetischen
Erscheinungen. — Die Tesla=Ströme.

Nach einem Vortrag im Greifswalder Ferienkurs vom Jahre 1898.

IV.

Die westliche Sprache und ihre Ausdrücke
über das Leben der christlichen und muslimischen
Völker. — Die erste Sprache.

Das erste Wort in der westlichen Sprache ist das Wort: Gott.

1. Fernwirkung oder Übertragung?

Gegen Ende des vorigen und zu Anfang dieses Jahrhunderts war in der Physik die Anschauung die herrschende geworden, daß die elektrischen Erscheinungen zu erklären seien durch die Annahme zweier imponderablen Fluida, der positiven und der negativen Elektrizität, welche untereinander anziehende bezw. abstoßende Kräfte ausübten. Von diesen Kräften nahm man, wie von den analogen Kräften der Gravitation und des Magnetismus an, daß sie unmittelbare **Fernwirkungen** seien, bei welchen das Zwischenmedium keine oder nur nebensächliche Bedeutung habe. Es sollte also nach dieser Anschauung eine Elektrizitätsmenge A auf eine andere B ihre Wirkung ausüben, allein wegen ihrer beiderseitigen Existenz, ohne daß für das Zustandekommen dieser Wirkung eine bestimmte physikalische Verbindung zwischen A und B erforderlich war. Das bloße räumliche Nebeneinandersein, ohne physikalische Beziehung, sollte genügen zum hervorrufen einer physikalischen Wirkung, der elektrischen Kraft. Daß dies eine mit der Äquivalenz von Ursache und Wirkung kaum zu vereinbarende Annahme war, übersah man vollständig.

Faraday war der erste, der die Vorstellung ausbildete und durcharbeitete, daß die elektrischen und magnetischen Kräfte verursacht seien durch eine gewisse, ihrem Wesen nach unbekanntes Zustandsänderung im „Äther“, dem hypothetischen Medium, welches überall, alle Körper durchdringend, angenommen werden muß; eine Zustandsänderung, die man sich wie eine elastische Spannung oder Zusammendrückung vorstellen kann. Die Körper, welche wir elektrisch geladen nennen, wären nach Faraday Ausgangsstellen der Spannungen im Äther. Es giebt zwei verschiedene Arten solcher Zustandsänderungen im Äther; diejenigen, welche die elektrischen Erscheinungen hervorrufen, und diejenigen, welche die magnetischen hervorrufen. Beide müssen übrigens,

wie der Elektromagnetismus und die Magneto-Induktion zeigen, in einer bestimmten Beziehung zueinander stehen.

Wenn man die Analogie des Äthers mit einem elastischen Medium beibehält, so können in einem solchen in der That an jeder Stelle zweierlei Zustandsänderungen gegenüber dem Zustande der Ruhe und der Spannungslosigkeit existieren. Nämlich erstens Spannungen hervorgerufen durch Deformationen aus dem Normalzustande, welche aber einmal hervorgerufen ungeändert weiter erhalten werden können wie bei einer gespannten Feder, ohne daß daneben Bewegungen stattfinden; zweitens Bewegungen der kleinsten Theilchen, wie Oscillationen oder Rotationen. Ersteren entspricht eine gewisse Spannkraft, letzteren eine gewisse lebendige Kraft. In der Maxwell'schen Theorie werden die einen als Ursache der elektrischen, die anderen als diejenige der magnetischen Erscheinungen angenommen. Der Zusammenhang, der beim Äther zwischen den Bewegungen und den Spannungen angenommen werden muß, ist ein ganz anderer als bei allen sonstigen elastischen Medien. Aber man kann doch mechanische Modelle konstruieren, welche den für den Äther anzunehmenden Zusammenhang versinnbildlichen.

2. Allgemeines über Kraftlinien.

Für die von magnetischen Polen ausgehenden Spannungen giebt es eine einfache experimentelle Veranschaulichung. Man bedeckt einen Magneten mit einem Blatt Papier und sibt feine Eisenfeilspäne darauf; klopft man dann leise auf das Papier, so ordnen sich die Feilspäne in krummen Linien an, welche von den Magnetpolen ausgehen; und nach Faraday stellen wir uns vor, daß eben die magnetischen Spannungen im Äther den Feilspänen diese Anordnung in Spannungslinien oder magnetischen **Kraftlinien** erteilen. Von ihrem elektrischen oder magnetischen Ursprungsorte aus schreiten die Spannungen längs solcher Kraftlinien durch den ganzen Äther fort und geben ein anschauliches Bild von dem veränderten Zustande desselben. Gerade letzteren erklärte Faraday für das Wesentliche der elektrischen und magnetischen Erscheinungen.

Wir wollen uns einige solche Kraftliniensysteme einmal genauer ansehen. Fig. 61 zeigt die von einem einzelnen Pole ausgehenden, Fig. 62 die zwischen zwei ungleichnamigen, Fig. 63 die zwischen zwei gleichnamigen Polen entstehenden Kraftlinien. *)

*) Letztere und Fig. 64 ist nach einer Röntgenstrahlen-Photographie angefertigt, siehe Abschnitt 4 des folgenden Vortrags.

In dem Bilde der Fluida sagt man: Jedes Spänchen des Eisenfeilichts wird durch die von den vorhandenen Polen ausgeübte Influenz selbst ein kleiner Magnet, von denen sich einer mit seinem Nordpol immer an den Südpol des anderen anhängt, so daß sie in dieser Weise sich zu zusammenhängenden Linien aneinander lagern. Ist der eine Pol der Fig. 61 ein Nordpol, so kehren alle Späne ihm ihr Südbende zu, ihr Nordbende von ihm ab, und sich aneinanderhängend bilden sie so die von dem Pol nach allen Seiten gleichmäßig ausgehenden Strahlen. Bei zwei ungleichnamigen Polen, Fig. 62, sucht sich jeder magnetisch gewordene Span möglichst mit dem Nordbende dem Südpol, mit seinem Südbende dem Nordpol zuzuwenden. Zwischen den beiden Polen stellen sie sich daher mit ihren Achsen in die Richtung der Verbindungslinie derselben ein; und mit dieser parallel an allen Punkten der zu der Verbindungslinie der Pole senkrechten

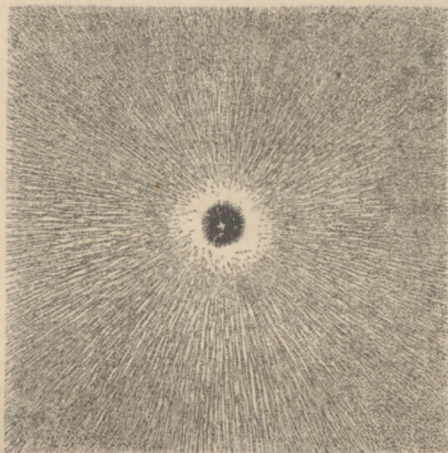


Fig. 61.

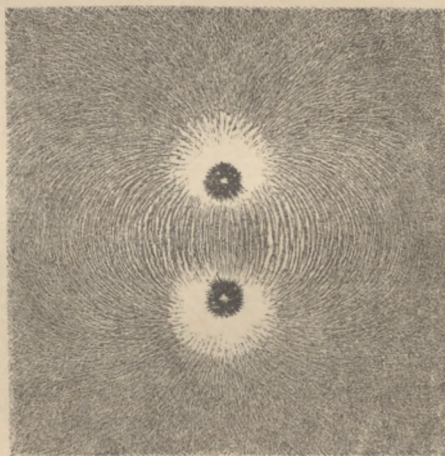


Fig. 62.

Mittellinie, deren Punkte alle von beiden Polen gleichweit entfernt sind, analog dem im vorigen Vortrag auf S. 65 erwähnten und durch Fig. 41 dargestellten Versuche. An allen

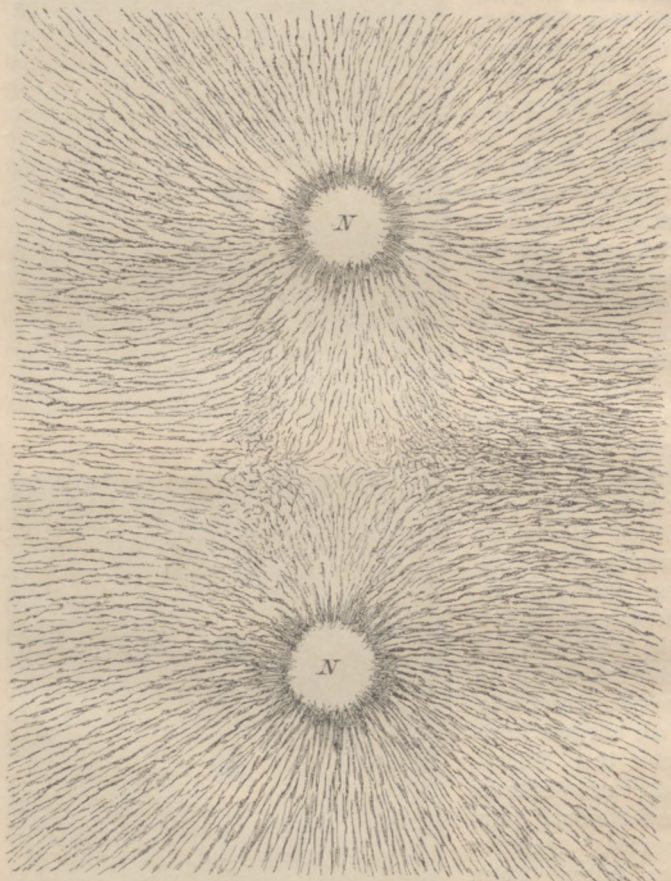


Fig. 63.

anderen Stellen überwiegt der richtende Einfluß des näher befindlichen Poles, und zwar um so mehr je weiter man von jener Mittellinie abgeht, woraus sich die gezeichnete Gestalt

der Kraftlinien ergibt. — Bei zwei gleichnamigen Polen (Nordpolen), Fig. 63, ziehen an den Südpolen der Theilchen auf der Verbindungslinie beide Nordpole nach genau entgegengesetzten Richtungen, der nähere stärker, so daß das Zusammenwirken beider Pole auf diese Theilchen so ist, als ob der nähere allein mit dem Ueberschuß seiner Kraft zöge; die Theilchen auf der Verbindungslinie werden sich daher auch hier mit ihren Achsen in deren Richtung selbst einstellen. Die Späne auf der oben definierten Mittellinie werden von beiden Nordpolen in genau gleicher Weise beeinflusst, und verhalten sich daher gerade so, als ob statt der beiden in der Mitte zwischen ihnen ein Nordpol vorhanden wäre, das heißt: sie stellen sich alle mit ihrer Achse in die Richtung der Mittellinie selbst ein. Späne, welche sich einem Pol näher befinden als dem anderen, folgen der Wirkung des näheren mehr als der des entfernteren; daraus versteht man den in der Fig. 63 abgebildeten Verlauf der Kraftlinien. — Allemal giebt die durch irgend einen Punkt hindurchgehende Kraftlinie an der betreffenden Stelle die Richtung an, in welcher sich dort eine Magnetnadel einstellt, oder auch die Richtung, in welcher sich ein dorthin gebrachter einzelner isolirter kleiner Pol in Bewegung setzen würde, ein Nordpol in dem einen, ein Südpol im entgegengesetzten Sinne.

Im Sinne Faradays geben die Kraftlinien die **Spannungslinien** im Äther an. Man denke sich an Stelle jeder Kraftlinie einen gespannten Kautschukfaden, die Enden eines jeden entweder an der Stelle eines Poles festgeknüpft, oder weit außerhalb der Zeichnung an einem überaus weit entfernten Rahmen. Dann sieht man, daß der eine Pol in der Fig. 61 in Ruhe bleibt, weil die Fäden ihn alle gleichmäßig nach allen Richtungen hinziehen. In Fig. 62 laufen alle gespannten Fäden von dem einen Pol zum anderen, ziehen also die beiden auseinander zu. In Fig. 63 geht kein Faden von einem Pol zum anderen, alle Fäden sind mit je einem Ende an dem gedachten Rahmen befestigt; von dem oberen Pol gehen keine Fäden aus, welche am unteren Rande des Rahmens befestigt wären, und umgekehrt von dem unteren Pol keine am oberen Rande des Rahmens befestigten. Es überwiegen an Anzahl die vom oberen nach oben gehenden und die vom unteren nach unten gehenden, so daß die beiden Pole auseinandergezogen werden. Statt der gedachten Kautschukfäden sind im Äther wirklich

Spannungen längs der Kraftlinien vorhanden, welche die Polestellen zueinander hin- oder voneinander wegziehen; die letzteren sind also nicht das selbständig Aktive dabei, sondern das Passive.

