



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Ingenieur-Mathematik in elementarer Behandlung

Das Potential und seine Anwendung auf die Theorien der Gravitation, des Magnetismus, der Elektrizität, der Wärme und der Hydrodynamik

Holzmüller, Gustav

Leipzig, 1898

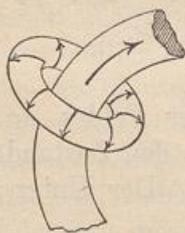
273) Elektrische Funken und Hertz'sche Schwingungen

[urn:nbn:de:hbz:466:1-77934](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-77934)

trischen Strahl, so zeigt derselbe in der Meridianebene AMX elektrische Schwingungen, in der Ebene XMY elektromagnetische Wellen. Da die Wellenschraffierung in beiden Ebenen senkrecht gegen die Strahlrichtung liegt, so spricht man auch hier von Transversalwellen, die in der Richtung MX fortschreiten.

f) Vorgang bei Kreisströmen. Bei Kreisströmen bilden die Ebenen der Wirbelringe nicht eine Parallelschar, sondern ein Ebenenbündel. In Fig. 211 ist das Lagenverhältnis veranschaulicht. Die nachstehenden Erörterungen über die Hertz'schen Wellen werden nähere Aufklärungen über den Zustand des Feldes bringen.

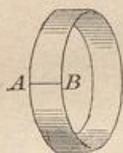
Fig. 211.



Dem Leser bleibe es überlassen, die Zeichnung zu vervollständigen und zu zeigen, daß in der Nähe des Mittelpunktes die Wirbelringe zu je zweien gleichgerichteten Drehungssinn haben, so daß, wie ein zwischengelegtes Hilfspartikelchen zeigt, ein gegenseitiges Unterstützen stattfindet.

g) Zugspannungen und Abstofsungsbestreben zwischen den Kraftlinien des elektromagnetischen Feldes. Bei den Wirbelringen handelte es sich um Aufnehmen und Abgeben von Energie, also war eine Art von Beharrungsvermögen anzunehmen. Mit dieser Annahme aber muß notwendigerweise auch die aus der Beharrung hervorgehende Centrifugalkraft als vorhanden angenommen werden. Ist also das Material der rotierenden Ringe elastisch oder in sich verschiebbar, so werden durch die Centrifugalkraft die Ringe ein Anschwellungsbestreben zeigen. Sie brauchen bei stärkerer Drehung mehr Raum und stoßen sich gegenseitig ab. Dadurch nun,

Fig. 212.



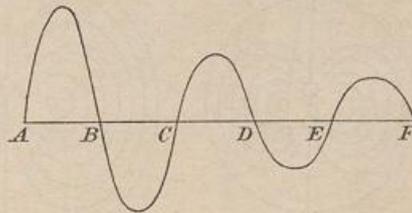
daß die Oberfläche jedes Ringes sich in diesem Sinne vergrößern will, wird zugleich ein Kontraktionsbestreben hervorgerufen. Man denke sich z. B. ein Gummiband nach Art der Fig. 212 über einen Cylinder gespannt, dessen Durchmesser nach Art des Kegels allmählich an Länge zunimmt. Je größer die Peripherie des Gummibandes wird, um so mehr wird seine Breite AB abnehmen. Jede Wirbelfläche also erhält ein Kontraktionsbestreben, der Ring will seine Mittellinie verkürzen. Damit sind beide Arten von Spannungen in den Kraftlinien erläutert und erklärt.

Der gleichzeitig in den Meridianebenen stattfindende elektrische Zwangszustand wird nach Art des elektrostatischen zu erläutern sein und bedarf keiner weiteren Besprechung.

