

Delivery Note

ETH Libraries Zurich
Raemistr. 101
CH-8092 Zuerich

Fon: 0041 44 632 21 52
Fax: 0041 44 632 10 87
E-mail: docdel@library.ethz.ch

Delivery address

Library - Document Ordering Department
National Hellenic Research Foundation / National Documentation Centre
48 Vas. Constantinou Ave
GR-11635 Athens

Data concerning order:

Order date: 2021-09-23 13:20:42
Order number: SUBITO:2021092300537 / E001391787
Customer name: National Hellenic Research Foundation / National Documentation Centre
User account: SLI05X00388E

Delivery date: 2021-09-23 14:09:12
Delivery priority: NORMAL
Delivery way: Email
E-mail address: dds@ekt.gr

Remarks concerning delivery:

Data concerning document:

Signature: P 73967 ETH-BIB E01
Author:
Title: Physikalische Zeitschrift
Year: 1909
Volume / Issue: 10
Pages: 804-
Author of article: Hondros, D.
Title of article: Ueber symmetrische und unsymmetrische elektromagnetische...
ISSN: 2366-9373
ISBN:
CODEN:

Your comment concerning the order:

02SI200921

subito copyright regulations



Copies of articles ordered through subito and utilized by the users are subject to copyright regulations. By registering with subito, the user commits to observing these regulations, most notably that the copies are for personal use only and not to be disclosed to third parties. They may not be used for resale, reprinting, systematic distribution, emailing, web hosting, including institutional repositories/archives or for any other commercial purpose without the permission of the publisher.

Should delivery be made by e-mail or FTP the copy may only be printed once, and the file must be permanently deleted afterwards.

The copy has to bear a watermark featuring a copyright notice. The watermark applied by subito e.V. must not be removed.

behauptet, daß in einer Funkenstrecke eine elektromotorische Kraft auftrete. Ich prüfte das nach und fand es nicht bestätigt — es mag das etwa 25 Jahre her sein —, Hertz'sche Wellen waren damals noch nicht bekannt und vielleicht würde ich heute manches anders deuten. Deshalb interessiert es mich, ob in einer Funkenstrecke eine elektromotorische Kraft auftritt. Ich meine, man kann sich die Sache auch anders vorstellen und ich möchte an dem Bild 7 meine Auffassung erklären; bei den anderen Versuchen kann es dann ähnlich sein. (Das Zimmer wird verdunkelt und Redner spricht im verdunkelten Zimmer mit Erläuterungen an der Figur.) In den parallelen am Ende kurz geschlossenen Drähten ist dann selbstverständlich, daß

$$\int i dt = 0$$

sein muß. Was hineingeht, geht auch zurück. Wenn die beiden Drähte isoliert sind, fließt alles hin und her. Wenn ich aber am Ende eine kleine Funkenstrecke einschalte, so geht nun die Strömung durch den Funken hin und her, aber nicht bis zum Ende einer Schwingung. Der Funke reißt früher. Denken Sie sich eine nach rechts gedämpfte Sinuslinie horizontal gezeichnet, so hebt sich die positive und negative Integralfläche auf, und wenn Sie rechts einen kleinen Schwanz wegwischen, so kann dieser Schwanz je nach der Stelle, wo ich wegwische, null oder positiv oder negativ sein; wenn ich also abwärts, kann ich im Reste null oder minus oder plus bekommen.

Das wäre eine der vielen möglichen Erklärungen.

Gerade daß man eine von der Größe des Funkens abhängige elektromotorische Kraft bekommt, läßt eine solche Erklärung, wie ich sie angedeutet habe, als nicht unmöglich erscheinen.

Kiebitz: Es ist doch wohl denkbar, daß diese Erklärungsweise auch unter die vorgelegte Theorie fällt, und den besonderen Fall darstellt, wo der Widerstand plötzlich unendlich groß wird.

Was die Übertragung der Erscheinungen auf die drahtlose Telegraphie anlangt, so möchte ich darauf aufmerksam machen, daß die Detektoren der Empfänger ganz allgemein ähnlich wie die hier gezeigten Funkenstrecken die Aufgabe haben, Schwingungen in Gleichstrom umzuwandeln. Ich habe auf den Bleiglanzdetektor hingewiesen, weil man mit diesem ganz ähnliche Versuche anstellen kann. Aber ich glaube, auch die anderen Detektoren begreifen sich unter der vorgelegten Theorie. Den einfachsten Fall eines Detektors, dessen Mechanismus ohne weiteres zu übersehen ist, stellt der

Ticker dar; er besteht aus einem vibrierenden Kontakt, also aus einem Leiter, dessen Widerstand durch äußeren Eingriff abwechselnd sehr groß und sehr klein gemacht wird.