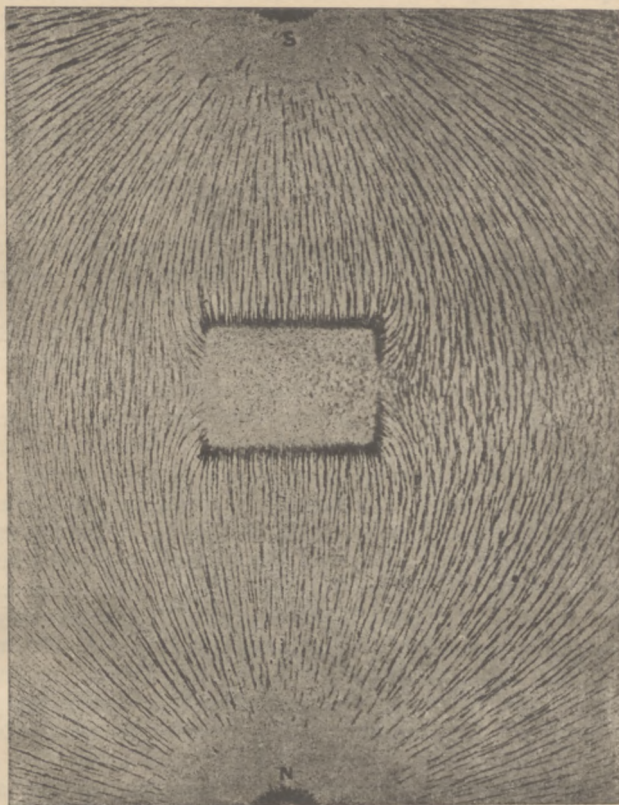


Fig. 64.

Von anderen Fällen magnetischer Kraftlinien sei noch erinnert an die Fig. 3, an welche wir auf Seite 9 die Schlussfolgerung anknüpften, daß man sich die beiden Pole eines Stabmagneten in einem Abstände von etwa $\frac{5}{6}$ seiner ganzen Länge zu denken hat. Endlich ist in Fig. 64 noch der Verlauf der

Kraftlinien dargestellt, wenn zwischen zwei entgegengesetzten Polen sich ein Stück **weiches Eisen** befindet, **statt** nur **Luft**, wie in Fig. 62. Eisen ist weit leichter magnetisierbar als Luft; es nimmt infolgedessen mehr Kraftlinien in sich auf, als der gleiche Raum, wenn sich dort Luft befindet. Man sieht in Fig. 64, wie die Kraftlinien von allen Seiten her in das weiche Eisenstück hineinbiegen. Sie biegen auch von oben her, von der Fläche des Papiers, auf welchem die Feilspäne liegen, in das Innere des Eisens hinein, so daß in der Figur die Stelle oberhalb desselben von Kraftlinien entblößt erscheinen muß. Wir werden noch auf das elektrische Analogon zu diesem Verhalten des weichen Eisens gegenüber den Kraftlinien eingehender zurückkommen.

Genau in derselben Weise, wie für magnetische Pole, gestalten sich für elektrische Pole die elektrischen Kraftlinien, nur daß man diese nicht in so anschaulicher Weise demonstrieren kann. Komplizierteren Verlauf haben die magnetischen Kraftlinien, welche von elektrischen Strömen, und die elektrischen Kraftlinien, welche von sich verändernden oder bewegten Magneten verursacht werden; aber gerade diese Fälle, von deren einem wir noch später (S. 113) näher sprechen werden, sind auch von besonderer Wichtigkeit. Mit einer bewunderungswürdigen geometrischen Vorstellungskraft hat Faraday den Verlauf der Kraftlinien selbst für solche und noch verwickeltere Fälle anschaulich dargestellt, und abgeleitet, welche Erscheinungen sich aus den Ätherspannungen ergeben müssen. Eine selbstverständliche Konsequenz seiner Anschauungen ist die, daß die an irgend einer Stelle vorhandenen elektrischen und magnetischen Kräfte vollständig bestimmt sind durch die dort im Äther zu dem betrachteten Augenblick gerade vorhandenen Spannungen und Bewegungen, einerlei welche elektrischen Ladungen oder Magnetpole ihrerseits als die Ausgangspunkte der Spannungen gedacht werden können.

Andererseits verliert aber auch in diesen Faradayschen Anschauungen der Begriff von **Ladung** und **Pol** durchaus nicht jede Bedeutung. Vielmehr müssen wir uns folgende Vorstellung bilden: Zwar sind das wirklich Existierende bei den elektrischen und magnetischen Vorgängen allein die Spannungen und Bewegungen im Äther; aber die Körper, von welchen aus die Kraftlinien nach allen Richtungen hin divergieren, oder zu

welchen hin sie aus dem Äther konvergieren, verhalten sich ganz so, als ob sie mit einem der beiden imponderablen, fingierten Fluida geladen seien, welchem dann weiterhin alle die Eigenschaften zuzuschreiben wären, welche man früher den als real existierend angenommenen Elektrizitäten bezw. dem Magnetismus zuschrieb. Diese alte Theorie verliert also keineswegs jegliche Bedeutung; nur muß man bei ihrer Anwendung sich bewußt bleiben, daß die Annahme der Fluida nur ein Bild ist. Außerdem versagt dieses Bild in allen Fällen, in welchen man nicht bloß die Körper betrachtet, zu welchen hin die Spannungslinien konvergieren oder von welchen sie divergieren, sondern auch das Verhalten solcher Stellen des Äthers in Betracht zieht, welche außerhalb der Konvergenzstellen liegen.

Dies kann ich Ihnen an einem Ihnen aus dem vorigen Vortrag bekannten Falle sehr deutlich zum Bewußtsein bringen. Nehmen wir an, eine Herzsche Schwingung komme, nachdem sie zehn Wellen ausgesendet hat, zur Ruhe. Dann schreiten die zehn Wellen weiter fort, obwohl die Ladungen und Ströme in der Herzschen Schwingung von diesem Augenblick an verschwunden sind. Wenn dann die vorderste der Wellen auch erst nach längerer Zeit einen Metallkörper erreicht, in welchem sie ihre Wirkung äußern kann, so haben wir in der Zwischenzeit weder in der Herzschen Schwingung Ladungen und Ströme, noch sind solche in irgend einem Metallkörper in ihrer Umgebung bereits durch sie hervorgerufen, sondern nur zwischen beiden laufen die zehn Wellen elektrischer Kraft im Äther, welche wir uns als in ihm vorhandene Zustandsänderungen von abwechselnder Richtung vorstellen können. Dagegen bietet andererseits das Bild der elektrischen Fluida in vielen anderen Fällen große Vorteile für die Anschauung und die einfachste Möglichkeit der Beschreibung der Thatfachen. Deshalb ist auch in den früheren Vorträgen von diesem Bilde stets Gebrauch gemacht worden, und man bedient sich seiner auch in der wissenschaftlichen Forschung, z. B. bei den Versuchen, die Kräfte, welche die Atome zusammenhalten, auf elektrische Ladungen der Atome zurückzuführen.*) Es beruht auf Mißverständnis, hierin einen Widerspruch gegen die modernen Anschauungen erblicken zu wollen.

*) Vgl. die Anmerkung auf S. 85.

Die geometrischen Vorstellungen Faradays von den Kraftlinien sind von **Maxwell** mathematisch scharf formuliert worden, und welche Fülle von Intuition in Faradays Anschauungen lag, beweist der Umstand, daß die Maxwell'sche Theorie in der Hand ihres Schöpfers und seiner Nachfolger eine Reihe von Entwicklungsstufen durchmachte, ehe sie alle Vorstellungen Faradays vollständig mathematisch wiedergab. Wie alle mathematischen Formulierungen physikalischer Anschauungen gab nun aber auch die Maxwell'sche Theorie neue Konsequenzen der Grundhypothesen, neue Zusammenhänge bereits bekannter Erscheinungen, und die Voraussage neuer, bis dahin nicht bekannter Phänomene; alle haben sich bisher aufs glänzendste bestätigt.

3. Verhalten des Äthers in verschiedenen Nichtleitern. Dielektrizitäts-Konstante.

Es liegt nahe, zu vermuten, daß der Äther in verschiedenen Substanzen in verschiedenem Zustande vorhanden sei, so daß auch die elektrischen Kraftlinien den Äther in verschiedenen Substanzen mit verschiedener Leichtigkeit durchsetzen. Etwas Ähnliches wissen wir schon für die magnetischen Kraftlinien, deren Verlauf in Fig. 64 zeigte, daß sie weiches Eisen in größerer Zahl durchsetzen als einen gleich großen Lustraum. Solche Verschiedenheiten existieren nun auch für die elektrischen Kraftlinien, und wir können sie vergleichen mit einer verschiedenen **elastischen Nachgiebigkeit** des Äthers in verschiedenen Körpern. Je nachgiebiger der Äther in einem bestimmten Körper ist, um so stärkere elastische Dehnungen können die Kraftlinien in ihm hervorrufen, um so dichter können sich auch die Dehnungslinien in ihm zusammenscharen. Pech und Hartgummi sind z. B. Substanzen, welche die elektrischen Kraftlinien in größerer Dichtigkeit aufnehmen als Luft; der Äther in ihnen bietet gewissermaßen den Spannungslinien einen bequemeren Weg als in Luft. Faraday hat alle die Substanzen, welche die elektrischen Spannungen im Äther von einem Ort zum anderen übertragen, **Dielektrika** genannt, weil durch sie hindurch eben elektrische Kraftlinien sich hinziehen können. Das Maß der elastischen Nachgiebigkeit des Äthers in einer Substanz nannte er Dielektrizitätskonstante; Pech und Hartgummi haben

also nach obigen Auseinandersetzungen eine größere Dielektrizitätskonstante als Luft, was ganz analog ist der Eigenschaft weichen Eisens, stärker magnetisierbar zu sein als Luft. Dielektrika sind diejenigen Substanzen, welche man sonst wegen ihres Unvermögens, die fiktiven elektrischen Fluida zu leiten, Nichtleiter oder Isolatoren nennt. Wir haben sie aber schon einmal unter dem neuen Gesichtspunkte betrachtet, daß sie die elektrischen Kräfte übertragen, nämlich als wir auf S. 81 erkannten, daß die Herzschen Wellen durch sie hindurchgehen.

Ein Dielektrikum ist zwar als ganzes ein Nichtleiter der elektrischen Fluida, so daß die Elektrizität in ihm nicht von einem Ende einer ausgedehnten Masse zum anderen strömen kann. Aber jede einzelne Molekel in sich ist als kleiner Leiter zu denken, so daß unter dem Einflusse einer elektrischen Kraft in jeder Molekel durch Influxion sich positive Elektrizität in der Krafrichtung hin bewegt, negative in entgegengesetzter Richtung. Auch in jedem kleinsten Teilchen des freien Äthers findet diese Influxionierung unter dem Einflusse elektrischer Kräfte statt; es ist dies die **elektrische Verschiebung**, welche bereits auf S. 87 des vorigen Vortrages erwähnt wurde. Man kann sich vorstellen, daß in jedem kleinsten Teilchen ursprünglich eine gewisse positive und eine gleiche negative Ladung am selben Punkte miteinander verbunden sich neutralisieren. Wirkt eine äußere elektrische Kraft auf sie, so zieht diese sie auseinander, entgegen einer gewissen elastischen Spannung, die sie wieder zu vereinigen sucht. Sie werden um so weiter auseinandergezogen, je größer die wirkende Kraft ist, und je größer die Nachgiebigkeit ihrer elastischen Verbindung, d. h. je größer die Dielektrizitätskonstante des betreffenden Mediums ist. Der so entstehende Zustand des Dielektrikums wird nach Faraday die **dielektrische Polarisation** genannt. Während also ein geladener Kondensator in der Vorstellung der alten Theorie durch folgendes Schema dargestellt würde:

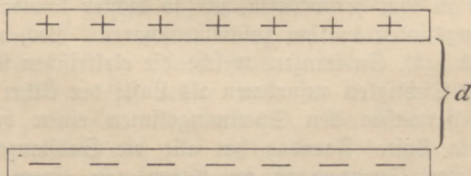


Fig. 65.

ist mit Berücksichtigung der dielektrischen Polarisation zu zeichnen (wo zur Vereinfachung nur eine Schicht von Molekeln gedacht ist):

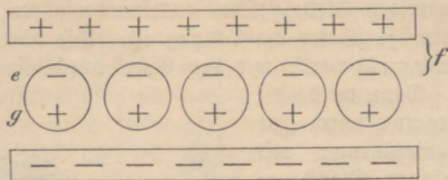


Fig. 66.

[Die vollständig konsequente Durchführung des neuen Standpunktes siehe bei Herz in der Einleitung zu den gesammelten Abhandlungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft; S. 28, Fig. 5; wie dort bemerkt, kann man ohne weiteres von dem Standpunkt unserer Darstellung zu jenem völlig konsequenten übergehen.]

Quantitativ würden die beiden Figg. 65 und 66 auch den Unterschied darstellen, den ich erhalte, wenn zwischen den beiden Kondensatorplatten in Fig. 65 etwa Luft, also ein schwächer, in Fig. 66 ein stärker dielektrisch polarisierbares Medium vorhanden ist; es ist gerade so als ob zu dem bei Fig. 65 vorhandenen, nicht gezeichneten dielektrisch polarisierten Molekeln noch neue hinzulämen, die in Fig. 66 allein gezeichnet sind. Es stelle also etwa Fig. 65 einen in Luft geladenen Kondensator vor, zwischen dessen Platten bei Fig. 66 ein Hartgummikloß zwischengeschoben ist. In Luft stehen alle positiven und negativen Ladungen im Abstände d einander gegenüber. Bei zwischengeschobenem Hartgummi aber ist negative Ladung der positiven näher als vorhin gerückt bis zu den Stellen e , deren Abstand f von der oberen Kondensatorplatte kleiner ist als d ; und ebenso ist positive Ladung der negativen Kondensatorplatte näher als vorhin gerückt bis zu den Stellen g . Es ist also gerade so, als ob die beiden Kondensatorplatten einander genähert worden wären, wodurch die Bindung der auf ihnen vorhandenen Ladungen fester, ihre Spannung (Potentialdifferenz) also kleiner, oder wodurch die Kapazität des Kondensators vergrößert wird. Man kann dies durch folgenden Versuch demonstrieren.