273) Elektrische Funken und Hertz'sche Schwingungen. Feddersen hat, wie schon bemerkt, die Beobachtung gemacht, daß

bei Anwendung schnell rotierender Spiegel das Bild des überspringenden elektrischen Funkens als eine Reihe getrennter elektrischer Linien gleichen Abstandes erscheint. Er vermutete daher, daß jede elektrische Entladung als eine Oszillationsentladung zu betrachten sei, was durch weitere Beobachtungen bestätigt wurde. Das oben Gesagte reicht hin, die Sache aufzuklären. Der elektrische Funke durchbricht unter hoher Spannung das Dielektrikum wie ein gewaltiger elektrischer Strom, so daß sich rings um ihn Wirbelringe von außerordentlicher Drehungsenergie bilden. Ist der Ausgleich der nach älterer Anschauung gegenüberstehenden Elektrizitäten erfolgt, so entsteht die Erscheinung des Öffnungsextrastroms, indem z. B. der erste Wirbelring die im umschlossenen Raume befindlichen elektrischen Teilchen vorwärts schleudert und den ursprünglich negativ geladenen zweiten Konduktor positiv ladet. Hat sich das Wirbelfeld hinlänglich beruhigt, so veranlaßt die neue positive Ladung einen entgegengesetzt überspringenden Funken, der auch das Feld in entgegengesetzte Wirbelrotation versetzt, die nun entsprechend wirkt. So wiederholen sich in äußerst kurzer Zeit zahlreiche Oszillationen, die mit einem stark abnehmenden Wechselstrom verglichen werden können und ein Veranschaulichungsbild in den Pendelschwingungen der Mechanik haben.

Fig. 213.



Solches geschieht nicht nur bei der Entladung einer Leydener Flasche, sondern auch bei den Öffnungsfunken der Nebenrolle eines Ruhmkorffschen Funkeninduktors. Folgen solche in der Zahl 1000 aufeinander, und bedeutet jeder 1000 Schwingungen, so hätte man einen Wechselstrom von der Periodenzahl einer Million. Man hat es aber bei den Teslaschen Versuchen bis 50 Milliarden Schwingungen in der Sekunde gebracht. Betrachtet man die funkengebenden Konduktoren mit ihren Ladungen im Zustande der Ruhe, so bilden sich im Raume die in Fig. 70 dargestellten Kraftlinien. Dieses System hat man sich jetzt beweglich, die zu seiner Entstehung nötigen Einwirkungen der Moleküle aufeinander als im Raum fortschreitend zu denken. Wie die magnetelektrischen Schwingungen nach ihrer Bildung vom Leiter abgelöst dem unendlichen Bereiche zuströmen, so ist es auch mit diesen Kraftlinien der Fall. Werden die Kugeln entladen, so ist es, als ob man plötzlich zwei Konduktoren entgegengesetzter Ladung herangebracht hätte, was Einschnürung und Ablösung der Anfangsteile bei den aufeinander folgenden Kraftlinien veranlaßt. (Vgl. das Ein- und Abschnüren der Kraftlinien bei der Aneinanderbewegung der

in Fig. 166 dargestellten Magnete.) Dieser eine Teil geht zur Funkenstrecke zurück, der Rest bewegt sich dem unendlichen Bereiche zu, ist also vom Apparate selbst abgelöst.

Es ist ähnlich wie in der Akustik. Denkt man sich die Wellen in einer Orgelpfeife durch einen hin und her schwingenden Kolben hervorgebracht, so schreitet die Verdichtungswelle vorwärts, die Luftteilchen machen nur Oszillationen um eine feste Lage. Ein Teil der Luftteilchen kehrt mit dem Kolben zurück, während die übrigen Teile mit der Welle noch vorwärts wandern.

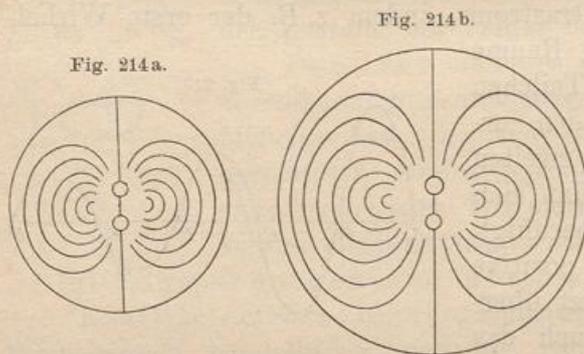


Fig. 214a.

Fig. 214b.