Daß von den dielektrischen Substanzen z. B. Hartgummi eine größere **Dielektrizitätskonstante** hat, oder mit anderen Worten die Kraftlinien in größerer Dichtigkeit zu übertragen fähig ist als Luft, zeigt der folgende Versuch. Die obere, isolierte Platte o eines Kondensators (Fig. 67) sei mit einem Elektroskop E verbunden, also mit zwei äußerst dünnen Goldblättchen (wie die Buchbinder sie brauchen), welche in unelektrischem Zustande dicht nebeneinander herunterhängen, wenn sie geladen werden, aber in Folge der gegenseitigen Abstoßung

der gleichnamigen Elektrizitäten auseinanderfahren, und zwar um so weiter, je stärker die Ladung ist. Die untere Platte *u* des Kondensators werde mit der Erde durch eine Leitung *l* verbunden. Dann werde die obere Platte etwa durch eine einmalige Berührung mit einer geriebenen Glasstange positiv geladen. Die Goldblättchen des Elektroskops zeigen dies durch Divergenz an. Zunächst befinde sich Luft zwischen den beiden Kondensatorplatten. Auf der unteren Platte wird durch Influenz negative Elektrizität gebunden, während die abgestoßene positive Elektrizität zur Erde abfließt. Die negative Ladung der unteren Platte bindet nun aber auch wiederum rückwärts eine gewisse Menge an positiver Ladung auf der oberen Platte, so daß verhältnismäßig nur wenig von der positiven Ladung im Elektroskop sitzt, bei dessen Empfindlichkeit aber reichlich genug, um deutlich erkennbar zu sein. Die gegenseitige Bindung der Ladungen auf den beiden Platten geschieht durch die Kraftlinien, welche durch die Luft von der einen zur anderen herüberführen. Schiebe ich nun von der Seite her einen daimendicken Hartgummifloß *k* zwischen die etwas weiter voneinander abstehenden Platten, und lasse ihn auf der unteren Platte liegen, so gehen durch den Hartgummifloß mehr

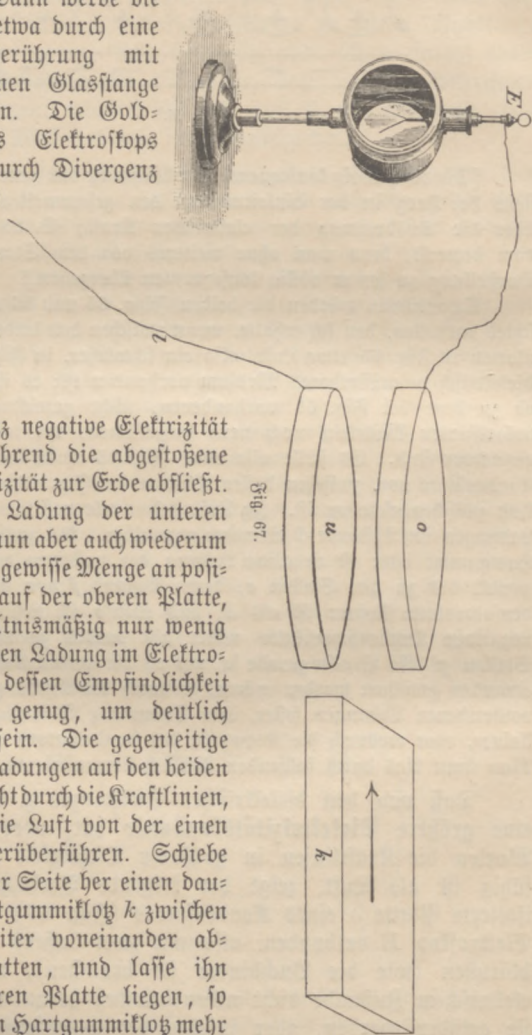


Fig. 67.

Kraftlinien von der oberen zur unteren Platte, als vorhin durch die Luft, die gegenseitige Bindung der Ladungen wird noch fester. Infolgedessen kommt von der gesamten positiven Ladung verhältnismäßig ein noch größerer Anteil auf die obere Platte und ein noch kleinerer auf das Elektroskop, oder es geht Ladung aus letzterem in erstere über und die Blättchen des Elektroskops divergieren weniger stark als vorhin, wie Sie sehen. Nehme ich den Hartgummikloß wieder weg, so tritt auch wieder die ursprüngliche stärkere Divergenz der Goldblättchen ein.

Die elektrische Verschiebung in den kleinsten Theilchen des Äthers bzw. die dielektrische Polarisation folgt (wenigstens bei isotropen Medien) stets den Richtungen der elektrischen Kraft oder den Kraftlinien, so daß man sich statt der letzteren überall die erstere anschaulich denken kann. Für die Kraftlinien zwischen zwei entgegengesetzten Polen würde man analog Fig. 62 das folgende System der Polarisationen erhalten (Fig. 68). Innerhalb jeder Ätherzelle suchen die getrennten Elektrizitäten sich wieder zu vereinigen; in Richtung der Kraftlinien stehen auch in benachbarten Zellen immer die entgegengesetzten Polaritäten einander gegenüber, so daß in Richtung der Kraftlinien ein **Bestreben der Verkürzung**, ein Zug existiert analog der Spannung der auf S. 101 gedachten Kautschuffäden. **Senkrecht** zur Richtung der Kraftlinien liegen dagegen immer Reihen von gleichnamigen Polaritäten nebeneinander, die sich gegenseitig abstoßen, so daß in dieser Richtung ein **Bestreben der Ausdehnung** existiert, als ob der Äther in dieser Richtung gegenüber dem Normalzustande zusammengedrückt worden wäre. Es giebt Erscheinungen, in welchen diese Spannungszustände im Inneren dielektrisch polarisierter Körper sich direkt äußern; so ihre Formänderung, Elektrostriktion genannt, und ihre Doppelbrechung, welche derjenigen einseitig gepreßter Glasstücke ganz analog ist. [Auch die letzte Fig. 68 müßte bei völlig konsequenter Durchführung des Standpunktes, daß nur die Polarisationen im Äther reale Existenz haben, die Ladungen der Pole aber nur fiktive, eine Modifikation erleiden; siehe hierüber die Bemerkung auf S. 107. Doch ist auch dann nichts Wesentliches von dem im vorigen Gesagten zu ändern.]

Die verschiedene Nachgiebigkeit des Äthers in verschiedenen Dielektrika ist auch die Ursache einer anderen uns bereits bekannten Erscheinung, nämlich der **Brechung der elektrischen Wellen**, die ich Ihnen an einem Pechprisma gezeigt habe. Wir wollen, um uns dies klar zu machen, an das Fortschreiten einer einzelnen Welle bei einem Seil denken. Hält man das Seil verhältnismäßig schlaff, so daß es ziemlich nachgiebig ist,

so schreitet ein Stoß längs desselben sehr viel langsamer fort, als wenn ich das Seil straff anziehe, so daß es sehr viel weniger nachgiebig ist. Ebenso verhält es sich auch mit den elektrischen Wellen; in denjenigen Medien, in welchen die Nachgiebigkeit des Äthers größer ist, welche also eine größere Dielektrizitätskonstante haben, z. B. in Pech, pflanzen sich die

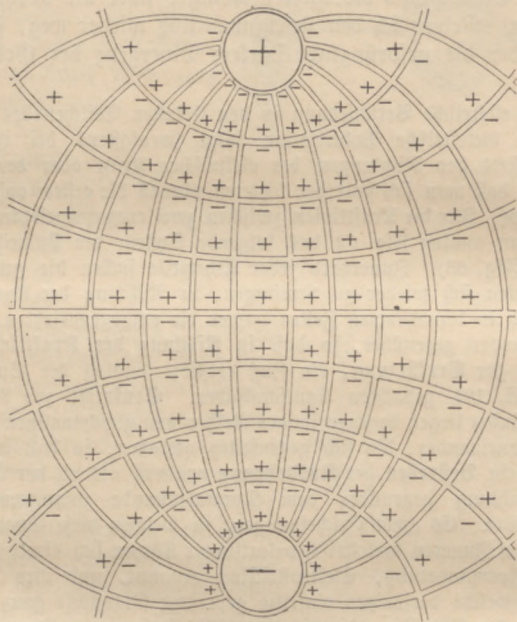


Fig. 68.

elektrischen Wellen langsamer fort, als in denjenigen mit kleinerer Dielektrizitätskonstante, z. B. Luft. Diese verminderte Geschwindigkeit des Fortschreitens ist aber eben die Ursache der Brechung. In diesem Punkte findet man nun wieder eine merkwürdige Beziehung zwischen einer auf das Licht und einer auf die Elektrizität bezüglichen Größe, welche schon vor Herz bekannt war. Die Elastizität des Äthers in einem bestimmten Körper ergibt sich nämlich andererseits auch aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen in ihm, deren ver-

hältnismäßiger Wert mit dem sogenannten Brechungs-Exponenten der betreffenden Substanz zusammenhängt. Da nun auch die Dielektrizitätskonstante ein Maß für die quasi-elastische Nachgiebigkeit des Äthers bildet, muß eine bestimmte Beziehung zwischen ihr und dem Brechungs-Exponenten bestehen, welche Beziehung die Maxwell'sche Theorie vorausgesagt hatte, und welche sich bestätigt fand.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von gewöhnlichen elastischen Transversalwellen ist *ceteris paribus*, wenn nämlich von dem Einflusse der Dichtigkeit abgesehen wird, in verschiedenen Medien der Quadratwurzel aus dem Torsionsmodul proportional. Der Torsionsmodul ist das Maß des elastischen Widerstandes gegen Drillungen, also dem Sinne nach das umgekehrte von der Dielektrizitätskonstante, welche das Maß der Nachgiebigkeit ist. Analog wird daher die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen *ceteris paribus*, wenn nämlich von dem Einflusse der Magnetisierbarkeit abgesehen wird, in verschiedenen Medien den Quadratwurzeln aus der Dielektrizitätskonstante umgekehrt proportional. Nun ist die Magnetisierbarkeit aller Medien thätiglich nahezu dieselbe, abgesehen von Eisen, Kobalt und Nickel, für welche sie sehr viel größer ist, so daß die Bedingung „*ceteris paribus*“ fast immer erfüllt ist. Andererseits ist der Brechungs-Exponent der Lichtwellen deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit umgekehrt proportional. Die Wesensgleichheit von Licht- und elektrischen Wellen angenommen, muß also der Brechungs-Exponent der Quadratwurzel aus der Dielektrizitätskonstante direkt proportional werden. Bezieht man noch die Werte von Brechungs-Exponent und Dielektrizitätskonstante auf ein und dasselbe Normalmedium, für welche man sie beide gleich Eins setzt, z. B. auf Luft, so hat man statt „Proportionalität“ einfache „Gleichheit“ von Brechungs-Exponent und Quadratwurzel aus Dielektrizitätskonstante, welche Vorausage der Maxwell'schen Theorie in der That zutrifft. Bezüglich des Einflusses der Lichtwellenlänge siehe die Bemerkung auf S. 82 des vorigen Vortrages.

Wenn bei elastischen Körpern die einwirkenden Kräfte eine gewisse Größe überschreiten, tritt **Zerreißen** ein. Etwas ganz Ähnliches findet auch statt bei Steigerung der elektrischen Kräfte, die auf ein Dielektrikum wirken; zunächst wird die innere Spannung im molekularen Äther immer größer; wenn die elektrischen Kräfte aber eine bestimmte Grenze überschreiten, zerreißt die Substanz des Dielektrikums und die elektrischen Spannungen gleichen sich in Form eines Funkens aus. Die dabei stattfindende Zertrümmerung fester nichtleitender Substanzen, z. B. von Glas, ist eine bekannte Erscheinung.

4. Elektrische Ströme betrachtet vom neuen Standpunkte.

Wir wollen nun zusehen, welche Vorstellungen wir uns, an Faraday anknüpfend, über die elektrischen Ströme in Metalldrähten zu bilden haben. Die Vorstellung von dem im Draht strömenden Fluidum hat, wie wir jetzt wissen, nur den Wert eines Bildes. Das Wesentliche des Vorganges muß wiederum seinen **Sitz** haben **in dem Äther**, welcher den durchflossenen Draht umgiebt. In der That wissen wir ja, daß dieser umgebende Äther der Sitz von magnetischen Kräften wird, wie sie sich z. B. in der ablenkenden Wirkung des Stromes auf Magnetnadeln geltend machen. Andererseits nehmen wir ja aber auch eine erwärmende Wirkung in der stromdurchflossenen Leitung wahr. Aber diese letztere, in der Substanz der Leitung selbst auftretende Wirkung kann man auf jeden beliebig kleinen Grad herabsetzen; denn sie ist um so kleiner, je geringer der Widerstand ist, welchen die Leitung dem Strome entgegensetzt. Man kann also recht dicke Drähte nehmen von sehr gut leitendem Metall, und kann auch noch sie auf möglichst tiefe Temperatur abkühlen, wodurch das Leitungsvermögen noch besser wird. Auf diese Weise kann man den Widerstand der Drahtleitung und damit gleichzeitig die in ihr auftretende Erwärmung auf jeden beliebig kleinen Grad herabsetzen. Daraus folgt also, daß in diesem Vorgang auch nicht das Wesentliche des Stromes beruhen kann. Die magnetischen Wirkungen des Stromes in seiner Umgebung können aber auf keinerlei Weise beseitigt oder vermindert werden. Die sich in ihnen äußern den Bewegungen im Äther sind daher auch als das Wesentliche des Stromes anzusehen. Nun sehen wir aber doch, daß die Metallleitungen dem Strome seinen Weg angeben. Dies können wir mit dem vorigen sehr wohl vereinigen, wenn wir, einen von Herz gebrauchten Vergleich benutzend, uns Ätherringe denken, welche auf die Leitung aufgezogen sind. Der galvanische Strom besteht dann etwa in einem Gleiten dieser Ringe auf der Leitung; die Bewegung muß dann zwar den Leitungsbahnen folgen; aber nicht in ihr, sondern in den sie umgebenden Ringen geht die Bewegung selbst vor sich. Noch besser zutreffend wird dies Bild, wenn wir die Ringe uns wie Kautschukringe denken, die

auf der Leitung so fest aufsitzen, daß sie auf dieser sich nur fortbewegen können, indem sich ihre einzelnen Teile auf der Leitung fortwälzen, so daß eine Bewegung entsteht, wie sie die bekannten Rauchwirbelringe zeigen. Dies veranschaulichen die Ringe aus Kautschukschlauch (Fig. 69), welche um diesen Glaszylinder fest herumgelegt sind, wie Sie sehen, und die beschriebene Bewegung ausführen, wenn ich sie auf dem Cylinder verschieben will.*) Wie sehr dieser Vergleich das Wesen des Stromes richtig wiedergiebt, führt uns in auffallendster Weise folgender Versuch vor Augen. Wir tauchen einen dicken Draht, welcher von einem recht kräftigen Strome durchflossen wird, in Eisenfeilspäne. Dann werden diese durch den Strom magnetisiert, und zwar in einem solchen Sinne, daß sie sich zu ringförmigen Kraftlinien um den Draht herum aneinanderlegen. Zuerst beim Herausziehen aus den Feilspänen legen sich viele solcher Ringe zu Wülsten zusammen; klopft man wiederholt auf den Draht, so bleiben nur noch einzelne Ringe um den Draht herum hängen, welche abfallen, sobald man den Strom unterbricht. Nach einer Theorie von Ampère, auf welche wir hier nicht näher eingehen können, wirbeln in den Eisenteilchen die sogenannten Molekular-

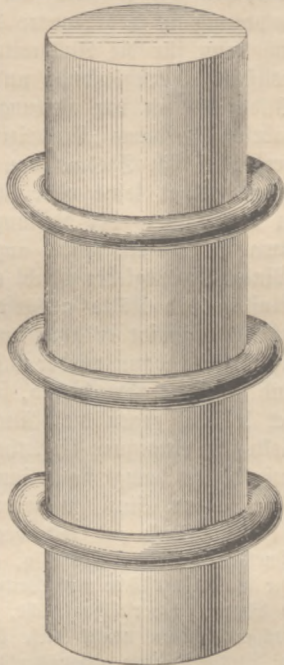


Fig. 69.

ströme ganz in derselben Weise, wie die Kautschukringe in der Fig. 69 sich drehen, wenn sie verschoben werden. Solcherlei Bewegung im Äther hat man für das Wesentliche des Stromes zu halten. Von dieser Bewegung kann aber ein mehr oder weniger großer Teil sich auf den Äther im Innern der Leitung übertragen; geht aber dort nur mit großer Reibung vor sich,

*) Man beachte die prinzipielle Ähnlichkeit mit Fig. 24 und 25 auf S. 43/44 des zweitvorhergehenden Vortrages.

wodurch dann die Erwärmung der Leitung entsteht, welche wir für gewöhnlich wahrnehmen.

In Bezug auf dieses **Eindringen in das Innere** zeigen nun Ströme, welche andauernd in derselben Richtung fließen, ganz andere Eigenschaften als solche, die ihre Richtung schnell hin und her wechseln. Bei den andauernd gleich gerichteten Strömen dringt stets ein sehr beträchtlicher Teil der Ätherbewegung in das Innere der Leitung ein; die Gesetze, welche sich dann für die Ausbreitung der Ströme ergeben, lassen sich vollständig erschöpfend, und zugleich am einfachsten unter dem Bilde des in der Leitung fließenden unwägbaren imponderablen Fluidums „Elektrizität“ wiedergeben. Ganz anders aber verhalten sich Ströme von schnell wechselnder Richtung. Bei ihnen dringt keine oder fast keine Bewegung aus dem Äther in das Innere der Leitung ein. Beide Fälle verhalten sich etwa so, wie ein warm angezogener Mensch, der sich in scharfe Winterkälte begiebt; bleibt er lange Zeit draußen, immerzu dem Einfluß der Kälte ausgesetzt, so wird er schließlich tüchtig frieren. Bleibt er aber immer nur kurze Zeit draußen in der Kälte, geht dann wieder auf einige Zeit in einen warmen Raum, und so weiter abwechselnd, so wird er nicht frieren. So wie hier der Mensch gegen die Kälte, verhält sich der Draht gegen die elektrische Bewegung im Äther; wirkt sie immer im selben Sinne auf ihn, so dringt sie in ihn ein; wirkt sie abwechselnd im einen oder andern Sinn, so dringt sie nicht in sein Inneres hinein.

Ein sonst gut leitender Metalldraht verhält sich also gegen schnell wechselnde Ströme so, als ob sein Inneres schlecht leite, und nur seine Oberfläche noch Leitungsvermögen habe, und zwar eine um so dünnere Oberflächenschicht, je schneller die Ströme ihre Richtung wechseln. Man nennt diese Erscheinung der Widerstandsvermehrung bei Wechselströmen gegenüber dem gewöhnlichen Ohmschen Widerstand bei konstanten Strömen: **Impedanz**. Ihr Zustandekommen kann man sich, ausgehend von altbekannten Gesetzen, folgendermaßen erklären. Ein unveränderlich-konstanter Strom durchfließt alle nebeneinander liegenden gedachten Längslinien oder Fäden $ff \dots$ (Fig. 70) in der ganzen Dike eines Drahtes mit derselben Stromdichtigkeit. Sobald aber die Stromstärke schwankt, wirken die einzelnen nebeneinander liegenden Fäden aufeinander induzierend, wie immer in der Weise, daß sie gegenseitig sowohl Ansteigen wie Abfallen der Stromstärke verlangsamen. Die innersten Fäden sind auf allen Seiten von anderen induzierenden umgeben; die in der Oberfläche gelegenen nur auf ihrer Innenseite; für erstere ist daher die induzierende Wirkung der benach-

barten weit stärker als für letztere; dazwischen findet ein allmählicher Übergang in Bezug auf die Stärke der Induktion statt. Die Folge dieser Verschiedenheit wird nun sein, daß bei Veränderungen der Stromstärke immer die innersten Fäden am meisten in der Veränderung nachhinken, die äußersten am wenigsten. Wie alle Induktionswirkungen sind auch diese um so stärker, je schneller die Veränderungen der Stromstärke vor sich gehen. Haben wir nun einen Strom von immerfort wechselnder Richtung, so kann die Induktionswirkung so stark werden, daß, ehe die innersten Fäden noch angefangen haben, sich an dem Strom

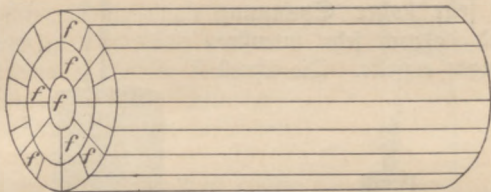


Fig. 70.

von der ersten Anfangsrichtung zu beteiligen, dieser seine Richtung schon umgekehrt hat, so daß jene Fäden sich überhaupt nicht an der Stromleitung beteiligen. Je schneller der Strom seine Richtung wechselt, um so stärker wird die Induktionswirkung, und um so dicker wird der innere Längskern, der stromlos bleibt, bis schließlich bei sehr schnellem Richtungswechsel nur noch eine unendlich dünne Oberflächenschicht den Strom leitet.

In den oscillatorischen Entladungen, den **elektrischen Schwingungen**, haben wir nun solche Ströme, welche in schneller Aufeinanderfolge immer ihre Richtung wechseln. Ich möchte jetzt noch zurückgreifen auf die Hertz'schen Wellen in Drähten, welche ich Ihnen in einem früheren Vortrage zeigte. Da haben wir auch solche schnell hin- und hergehenden Ströme. Dieselben dringen gar nicht in das Innere der Drähte ein, und wir müssen sie daher richtiger Wellen „längs“ oder „auf“ Drähten nennen, anstatt „in“ Drähten. Aus diesem Grunde ergibt sich auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wellen längs Drähten gerade so groß wie diejenigen der Hertz'schen Wellen in der freien Luft, nämlich gleich der Lichtgeschwindigkeit. Dagegen findet sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines konstant gleich gerichteten Stromes nach den Versuchen von Siemens u. a. erheblich kleiner; bei einem solchen findet eben wirklich ein Eindringen der elektrischen Bewegung in den Draht statt, welches mit Reibung und Verzögerung verbunden ist.

5. Die Tesla-Ströme.

Das von den Eigenschaften gewöhnlicher Ströme stark abweichende Verhalten schneller Oscillationen hat Tesla durch die nach ihm benannten Versuche in besonders glänzender Weise zur Anschauung gebracht dadurch, daß er die schnell wechselnden Ströme auch von **sehr hoher Spannung** nahm und dadurch sehr intensive Erscheinungen erzielte. Die schnell

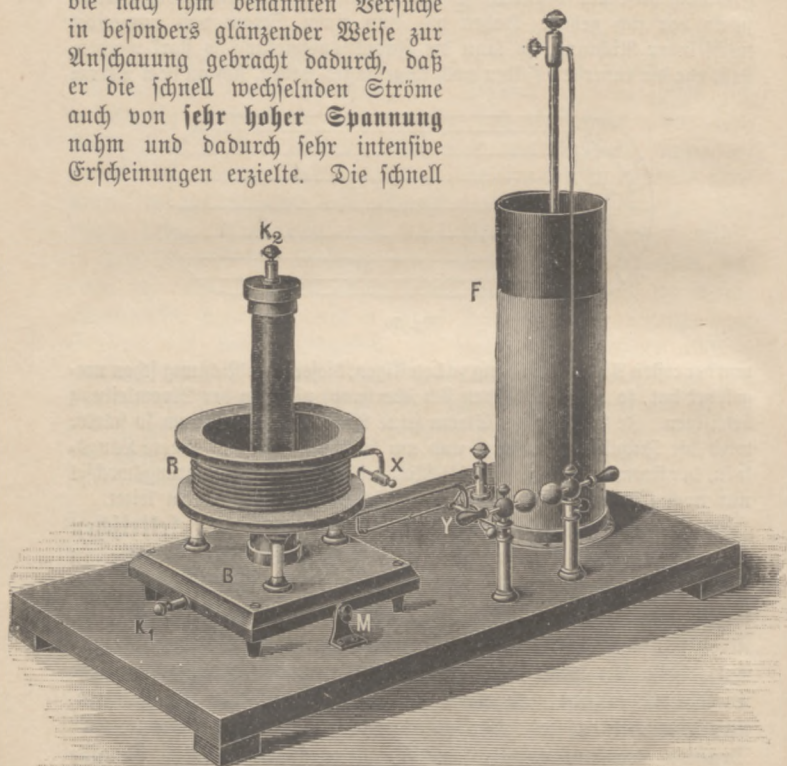
c. $\frac{1}{8}$ nat. Gr.

Fig. 71.

wechselnden Ströme, die er anwendet, sind in erster Linie erzeugt durch die schnell oscillierenden Entladungen einer Leidener Flasche, (*F* in Fig. 71), welche Sie hier an diesem, ebenfalls von der

Firma Ernecke*) in Berlin hergestellten Apparate sehen. Damit die Flasche nach jeder oscillatorischen Entladung sofort wieder von neuem geladen wird, so daß sogleich wieder eine neue oscillatorische Entladung stattfinden kann, sind ihre beiden Belegungen mit den Polen eines Induktoriums verbunden. Die oscillierende Entladung geht dann durch eine zweite leitende Verbindung der äußeren und inneren Belegung vor sich, in welcher die Entladung eine kurze Luftstrecke, *i* der Figur, mit einem Funken durchbrechen muß; durch letztere Notwendigkeit wird erzielt, daß die Spannung jedesmal einen bestimmten hohen Wert erreichen muß, ehe die Entladung unter Durchbrechung der Luftstrecke beginnen kann.