Dasjenige, was hier vorwärts wandert, ist die elektrische Polarisation der Moleküle des Dielektrikums, die sich bei der Entladung teilweise nach der Funkenstrecke zurückzieht, während die losgelösten Teile der Polarisationslinien weiter wandern.

Wie dies geschieht erkennt man aus den folgenden, im Anschlusse an Hertz dargestellten Zeichnungen. In jeder Figur deutet der äußerste Kreis die Kugel an, bis zu deren

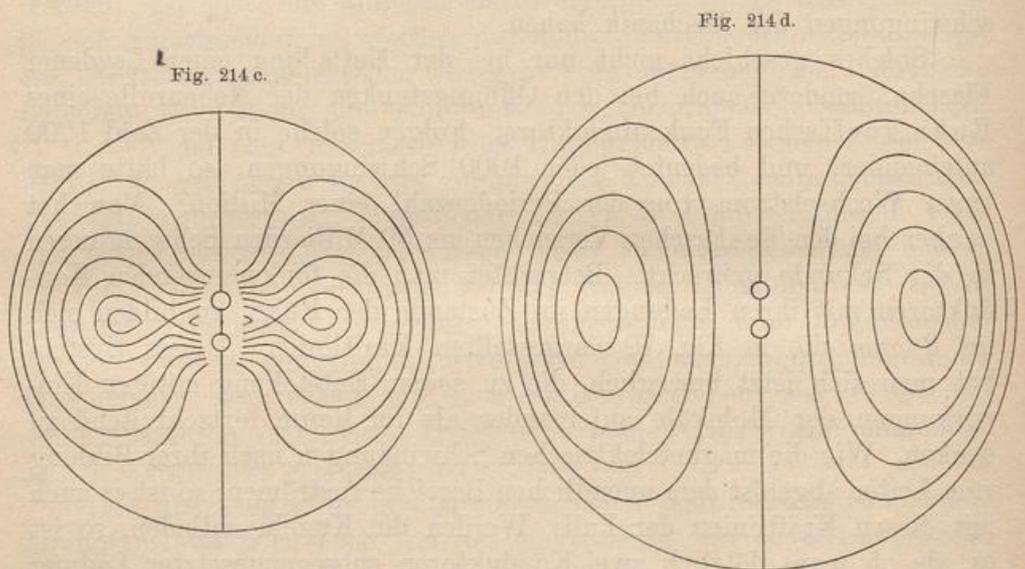


Fig. 214c.

Fig. 214d.

Oberfläche die Wirkung der ersten Ladung vorgeschritten ist. Die Geschwindigkeit ihres Anwachsens giebt die Fortpflanzungsgeschwin-

digkeit der elektrodynamischen Einwirkungen in dem betreffenden Raume. In Fig. 214c ist die Entladung bereits erfolgt, so daß die Ladung der zweiten Kugel beginnen will. Die innersten Kraftlinien haben sich nach erfolgter Einbuchtung

bereits je in zwei Teile getrennt, von denen der eine zur Funkenstrecke zurückkehrt, der andere als geschlossene Linie nach außen wandert. Ist dieser Ablösungsprozefs vollendet, so wird Fig. 214d maßgebend. In der folgenden Figur

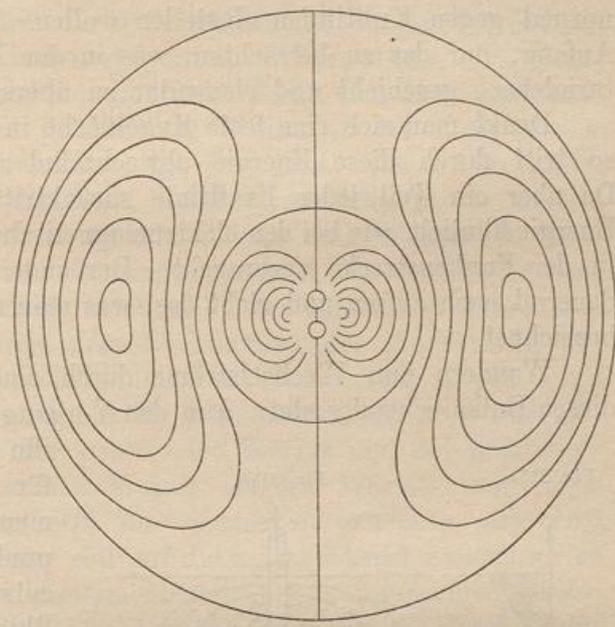
ist die Wirkung der Ladung des zweiten Konduktors bereits sichtbar. Die Richtung der Kraftlinien ist der früheren entgegengesetzt zu denken. Die benachbarten Kraft-