Zunächst kann man nun direkt in diese Entladungsleitung Apparate einschalten durch Anschluß an die beiden Schrauben *X* und *Y*, an welchen Apparaten man dann die charakteristischen Erscheinungen, z. B. der sogenannten **Impedanz**, beobachten will, wie an folgender Anordnung. Eine Leitung *ll* (Fig. 72) verzweigt sich an den Stellen *zz* in eine kurze geradlinige Verbindung von dünnem Kupferdraht mit einer eingeschalteten kleinen (22 — Volt) Glühlampe, und einem langen dicken Kupferbügel, in welchem am obersten Ende ebenfalls eine kleine (4 — Volt) Glühlampe eingeschaltet ist. Schickt man durch die Leitung *ll* einen Gleichstrom, so geht sein weitaus größter Teil durch den dicken Kupferbügel und es leuchtet nur das in ihn eingeschaltete Glühlämpchen. (Versuch.) Lassen wir aber die oscillierende Entladung der Leidener Flasche hindurchgehen, so bleibt dieses Lämpchen dunkel, während jetzt das andere erglüht. Die schnellen Wechselströme dringen in das Innere des Kupferdrahtbügels kaum ein; daß er sehr dick ist und aus gut leitendem Material, kommt für sie gar nicht in

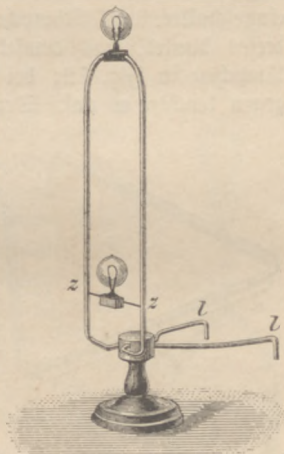


Fig. 72.

*) Den Angaben von Himstedt und von Elster und Geitel gemäß.

Betracht, sondern nur, daß er länger ist. Man nennt dieses Verhalten gegen Oscillationen Impedanz. Der Weg über die kleine Glühlampe ist der kürzere Weg im Äther, und deswegen ziehen die schnellen Wechselströme ihn vor.

Auch noch durch einen anderen überraschenden Versuch kann man die „Impedanz“ zeigen. An die Schrauben X und Y, Fig. 71, schließe man einen triangelförmig gebogenen dicken Kupferdrahtbügel an, wie er in Fig. 73 gezeichnet ist. An die Enden einer seiner Seiten ist eine dünne Drahtleitung dd mit eingeschaltetem Glühlämpchen angeknüpft. Bei Gleichstrom bleibt dieses dunkel, aus demselben Grunde wie das untere Glühlämpchen in Fig. 72; bei den oscillierenden Entladungen dagegen leuchtet es auf. Der Weg im Äther ist längs des dünnen

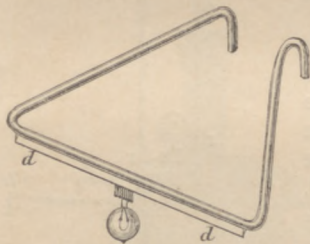


Fig. 73.

Drahtes mit Glühlampe ungefähr derselbe, wie längs der Seite des dicken Bügels; infolgedessen entfällt auf ersteren Weg auch nahezu die Hälfte der Entladungen, welche genügt, um die Lampe zum Glühen zu bringen.

Noch eine andere Auffassung der letzteren Anordnung ist sehr lehrreich. An den Enden eines so geringen Widerstandes, wie ihn die eine Seite des dicken Kupferbügels dar-

bietet, erzeugen Gleichströme selbst von tüchtiger Stärke doch nur außerordentlich geringe Spannungsdifferenzen, so daß in einem an die Enden angelegten Parallelzweig, wie die Leitung dd , von bedeutend größerem Widerstand nur ein sehr schwacher Zweigstrom erzeugt wird. Dagegen bei den Oscillationen oder stehenden Wellen zwischen den Belegungen der Leidener Flasche, deren größte Spannungsdifferenzen mindestens hunderttausende von Voltz betragen, kommt auch auf das kurze Bügelstück schon ein, wenn auch an und für sich kleiner, so doch hinreichender Bruchteil einer Wellenlänge, um an den Enden schon Spannungsdifferenzen von mehreren Voltz auftreten zu lassen, welche dann genügen zur Erzeugung eines solchen Zweigstromes in dd , wie er die Lampe zum Leuchten bringt.

Zur Erzeugung der eigentlichen Tesla-Ströme wird in die Entladungsleitung bei X und Y, Fig. 71, der sogenannte **Hochspannungstransformator** eingeschaltet. Bei demselben geht die oscillierende Entladung der Leidener Flasche F durch

eine flache, weite Rolle R von dickem, isolierten Kupferdraht hindurch; die in ihr hin- und herschwankenden Ströme sind imstande, wie alle sich verändernden Ströme, in benachbarten Leitern Ströme zu induzieren, und diese induzierten Ströme, die Tesla-Ströme, zeigen nun wegen der hohen Frequenz und der hohen Spannung ganz besondere Eigenschaften. Zunächst läßt sich die Stärke der **Induktionswirkungen**, welche sonst nur in Rollen von vielen Windungen erheblich werden, zeigen, indem wir über jene Spule R einen einfachen Draht-ring mit nur einer Windung hinüberschieben; eine mit seinen Enden verbundene Glühlampe gerät in Rotglut. (Versuch.) Ein doppelter Draht-ring (Fig. 74) giebt in derselben Weise helle Weißglut einer Glühlampe. (Versuch.) Während ich den letzten Draht-ring so halte, schiebe ich nun auch noch den ersten wieder über; dadurch wird die Weißglut jener Glühlampe abgeschwächt bis auf Rotglut. Die von der induzierenden Rolle in den Äther ausgesandten Spannungswellen vereinigen sich dann nicht mehr bloß auf dem einen Draht-ring, sondern müssen sich nun zwischen den beiden teilen, so daß auf den einen nun weniger entfällt. (Man kann auch sagen, daß die beiden induzierten Wechselströme in den beiden Ringen als untereinander stets gleichgerichtet durch gegenseitige Induktion sich schwächen.)

Bei den meisten Versuchen läßt man die induzierten Tesla-Ströme entstehen in einer zweiten sekundären Rolle von Metalldraht, welche man in das Innere jener primären Rolle hineinschiebt. Von deren unteren Ende geht eine leitende Verbindung durch das Brett B (Fig. 71) zur Klemmschraube K_1 ; an dem oberen Ende befindet sich die Klemmschraube K_2 . Von der Höhe der auftretenden Spannung giebt Ihnen die direkte **Funkentladung** eine Anschauung. Um sie zu zeigen, verbindet man die beiden Pole K_1 und K_2 der sekundären Transformatorspule mit den beiden Konduktoren eines Ausladers. (Fig. 29.) Sie sehen einen anhaltenden Strom laut knatternder Funken von mehr als 1 dem Länge. Lasse ich nun die Elektrizität von dem einen Ende der sekundären Drahtrolle durch eine Leitung zur Erde abströmen, so zeigt sich die Gewalt, mit

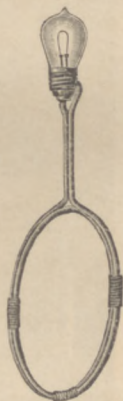
c. $\frac{1}{8}$ n. Gr.

Fig. 74.

welcher die Spannungen im Äther an dem anderen isolierten Ende hin- und herschwanken, durch das Leuchten der in Mittheilung gezogenen Luftmolekeln, welches sich in der Form von **Büscheln** sichtbar macht. (Versuch.) Verbindet man beide Pole der sekundären Rolle mit zwei Drähten, welche zu weit voneinander entfernt sind, als daß direkte Funken zwischen ihnen überspringen könnten, so zeigen sich die hohen Spannungs-

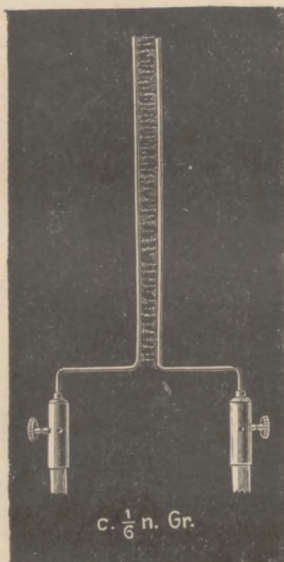


Fig. 75.

wechsel im Äther, bezw. deren Mittheilung an die Luft darin, daß sie ein leuchtendes Band zwischen den beiden Drähten bildet. (Fig. 75.) Nehmen wir an Stelle der beiden geraden Drähte diese zwei Draht-
ringe, so erhalten wir einen leuchtenden Kegelmantel (Fig. 76). Der Sauerstoff der Luft wird bei diesen Versuchen zum Teil in Ozon verwandelt, welches bekanntlich nur eine Modifikation des Sauerstoffes und durch seinen charakteristischen Geruch erkennbar ist. Für gewöhnlich sind im Sauerstoff immer je zwei Atome zu einer Molekel verbunden, während im Ozon je drei Sauerstoffatome zu einer Molekel verbunden sind. Sein Entstehen ist ebenfalls ein Beweis für das Auftreten starker Spannungen im Äther, welche sich den in ihm gewissermaßen schwimmenden Sauerstoff-Molekeln

mittheilt, ihre Atome auseinanderreißt und sie in veränderter Anordnung wieder zusammentreten läßt.

Die Wärmewirkung der Tesla-Ströme läßt sich zeigen durch die Entzündung eines Holzspanes, der bis auf ein kurzes Stück an der Spitze mit Stanniol umwickelt ist und auf welchen man die Funken des einen Poles überschlagen läßt. Auch kann man sie höchst unangenehm empfinden, wenn die Funken direkt auf die Haut aufstreifen.

In besonders glänzender Weise machen sich die Ätherspannungen bei den Tesla-Strömen sichtbar durch die **Leucht-**

erscheinungen in Röhren, die mit verdünnten Gasen angefüllt sind. Dabei braucht die Elektrizität keine Zuleitung und Ableitung durch Drähte, welche durch die Glaswand hindurch den Strom in das Innere hineinleiten, sogenannte Elektroden; sondern bei den Tesla-Strömen dringen ohne solche die Schwankungen der Ätherspannung durch die Glaswand in das Innere der Röhre hinein und bringen das Gas zum Leuchten. Ich verbinde die beiden Pole K_1 und K_2 der sekundären Spule des Tesla-Transformators mit zwei Schirmen aus Drahtnetzen (Fig. 77), welche ich in einiger Entfernung einander gegenüber aufstelle. Zwischen ihnen habe ich dann die hohen schnell wechselnden Ätherspannungen. Halte ich eine solche evakuierte elektrodenlose Röhre zwischen die beiden Schirme, so sehen Sie wie lebhaft dieselben leuchtet. Man braucht übrigens nur eine Leitung mit dem einen Pol zu verbinden, und den anderen Pol der sekundären Spule zur Erde abzuleiten; nähert man

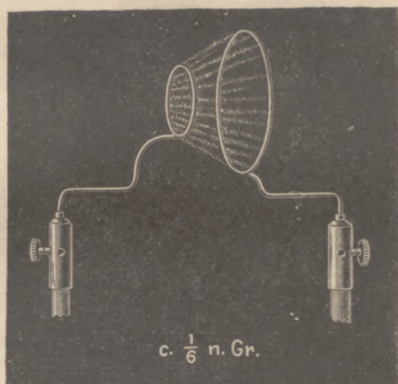


Fig. 76.

dann mit der Hand eine elektrodenlose Röhre jener einen Leitung, so leuchtet die Röhre auch so. Endlich kann man eine solche Röhre auch nach Entfernung der sekundären Spule direkt in das Innere der primären Spule R Fig. 71, hineinhalten; dann werden die Tesla-Ströme direkt in ihr induziert (Versuch.) Mache ich diesen Versuch mit einer hohlen ausgepumpten Glaskugel, so bildet sich in der Nähe ihrer Wand ein hell leuchtender Ring, während ihr Inneres dunkel bleibt. (Fig. 78). Dies erklärt sich dadurch, daß die eindringenden Ätherspannungen in den äußeren Schichten aufgezehrt werden, indem sie dieselben zum Leuchten bringen, und daher nicht bis zur Mitte der Kugel vordringen.

Tesla hatte an das Leuchten der elektrodenlosen Röhren bei seinen Strömen Erwartungen technischer Anwendung für

das „Licht der Zukunft“ geknüpft, die sich aber noch nicht erfüllt haben, wohl wegen der Schwierigkeit der Herstellung von Tesla-Strömen an jeder erforderlichen Stelle. Er dachte sich eine nebartige Leitung im Fußboden eines Zimmers und eine ebensolche in der Decke, jede derselben mit einem Pol des Transformators verbunden; dazwischen elektrodenlose Röhren

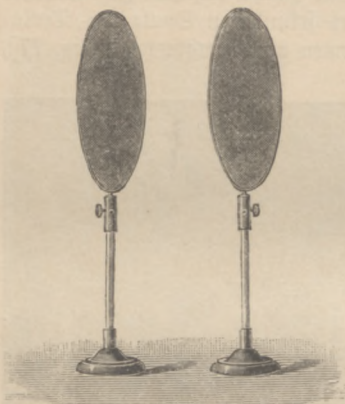
c. $\frac{1}{2}$ n. Gr.

Fig. 77.

in der nötigen Größe und Anzahl zur Erhellung des betreffenden Raumes. Dabei wird dann eine Erfahrung benutzt, die auf den ersten Anblick sehr merkwürdig erscheint, daß nämlich die Tesla-Ströme, die so sehr starke Wirkungen ergeben, für den menschlichen Körper unspürbar sind. Sie sehen, daß ich die beiden Pole ohne Schaden mit den Händen anfassen kann; ich fühle dabei nur im Augenblick des Zugreifens einige Schläge, wenn ich aber die Pole fest angefaßt habe, nichts mehr. Dies ist bei genauerer

Überlegung ganz natürlich; die schnellen Wechselströme dringen eben in das Innere meines Körpers fast gar nicht ein, sondern bestehen nur in den Ätherspannungen, die um meinen Körper herum oscillieren. Fasse ich mit der einen Hand den einen Pol des Hochspannungstransformators, ein Gehülfe den anderen Pol, und nehmen wir zwischen unsere freien Hände eine elektrodenlose Röhre, so sehen Sie, wie lebhaft dieselbe leuchtet. Die Ätherspannungen schwanken um unsere Körper herum in die Röhre hinein, ohne daß wir etwas davon verspüren.