linien der beiden Systeme sind daher gleich gerichtet, es findet also gewissermaßen Abstosung, ein Drängen nach außen statt. Die nun folgenden Figuren zeichne der Leser selbst. Die Bedeutung der Kraftlinien besteht darin, daß in ihnen jene elektrischen Molekularverschiebungen stattfinden, von denen schon oft gesprochen wurde. Die Lagerung der Moleküle entspricht in jedem Momente der Tangente der in diesem Zeitpunkte passierenden Kraftlinie.

Man denke sich durch den Mittelpunkt jeder Figur eine horizontale Normalebene zur Zeichnung gelegt. Auf dieser stehen sämtliche Kraftlinien senkrecht. Sie ist die Hauptebene für die elektromagnetische Wellenbewegung, die von den Funkenwechselströmen herrührt. Damit vergleiche man Fig. 210, die beide Vorgänge schematisch darstellt. Beide unterstützen sich gegenseitig, denn die elektrische Verschiebung wirkt wie ein elektromagnetische Drehungen hervorrufender Strom, umgekehrt ruft die elektromagnetische Welle elektrische Verschiebungen hervor. Die Nullstellen der einen Bewegung entsprechen den Maximalstellen der anderen. Folglich:

Die elektrodynamischen und elektromagnetischen

Fig. 214 e.



Schwingungen pflanzen sich mit derselben Geschwindigkeit im Raume fort.

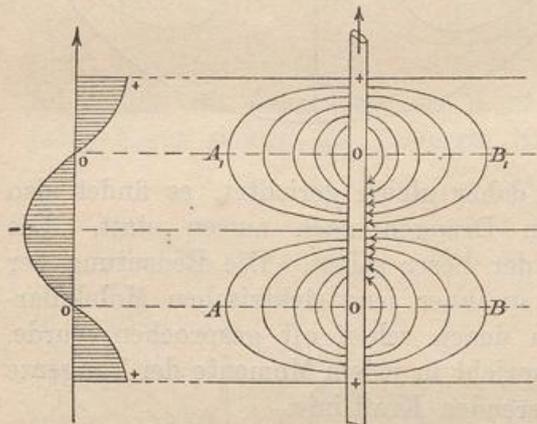
Für die der besprochenen Äquatorialebene benachbarten Raumpunkten findet dasselbe statt, in größerer Entfernung wird die Gestaltung der elektromagnetischen Wellen komplizierter, da sie sich überall normal gegen Kraftlinien einstellen wollen. Es genügt aber für den Anfang, nur das zu betrachten, was in der Nachbarschaft der Äquatorialebene geschieht und elementar zu übersehen ist.

Denkt man sich eine feste Kugelfläche in der Nähe des Centrums, so tritt durch diese Energie abwechselnd nach außen und innen. Da aber ein Teil jeder Kraftlinie zurücktritt, so wird ein Teil der Energie ähnlich, wie bei den elektromagnetischen Drehbewegungen, in der Funkenstrecke verbraucht. Der andere Teil der Energie tritt dauernd nach außen und giebt das, was man als elektrische Strahlung bezeichnet.

Wandern nun Wechselströme durch einen Draht, so findet bei diesen Entsprechendes statt. Um den Vorgang zu begreifen, denke man

Fig. 215 a.

Fig. 215 b.



ihn sich statisch, indem man für einen bestimmten Moment die Ladung jedes Drahtpunktes sich der Sinuslinie entsprechend denkt, so daß Plus- und Minusstellen in gleichen Abständen aufeinander folgen und zwischen je zweien eine Nullstelle liegt. Dies ist in Fig. 215 a dargestellt. Fig. 215 b giebt die dazu gehörigen elektrostatischen Kraftlinien in ihrem ungefähren Verlaufe.

In der Ebene AB denke man

sich die entsprechende elektromagnetische Polarstation. Denkt man sich nun die starr gedachte Figur mit dem Strome fließend, so hat man ein ungefähres Bild dessen, was geschieht. Dabei übernehmen AB und A_1B_1 die Rolle der Äquatorialebenen des vorigen Problems. Die Figur ist durch Rotation um die Drahtachse vervollständigt zu denken.

Bei einem kontinuierlich und stationär in derselben Richtung fließenden Strome sind sämtliche Normalebene mit elektromagnetischen Wirbelringen erfüllt zu denken und senkrecht gegen diese Ebene bleibt an jeder Stelle dauernde elektrische Verschiebung bestehen. Dies dürfte hinreichen, von dem Zustande des Mediums in der Umgebung von Drähten ein vorläufiges Bild zu geben.

Ist nun das Licht, wie seit Maxwell angenommen wird, eine elektrische Erscheinung, so müssen dabei sowohl die elektromagnetischen, als auch die elektrodynamischen Schwingungen stattfinden. Ist z. B. Licht polarisiert, so finden sowohl in der Polarisationssebene, als auch in der senkrecht dagegen stehenden, Schwingungen statt. Denn angenommen, die einen wären nicht vorhanden, so würden sie auf der Stelle durch die anderen induziert werden. Während also bisher zwei Schulen, die Neumannsche und die Fresnelsche, sich darüber stritten, ob die Schwingungen des polarisierten Lichtes in der einen oder in der anderen Ebene stattfänden, zeigt sich jetzt, daß sie in beiden stattfinden, und zwar in der einen elektrodynamische, in der anderen elektromagnetische. Licht, strahlende Wärme und Elektrizität unterscheiden sich nur durch die Schwingungszahlen, die beim Licht nach Billionen, bei der Elektrizität nach Millionen zählen. Angenommen, man wäre imstande, durch Vervollkommnung der Hertzschen und Teslaschen Versuche die Schwingungen der Funkenentladungen derart zu vermehren, daß Billionen auf die Sekunde kämen, so würde man direkt die Erscheinungen der strahlenden Wärme und des Lichtes erhalten, d. h. die Hertzschen Wellen würden Wärme- und Lichtempfindungen hervorrufen. Ob dies jemals zu erreichen sein wird, bleibe dahingestellt. Ebenso soll auf die verschiedenen Äthertheorien, die mit diesen Ergebnissen zusammenhängen, nicht eingegangen werden. Wohl aber soll der Versuch gemacht werden, über gewisse Geschwindigkeitsverhältnisse aufzuklären.

274) Hilfsbetrachtung aus der Mechanik. Bei der Kreisbewegung mit konstanter Geschwindigkeit sind Centrifugal- und Centripetalkraft gleich $\frac{4mr\pi^2}{t^2}$, die Beschleunigung beider ist $g = \frac{4r\pi^2}{t^2}$, also die Umlaufzeit $t = 2\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$. Ist für eine zweite Kreisbewegung $t_1 = 2\pi\sqrt{\frac{r_1}{g_1}}$, so stimmen beide Zeiten überein, wenn $\frac{r}{g} = \frac{r_1}{g_1}$ ist, d. h. wenn die Radien sich verhalten wie die Beschleunigungen, oder auch wie die Centrifugalkräfte.

Projiziert man eine solche Bewegung auf einen Durchmesser des Kreises, so erhält man bekanntlich die Sinusversusbewegung. Dabei wird zugleich die Centrifugalkraft auf den Durchmesser projiziert, was für die Lage α des Radius die Komponente $p \cos \alpha$ giebt. Nur diese ist auf die Bewegung von Einfluß, nicht aber die andere Komponente $p \sin \alpha$. Die Geschwindigkeit in jedem Punkte wird

$$v = c \sin \alpha = \frac{2r\pi}{t} \sin \alpha = \frac{2r\pi}{2\pi\sqrt{\frac{r}{g}}} \sin \alpha = \sin \alpha \sqrt{\frac{g}{r}},$$