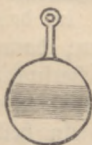


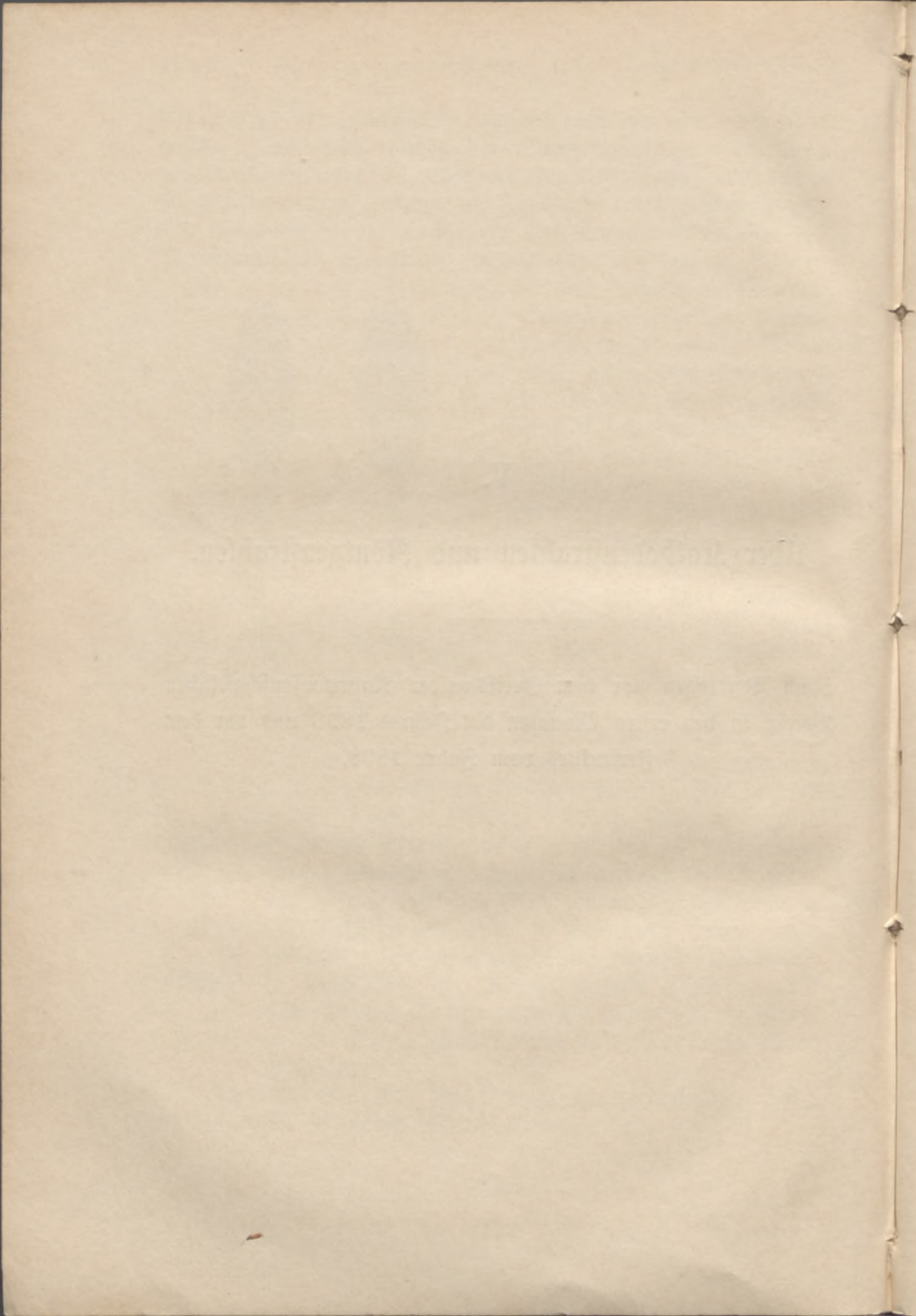
Fig. 78.

Ich lade Sie ein, den Versuch zu wiederholen, indem Sie sich selbst in die Kette einschalten.

V.

Über Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen.

Nach Vorträgen vor dem Greifswalder Naturwissenschaftlichen Verein in den ersten Monaten des Jahres 1896 und vor dem Ferienkurs vom Jahre 1898.



1. Was sind Strahlen?

Es giebt Wasserstrahlen, Dampfstrahlen, Lichtstrahlen, Wärmestralen und verschiedene andere Strahlen. Ihnen allen ist gemeinsam, daß sich eine Wirkung geradlinig von dem Orte ihrer Herkunft aus verbreitet. Der Strahl ist in den nächstliegenden Fällen gebildet von einer Reihe aufeinander folgender Teile einer Substanz, welche in der Strahlenrichtung sich fortbewegen; so beim Wasserstrahl oder dem Dampfstrahl. In früheren Jahrhunderten nahm man dieselbe Art der Entstehung auch für die Lichtstrahlen an; man nahm an, daß ein leuchtender Körper kleine Teilchen eines Lichtstoffes geradlinig nach allen Seiten hin ausschleudere, die ins Auge gelangend dort die Lichtempfindung auslösen sollten. Ein Loch in einem übrigens undurchsichtigen Schirm ließ die Lichtteilchen nur in der geraden Richtung von der Lichtquelle her hindurch, und jenseits hatte man dann einen isolierten Strahl von Lichtteilchen. Die geradlinige strahlenförmige Ausbreitung der Lichtteilchen hat dann weiter auch die Bildung eines Schattens hinter einem undurchlässigen Schirm zur Folge, mit scharfer Grenze zwischen Helligkeit und Dunkelheit.

Indessen das Licht besteht nicht aus abgeschleuderten Teilchen, sondern aus einer Wellenbewegung im Ather. Die Länge einer Welle, das heißt die Strecke von einem Wellenberg über ein Wellenthal hinweg bis zum folgenden Berg, ist beim Licht nur eine außerordentlich kleine, noch nicht einmal ganz ein Tausendstel mm. Gerade diese Kleinheit erklärt, wie sich theoretisch verfolgen läßt, daß die Wellenbewegung hinter einer Öffnung, wenn sie nur nicht gerade außerordentlich winzig ist, in einem undurchsichtigen Schirm sich nicht nach allen Seiten hin ausbreitet, sondern nur in der Richtung von der Lichtquelle geradlinig durch die Öffnung hindurch. „Strahl“ ist dann also die Richtung, in welcher allein Wellenbewegung vorhanden ist,

während sonst überall keine existiert. Die Strahlenbildung kommt also hier, und ebenso bei den Wärmestrahlen, auf ganz andere Weise zustande, als bei Wasserstrahlen.

Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen, die ich Ihnen heute zeigen will, zeigen ebenfalls die charakteristischen Eigenschaften der geradlinigen Ausbreitung und der Bildung scharf begrenzter Schatten. Nach den Ergebnissen der neuesten Forschungen scheint es, daß die Kathodenstrahlen aus negativ elektrischen Teilchen bestehen, die mit großer Geschwindigkeit von ihrem Ausgangspunkte in geradlinigen Bahnen weggeschleudert werden. Die Röntgenstrahlen dagegen scheinen zu der anderen Kategorie von Strahlen zu gehören, nämlich Strahlen einer Wellenbewegung zu sein, und zwar einer dem Lichte ganz analogen, aber von einer noch viel kleineren Wellenlänge als die des Lichtes selbst.

Die Röntgenstrahlen werden hervorgerufen durch Kathodenstrahlen, und diese treten auf bei den elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen, deren Erscheinungen wir uns zunächst ansehen wollen.

2. Die Geißlerschen Röhren.

Die Entladung in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit kennen Sie als Funken, dessen gewaltigste Erscheinungsform in der Natur der Blitz ist. Unter anderen Verhältnissen findet die Entladung in freier Luft auch in der Form von leuchtenden Büscheln statt, wie Sie solche von den Tesla-Strömen her kennen. Strömt endlich die Elektrizität aus Spitzen in die Luft aus, so zeigen sich an denselben bei positiver Elektrizität kleine leuchtende Pinsel, bei negativer feine glimmende Pünktchen.

Die Erscheinungen der Entladung in mäßig, bis auf etwa ein Hundertstel oder ein Tausendstel der ursprünglichen Dichtigkeit, verdünnter Luft hat zuerst Plücker in Bonn erforscht in Röhren, welche der Glasbläser Geißler*) herstellte und die nach diesem Geißlersche Röhren genannt werden. Nachdem das Gas soweit aus solchen Röhren ausgepumpt ist, wie man wünscht, werden sie

*) Derselbe wurde wegen seiner Verdienste um die Wissenschaft bei Gelegenheit des 50jährigen Jubiläums der Universität Bonn im Jahre 1868 zum Ehrendoktor der Philosophie ernannt. Von seinem Geschäftsnachfolger Müller in Bonn sind die meisten der zu den folgenden Versuchen benutzten Röhren hergestellt.

zugeeschmolzen. Es befinden sich bei ihnen in ihre Glaswand eingeschmolzen immer ein Zuleitungs- und ein Ableitungsweg für die Entladung, Platindrähte, die sogenannten Elektroden; die mit dem positiven Pol verbundene die Anode, die mit dem negativen verbundene die Kathode genannt. Als Stromquelle dient in der Regel ein Induktorium; man kann aber auch eine Influenzmaschine mit Einschaltung einer Funkenstrecke nehmen. Ein Induktorium liefert bekanntlich keinen konstanten Strom, sondern einzelne Stromstöße; es besteht aus zwei Drahtspiralen, deren eine die andere umgiebt; jedesmal wenn der Strom in der primären inneren Drahtspirale, der von einer Akkumulatoren-batterie oder von einer Thermo säule geliefert wird, geschlossen oder unterbrochen wird, entsteht in der sekundären äußeren Drahtspirale ein induzierter Stromstoß von sehr hoher Spannung. Ein selbstthätiger Unterbrecher bewirkt in beständiger Folge Schluß und Öffnung des primären Stromes. Der beim Schließen hervorgerufene Induktionsstrom ist von entgegengesetzter Richtung wie der beim Öffnen. Die Induktion der einzelnen Windungen der primären Spule aufeinander verzögert sein Ansteigen beim Schließen, während das Unterbrechen durch die Trennung der einander berührenden Kontakteile ziemlich plötzlich geschieht. Je plötzlicher aber der primäre Strom sich ändert, um so höher wird die Spannung des erzeugten Induktionschlages. Es hat daher der Öffnungsinduktionsstrom eine weit höhere Spannung als der beim Schließen, und nur ersterer vermag kräftige Entladung in verdünnten Gasen hervorzurufen. Man nennt daher diejenigen Zuführungsdrähte Anode bezw. Kathode, welche diese Bedeutung beim Öffnungsschlag haben, während man die umgekehrte Bedeutung beim Schließungsschlag wegen dessen geringerer Spannung außer Acht läßt.

Die Gasreste in den Geißlerschen Röhren geraten durch die Entladungen in lebhaftes Leuchten, verschiedene Gase mit verschiedenen charakteristischen Farben, Luft z. B. mit bläulichem Rot. (Versuch.) Zerlegt man das Licht der Gase in den Geißlerschen Röhren

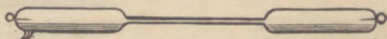


Fig. 79.

vermittels eines Prismas in ein Spektrum, so erhält man für die verschiedenen Gase kennzeichnende Linien bezw. Bänder. Solche Spektralröhren haben die in Fig. 79 gezeichnete Form; an den Enden rechts und links sieht

man die eingeschmolzenen Zuleitungsdrähte. In den Röhren zeigt sich unter gewissen Umständen eine eigentümliche Schichtung des Lichtes, wie Sie hier sehen (Fig. 80). Es findet kein



Fig. 80.

dauerndes Glühen durch Erhitzung statt, sondern jeder einzelne Entladungsschlag des Inductoriums giebt ein einmaliges Auf-

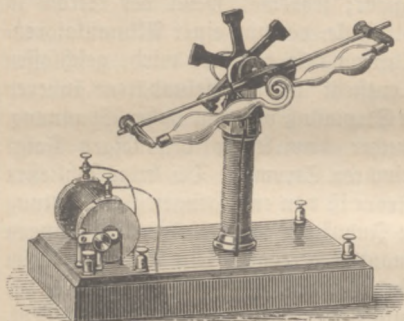


Fig. 81.

leuchten. Das kann man erkennen an einer rotierenden Weißler'schen Röhre (Fig. 81), welche nicht als leuchtende Scheibe erscheint, wie es sein müßte, wenn das Gas kontinuierlich glühte; sondern immer nur einzelne Bilder, der Stellung entsprechend, welche die Röhre in dem Momente eine Entladung gerade hat; 1, 2, 3.

(Fig. 82.) Wegen der Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der einzelnen Induktionsschläge ist der Lichteindruck der Stellungen

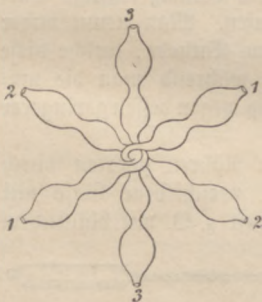


Fig. 82.

1 und 2 im Auge noch nicht erlöschen, wenn schon der von 3 eintritt; man glaubt infolgedessen die drei Stellungen gleichzeitig zu sehen. (Versuch.) Das Licht der leuchtenden Gase besitzt in hervorragendem Maße die Eigenschaft, Fluorescenz zu erregen. Fluorescenz nennt man das Aussenden von Licht, ohne merkliche Temperaturerhöhung, veranlaßt durch das Auftreffen anderer Strahlen. Sie alle haben schon gelegentlich bemerkt, daß Petroleum, welches doch gelbe

Farbe hat, aus geeigneter Richtung betrachtet, einen blauen Schein zeigt: das ist blaues Fluorescenzlicht, welches von dem Petroleum ausgesendet wird, wenn es vom Tageslicht getroffen

wird. Uranglas, von welchem man oft Briefbeschwerer sieht, hat gelbe Farbe, und giebt grünes Fluorescenzlicht; ebenso der von dieser Eigenschaft her „Fluorescein“ genannte Farbstoff. Hier ist



Fig. 83.

eine in der Mitte spiralgig gewundene Geißler'sche Röhre (siehe das Innere von Fig. 83) rechts und links von Uranglas umgeben, in der Mitte von Fluoresceinlösung, die sich in einer weiteren Röhre befindet; Sie sehen das schöne Fluorescenzlicht, welches durch das Leuchten der Gase in der Röhre erregt wird.

3. Die Hittorffschen Röhren und die Kathodenstrahlen.

Die Erscheinungen ändern ihren Charakter, wenn man die Gase noch mehr verdünnt, bis auf etwa ein Hunderttausendstel, der ursprünglichen Dichtigkeit. Mit solchen Röhren, so hoch verdünnte Gase enthaltend, hat zuerst **Hittorf** gearbeitet, nach dem sie den Namen Hittorff'sche Röhren tragen; später auch Crookes. In ihnen tritt bei den Entladungen das Leuchten der Gase ganz, oder fast ganz zurück. Die Fluorescenz-erregung der Entladungen aber wird sehr stark. Gewöhnliches Glas, welches sonst nicht fluoresciert, sendet ein gelbgrünes Fluorescenzlicht aus, oder auch blaugrünes, wie Sie z. B. bei diesem englischen Glase sehen. Die fluorescenz-erregende Wirkung geht nur von der Kathode, der negativen Elektrode, aus, und verbreitet sich von ihr aus geradlinig. Wird in einer Hittorff'schen Röhre von nebenstehender Form (Fig. 84) die untere Zuleitung als Kathode genommen, so ist es gleichgültig, ob oben rechts oder oben links die Anode ist: nur der Teil der Röhre rechts, in welchen hinein die Kathode gerichtet ist, fluoresciert.

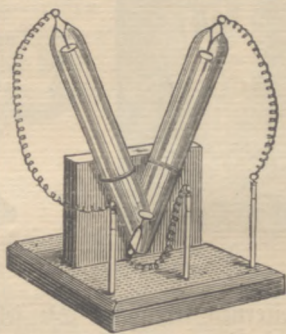


Fig. 84.

(Versuch.) Nehme ich aber die untere Zuleitung als Anode, so fluoresciert der rechte oder der linke Schenkel der Röhre, je nachdem die rechte oder linke obere Zuleitung als Kathode genommen wird. Dieser Wechsel in den Verbindungen mit den Polen des Induktatoriums kann schnell hintereinander durch sogenannte Stromwender oder Kommutatoren vorgenommen werden. (Versuch.)

Bei verschiedenen Substanzen wird Fluoreszenzlicht von verschiedenen, manchmal sehr prächtigen Farben erregt, so in dieser Röhre (Fig. 85) mit Kieselzink, Pektolith, Magnesit, Korallenkalk und Kalkspath. Metalle, auch Aluminium, in nur einigermaßen dicken Schichten, Glas, Glimmer, lassen die von der Kathode ausgehende Wirkung nicht hindurch, sie werfen in der Fluoreszenz, die z. B. auf Glas erzeugt wird, einen Schatten, so in dieser Röhre (Fig. 86) das Aluminiumblech von der Form eines



Fig. 85.

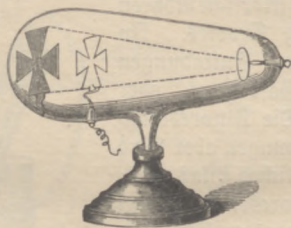


Fig. 86.

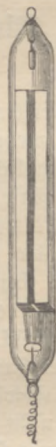


Fig. 87.

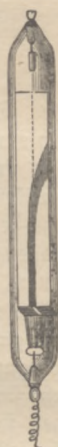


Fig. 88.

eisernen Kreuzes. Sie sehen, die Wirkung verhält sich ganz wie hervorgebracht durch geradlinige Strahlen, welche von der Kathode ausgehen. Dies zeigt auch aufs deutlichste diese Röhre (Fig. 87), bei welcher dicht vor der Kathode (unten) ein Metallblech mit einem schmalen Spalt angebracht ist, der gewissermaßen nur einen Kathodenstrahl hindurchläßt. An und für sich unsichtbar, wird derselbe sichtbar gemacht dadurch, daß er längs eines Schirmes vorbeistreicht, welcher mit Kreide be-

strichen ist; auf dieser zeichnet er seinen Weg als hellen, von unten nach oben gerichteten Fluoreszenzstreif auf. An dieser Hittorffschen Röhre kann man auch die merkwürdige magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen zeigen; nähere ich einen Magneten in bestimmter Stellung, so wird der Kathodenstrahl nach rechts abgelenkt (Fig. 88); kehre ich den Magnet um, nach links. Die Kathodenstrahlen treiben leichte Körper vorwärts, so die Glimmerflügel eines sehr leicht drehbaren Rädchens in dieser Röhre (Fig. 89), bei welchen sie auf die oberen Flügel zunächst von rechts her auf-treffen; verlege ich die Kathode nach links, so kehrt sich auch der Drehungssinn des Rädchens



Fig. 89.



Fig. 90.

um. Endlich soll auch noch die starke erhitzen- de Wirkung der Kathodenstrahlen gezeigt werden; sie treffen in dieser Röhre (Fig. 90) auf ein Platinblech auf, welches unter ihrer Wirkung alsbald erglüht. Durch die Glaswand der Röhren dringen in allen diesen Fällen und auch sonst die Kathodenstrahlen nicht hindurch.

4. Die Röntgen-Strahlen.

Röntgen war vor noch nicht ganz drei Jahren im Begriff, den merkwürdigen Eigenschaften der Kathodenstrahlen weiter nachzuforschen, als er wahrnahm, daß eine fluoreszenzerregende Wirkung unter Umständen aus Hittorffschen Röhren durch die Glaswand hindurch nach außen trete. Er verfolgte seine Beobachtung sogleich weiter; erkannte, daß es sich ebenfalls um „Strahlen“ handele, die er selbst X-Strahlen nannte, deren Eigenschaften wesentlich verschieden waren von denjenigen der Kathodenstrahlen, und trat an die Öffentlichkeit mit einer Beschreibung seiner Strahlen, die in den wichtigsten Punkten schon deren wunderbares Verhalten vollständig charakterisierte.

Die Röntgenstrahlen entstehen da, wo Kathodenstrahlen auf einen anderen Körper aufstreifen, aber je nach der Natur des letzteren in verschiedener Stärke. Platin hat in besonders hohem Maße die Fähigkeit, Kathodenstrahlen in Röntgenstrahlen zu verwandeln (Walter König). Man konstruiert daher jetzt die Röntgenröhren so (Fig. 91), daß, von einer hohlen Kathode (oben) ausgehend, die Kathodenstrahlen an dem Punkte, in welchem sie konzentriert werden, auf ein schräg gestelltes Platinblech fallen, von welchem aus nun die an ihm entstehenden Röntgenstrahlen (in der Figur nach links) hin ausgesandt werden, und im Gegenseitze zu den Kathodenstrahlen durch die Glaswand der Röhre ins



Fig. 91.

Freie treten. Sie machen sich geltend zunächst durch ihre **fluoreszenzerregende Wirkung**, die besonders stark hervortritt bei Baryumplatincyanür. Man trägt diese Substanz in einer nicht zu dünnen Schicht auf einen Schirm auf, die dann beim Auftreffen der Röntgenstrahlen lebhaft leuchtet. (Versuch.) Hier diesen Fluoreszenzschirm mit dieser Lage von Baryumplatincyanür hatte ich mir im Januar 1896 improvisiert; jetzt kann man ähnliche im Handel fertig beziehen. Durch Holz, Leder, Papier und ähnlich leichte Substanzen gehen die Röntgenstrahlen fast ungeschwächt hindurch. Im allgemeinen sind Substanzen um so weniger durchlässig, je spezifisch schwerer sie sind; die schweren Metalle, Gold, Platin, Blei, Silber, sind sehr schlecht durchlässig. So gehen die Röntgen-

strahlen durch das Leder des Portemonnaies hindurch, während die in ihm enthaltenen Geldstücke einen starken Schatten auf dem Fluoreszenzschirm geben. (Versuch.)

Das leichte Aluminium ist gut durchlässig; hier habe ich ein Aluminiummetall und in seinem Inneren einen Uhrschlüssel aus Messing; Sie können auf dem Baryumplatincyanürschirm kaum einen Schatten von dem zwischengehaltenen Aluminium erkennen, sehr kräftig aber den des Messingschlüssels. Bei einer der ersten Demonstrationen haben die Mitglieder des Greifswalder Handwerkervereins uns auf die Probe gestellt, ob wir mit Hilfe der Röntgenstrahlen eiserne Buchstaben lesen könnten,

die zwischen diesen beiden decimeterdicken Holzklößen, von außen unsichtbar, angebracht sind; Sie sehen, auf dem hellen Feld, welches die durch das Holz durchgedrungenen Strahlen erzeugen, erscheint als tiefer Schatten die weithin lesbare Schrift „X-Strahlen“.

Die Knochen sind weniger durchlässig als die Muskeln und anderes Gewebe, so daß sich die dunkleren Schatten jener in dem weit blasserem Schatten des Fleisches deutlich abheben. Am besten sieht man dies an den Händen, wobei etwaige Finger-
ringe noch dunklere Schatten geben als die Knochen. Aber auch die Knochen nicht nur der Arme und Beine, sondern auch des Brustkorbes kann man in dieser Weise deutlich erkennen. Dichtere Gewebe im Inneren des Körpers geben ebenfalls stärkere Schatten als ihre Umgebung, so das Herz, welches man im lebenden Menschen pumpen sieht; das Zwerchfell, dessen Heben und Senken beim Atmen man direkt erkennen kann; die Leber. Es ist evident, welche enorme Bedeutung Röntgens Entdeckung für die Medizin hat.

Einen besonders interessanten Fall hat Herr Dr. phil. H. Siedentopf in unserem Institut beobachtet. Ein Stein, mit welchem eine Pistole geladen war, war beim vorzeitigen Losgehen in die Hand eingedrungen. Auf dem Fluoreszenzschirm zeigte sich sein Schatten als in einem langen Wundkanal beweglich; je nach der Stellung der Hand fiel er nach dem einen, oder dem anderen, jedesmal unten befindlichen Ende des Kanals. (Beschrieben in den Fortschritten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, Band 1, S. 141, 1897.) Ein solches Verhalten wäre ohne Röntgenstrahlen schwerlich zu erkennen gewesen; es war von der größten Wichtigkeit für die folgende Operation.

Wie Röntgen selbst auch sogleich gefunden hat, wirken seine Strahlen auf die empfindliche Substanz **photographischer** Platten. Um eine Röntgenphotographie zu erhalten, bringt man ohne weiteren Apparat eine leichte, lichtdichte Holz- oder Papp-Kassette mit eingelegter empfindlicher Platte direkt in den Weg der Strahlen. Vor die Kassette bringt man den zu durchleuchtenden Körperteil; am besten legt man ihn direkt auf den Deckel der Kassette auf. Die Röntgenstrahlen durchsetzen dann zuerst ihn, dann den Deckel der Kassette, und treffen endlich auf die empfindliche Platte. Auf ihr erzeugen sie dann ein Röntgen-Schattenbild des durchstrahlten Körperteils, in welchem

sich die verschiedenen Teile je nach dem Grade ihrer Durchlässigkeit abbilden. Eine solche Aufnahme wird dann, wie eine gewöhnliche, zunächst als Negativ, in der Dunkelkammer entwickelt und fixiert.

Um bei den Aufnahmen möglichst bequem der Röntgenröhre die richtige Stellung geben zu können, klemmt man sie in ein nach allen Richtungen hin verstellbares Stativ ein, wie Fig. 92 zeigt. In Fig. 93 sieht man, wie in der Werkstatt von Ernecke in Berlin eine Aufnahme des Brustkastens gemacht wird. Rechts unter dem Tisch ist die Akkumulatorenbatterie zu erkennen, welche den primären Strom des Induktatoriums liefert.

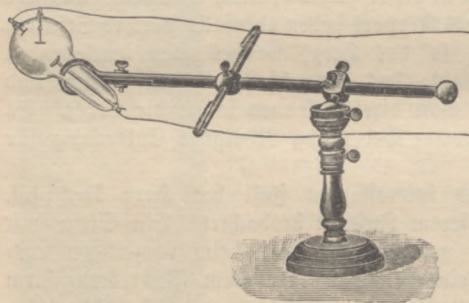


Fig. 92.

Dieses steht auf dem Tisch, und von den Polen seiner sekundären Wicklung führen die Zuleitungsdrähte zur Röntgenröhre, welche sich vor der Brust des zu Untersuchenden befindet, befestigt an einem ganz links auf dem Fußboden stehenden Stativ.

Letzteres trägt auch die Kassette mit der empfindlichen Platte, die dem Rücken des Mannes anliegt. Fig. 94 ist eine verkleinerte Reproduktion einer so gewonnenen Originalplatte; sie zeigt in der Mitte von oben nach unten laufend die Wirbelsäule, die Rippen der Vorder- und Rückseite, rechts und links an den Seiten sind noch Teile der beiden Schulterblätter sichtbar, von denen sich die Schlüsselbeine nach der Mitte zum Brustbein hinziehen. Unten etwas rechts von der Mitte sieht man das Herz als schwarzen Schatten, der sich noch tiefer unter den Rand des Bildes hinaus erstrecken würde.

Wir machen hier im Institut die sämtlichen Aufnahmen für die hiesigen Kliniken; Sie sehen eine Anzahl dort zur Ansicht ausgelegt. Am leichtesten gelingen die Knochenaufnahmen und die Aufnahmen metallischer Fremdkörper (z. B. Geschosse) wegen der starken auftretenden Helligkeitskontraste. Aber hier haben Sie auch eine vor nun etwa drei Jahren am

lebenden Patienten gemachte Aufnahme der Leber, bei welcher also viel schwächere Kontraste doch ein deutliches Bild liefern. Bei Zuhilfenahme der neuesten Fortschritte der Technik kann man jetzt in recht kurzer Zeit gute Aufnahmen machen, von einer Hand z. B. in wenigen Sekunden.

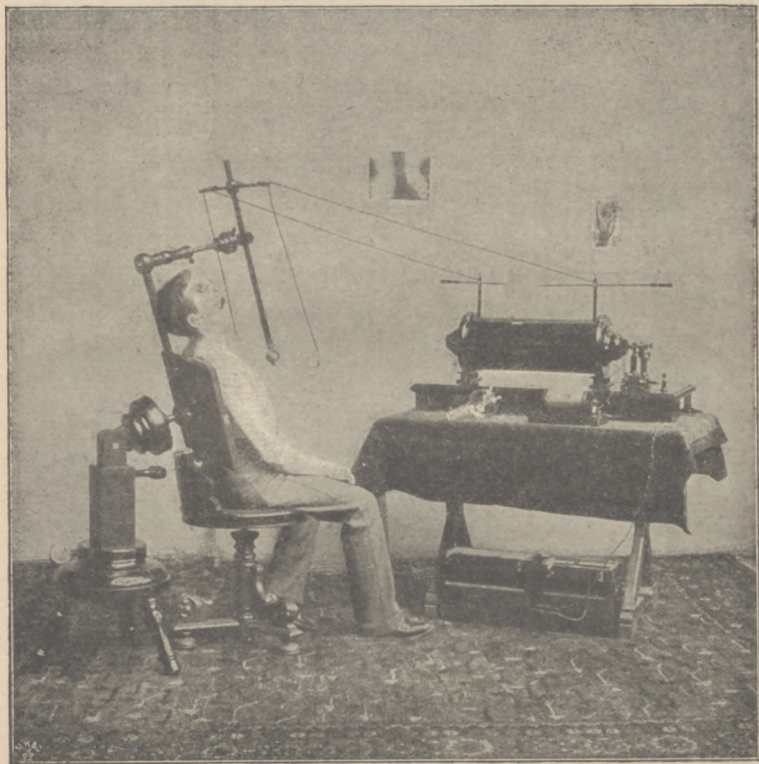


Fig. 93.

Eine andere, nicht medizinisch wichtige, aber physikalisch sehr hübsche Anwendung der Röntgenaufnahmen hat Herr Dr. phil. W. Leick im hiesigen Institut gemacht, nämlich die Fixierung magnetischer Kraftlinien. Man legt dabei z. B. einen Magnetstab auf den Deckel einer die Platte enthaltenden Kassette, auf

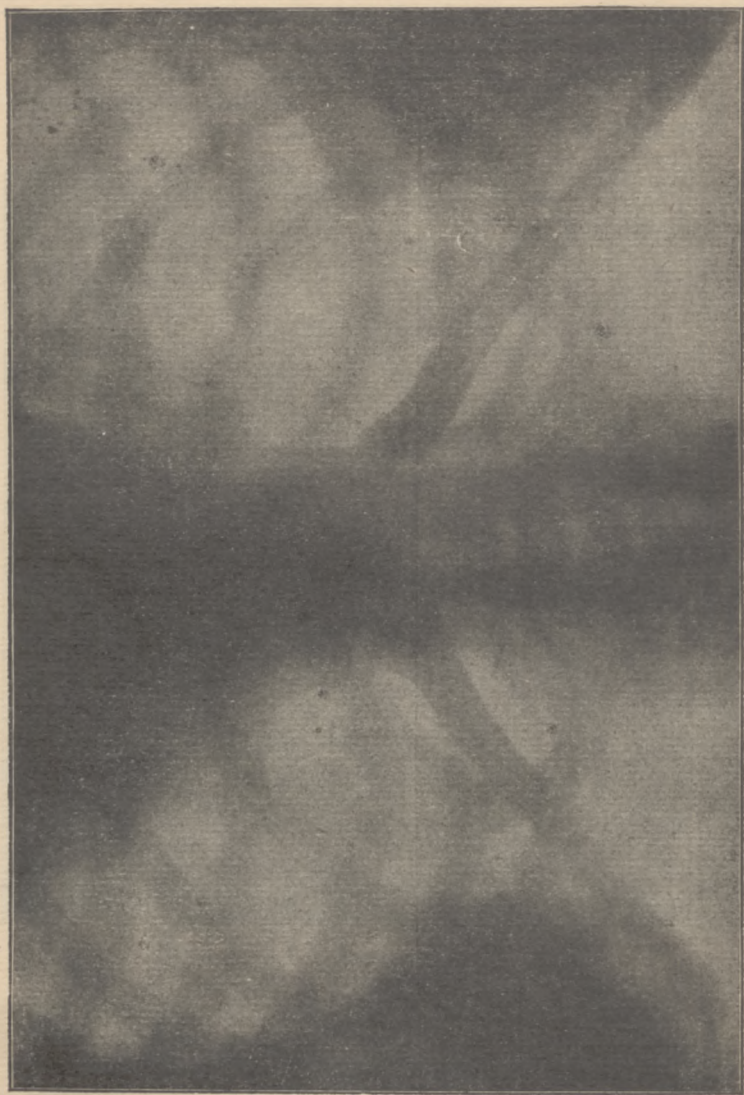


Fig. 94.

den Magnetstab ein Blatt Karton, schiebt auf dieses die Eisenfeilspäne, die beim Klopfen sich in Richtung der Kraftlinien aneinanderhängen. Dann läßt man Röntgenstrahlen auffallen, und erhält auf der photographischen Platte in Folge der geringen Durchlässigkeit von Eisen ein getreues Schattenbild der Kraftlinien. In dieser Weise sind z. B. die den Fig. 63 und 64 auf S. 100 und 102 zu Grunde liegenden Originale hergestellt. Diese und andere Originalaufnahmen von Kraftlinien sind in den „Fortschritten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen“, Band 2, S. 165, 1899 beschrieben und photographisch verkleinert reproduziert (wie es auch die Fig. 63 und 64 sind).

5. Über das Wesen der Kathoden- und der Röntgenstrahlen.

Zum Schluß wollen wir nun noch einmal auf die Frage nach dem Wesen von Kathoden- und Röntgenstrahlen zurückkommen. Wie schon auf S. 126 erwähnt, hat insbesondere in neuester Zeit die Anschauung einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit erlangt, daß die **Kathodenstrahlen** die Bahnen materieller Teilchen sind, welche die Kathode mit negativer Ladung verlassen. Von den demonstrierten Eigenschaften spricht die Bewegung der von ihnen getroffenen Hindernisse sehr für materielles Bombardement, und die magnetische Ablenkbarkeit für den Transport von Elektrizität. Aus Analogie mit anderen Erscheinungen läßt sich vermuten, daß die Ladung jedes Teilchens dieselbe ist, wie die negative Ladung eines Chloratoms, die aus der Elektrolyse von Chlorwasserstoffsäure berechnet werden kann. *) Es muß aber merkwürdigerweise geschlossen werden, daß die Masse jedes Teilchens in den Kathodenstrahlen weit kleiner ist als die eines Atoms. Dem Namen Atom d. h. „Untheilbares“ zum Troß müßte dann also ein Zerfall der Materie in noch kleinere Teilchen angenommen werden, was man bisher für unmöglich gehalten, oder für welche Möglichkeit man doch bisher noch keinen tatsächlichen Anhalt hatte.

Von den **Röntgenstrahlen** erwähnen wir zunächst noch die Eigenschaften, daß sie nicht, wie die Kathodenstrahlen, vom

*) Siehe die auf S. 104 und in der Anmerkung auf S. 85 erwähnten Arbeiten.

Magneten abgelenkt werden, und daß nichts von Bewegung getroffener Hindernisse zu beobachten ist; beides spricht gegen die Auffassung als Bahnen materieller, geladener Teilchen wie bei den Kathodenstrahlen. Dagegen würde die Annahme, daß die Röntgenstrahlen Wellen im Äther sind, manches für sich haben. Wellenbewegungen im Äther mit Bildung von geradlinigen Strahlen kennen wir in den Hertz'schen Wellen und den Lichtwellen. Von diesen unterscheiden sich aber die Röntgenstrahlen gewaltig in ihren Eigenschaften. In den Hertz'schen haben wir elektrische Wellen im Äther von Meterlänge herab bis zu Centimeterlänge. In den dunklen Wärmestrahlen, wie sie z. B. von einem heißen, aber nicht glühenden Ofen ausgestrahlt werden, haben wir elektrische Wellen von einer größten nachgewiesenen Länge von etwa ein Zwanzigstel mm bis zu einer kleinsten von etwa ein Tausendstel mm; da sie bei der spektralen Zerlegung jenseits des roten Endes des Spektrums liegen, heißen sie auch ultrarote Strahlen. Wellen von noch kleinerer Länge wirken aufs Auge; es folgen die roten bis violetten Wellen; letztere von etwa einem halben Tausendstel mm Länge.

Es giebt noch kleinere Wellen, die im Spektrum jenseits des violetten Endes liegen, die „ultraviolett“ Strahlen, wahrnehmbar durch photographische und durch fluorescenzerregende Wirkung, die man herunter bis zu einer Länge von etwa einem Zehntausendstel mm hat nachweisen können. Für nächst kleinere Wellen ist theoretisch vorausgesagt und experimentell bestätigt, daß sie auch von sonst sehr durchsichtigen Substanzen, wie Luft, stark absorbiert werden: noch stärker als dies für die nachweisbaren ultravioletten Strahlen der Fall ist. Kürzere Wellen im Äther kennen wir mit Sicherheit nicht. Von solchen, die noch sehr weit kürzer wären als die bekannten ultravioletten, sagt die Theorie voraus, daß sie durch die meisten Substanzen ohne Schwächung hindurchgehen: wie die Röntgenstrahlen. Jene sehr kleinen Wellen gehen zwischen den Molekeln der meisten Körper ebenso ungestört hindurch, wie etwa gewöhnliche Lichtwellen durch einen Statetenzaun. Je dichter freilich die Molekeln zusammenstehen, um so mehr werden jene überaus kurzen Wellen zurückgehalten. Aber, so sagt die Theorie weiter voraus, selbst durch dichte Substanzen, wie die schweren Metalle, schreitet derjenige Teil jener Wellen, welcher überhaupt noch hindurchgeht, mit derselben Geschwindigkeit fort, wie in den gut durchlässigen dünneren

Substanzen; es findet also z. B. keine Brechung einer durch ein Metallprisma hindurchgehenden Welle statt. Auch dieses merkwürdige Verhalten ist für die Röntgenstrahlen in der That nachgewiesen worden. Es kann also sehr wohl sein, daß wir in ihnen elektromagnetische Wellen, wie in den Hertz'schen und den Lichtwellen, aber von überaus kurzer Länge haben; jedoch ist diese Auffassung noch nicht sicher erwiesen. Bestätigt sie sich, so würden wir uns vorstellen können, daß der Anprall der von den Kathoden ausgehenden geladenen Teilchen gegen Hindernisse in deren elektrischen Atomladungen äußerst schnelle Oscillationen erregen, von denen dann die Röntgenstrahlen ausgesandt werden. Indessen sind über deren Natur auch andere Ansichten aufgestellt, welche keineswegs zwingend widerlegbar sind, z. B. sehr bemerkenswerte Theorien von Prof. Zehnder in Würzburg und von Dr. B. Walter in Hamburg, so daß man noch weitere Versuche abwarten muß, ehe man sich sichere Vorstellungen bilden kann.