v. Geitler: Die Theorie ergibt eine Gleichstromkomponente und eine Wechselstromkomponente. Folglich kann ich es mir so vorstellen, daß dem Gleichstrom eine konstante elektromotorische Kraft entspricht, und dem Wechselstrom eine periodische. In diesem Sinne kann ich von elektromotorischen Kräften sprechen. Bei dem Versuch Fig. 7 glaube ich deutlich gezeigt zu haben, daß je nach der Größe des Funkens, von der der zeitliche Verlauf des Widerstandes abhängt, der eine Draht bald positiv, bald negativ, bald ungeladen ist, d. h. es sind durch das Zusammenwirken der periodischen Kraft und des variablen Funkenwiderstandes die Elektrizitäten in den beiden Drähten geschieden und aufgestaut worden; und eine Erscheinung, welche die Elektrizitäten zu scheiden imstande ist, nenne ich eine elektromotorische Kraft. Und dies glaube ich um so mehr tun zu dürfen, als ich in einer Reihe anderer Fälle zeigen konnte, daß hierdurch ein ganz beträchtlicher Gleichstrom erzeugt wird. Das ist mein Standpunkt. Ich glaube, was Prof. Lecher gesagt hat, läuft im Grunde auf ganz dasselbe hinaus, nur überlegt er sich mehr im einzelnen, woher die Wirkung rührt, wie ihr Mechanismus ist, während ich ganz allgemein sage, theoretisch ergibt sich bei variablem Widerstande die Möglichkeit eines Gleichstromes, gleichviel ob man die Ursachen der Variabilität des Widerstandes kennt oder nicht — und dem Gleichstrom, den ich auch experimentell nachweise, eine gleichgerichtete elektromotorische Kraft zuordne.

Krüger: Wenn die Erklärung von Professor Lecher richtig ist, so müßte der Gleichstromeffekt sich doch wohl dadurch ändern lassen, daß man den transformierenden Funken in Luft von höherem Druck überschlagen läßt, denn da würde das Abreißen des Funkens dann bei einer höheren Potentialdifferenz erfolgen. Ob eine solche Steigerung des Gleichstromeffektes auch nach der Erklärungsweise von Herrn v. Geitler zutrifft, läßt sich wohl nicht ohne weiteres angeben.

An der Diskussion beteiligten sich weiter die Herren J. Stark (Aachen), H. Barkhausen (Charlottenburg).

D. Hondros (München-Athen), Über symmetrische und unsymmetrische elektromagnetische Drahtwellen.

Unter elektromagnetischen Drahtwellen verstehe ich elektromagnetische Störungen, die

sich längs eines Drahtes ohne seitliche Ausstrahlung fortpflanzen.

Sämtliche bisherigen theoretischen Untersuchungen, die sich mit Drahtwellen an einem Einzeldraht beschäftigten, ich erwähne die bekannte Arbeit von Sommerfeld¹⁾, setzten eine allseitige Symmetrie des Feldes um den Draht voraus und haben zu Resultaten geführt, die sich mit der Erfahrung in befriedigender Weise decken, indem sie die Möglichkeit einer Welle ergaben, welche sich mit fast Lichtgeschwindigkeit und sehr kleiner örtlicher Dämpfung fortpflanzt. Offen aber bleibt: erstens ist diese Welle die einzig mögliche symmetrische Welle; zweitens, wie sind die gewiß vorhandenen unsymmetrischen Wellen beschaffen, und drittens, warum wird auch bei ausgesprochen unsymmetrischer Erregung der Vorgang durch diese eine bekannte Welle bestimmt.

Diese Fragen zu beantworten, habe ich mir auf Anregung von Herrn Prof. Sommerfeld zur Aufgabe gestellt.

Der Gang der Untersuchung ist der bei ähnlichen Problemen übliche: Lösung der Maxwell'schen Gleichungen unter Annahme ungedämpfter zeitlicher Periodizität, wellenförmiger Ausbreitung in der Richtung der Drahtachse und harmonischer Abhängigkeit des Feldes vom Azimut in der Form $\begin{pmatrix} \cos \\ \sin \end{pmatrix} n\varphi$. Aus den Grenzbedingungen erhalten wir dann eine ziemlich komplizierte transzendente Gleichung, deren Wurzeln uns Geschwindigkeit und Dämpfung der Welle ergeben.

Das Resultat der Untersuchung war folgendes:

Was die Verteilung der Feldkomponenten anbetrifft, haben wir drei Wellentypen zu unterscheiden:

1. Einen symmetrischen Wellentypus, den gewöhnlich untersucht, bei dem die elektrische Kraft in den Meridianebenen verläuft, die magnetische Parallelkreise um die Drahtachse bildet. Diesen Typus nenne ich den elektrisch-symmetrischen.

2. Einen ebenfalls symmetrischen Typus, bei dem die elektrische Kraft Parallelkreise bildet, die magnetische in den Meridianebenen verläuft. Diesen Typus nenne ich den magnetisch-symmetrischen.

3. Einen allgemeinen unsymmetrischen Typus, bei dem das Feld rings um den Draht in eine ganze Anzahl kongruenter Gebiete geteilt wird, und die elektrischen wie auch die magnetischen Kraftlinien keine ebenen, sondern krumme Kurven bilden.

In bezug auf die Fortpflanzungsverhältnisse haben wir eine weitere Unterscheidung zu treffen.

Im ersten elektrisch-symmetrischen Typus haben wir zunächst die schon bekannte, von Sommerfeld untersuchte Welle, welche hauptsächlich durch ihre geringe Dämpfung gekennzeichnet wird. Diese nenne ich die Hauptwelle. Neben der Hauptwelle haben wir aber eine ganze Serie von Wellen, die ich als Nebenwellen bezeichne, und die durch sehr große Dämpfung charakterisiert sind. In den übrigen beiden Typen, dem magnetisch-symmetrischen und dem allgemeinen unsymmetrischen, fehlt die Hauptwelle, und wir haben nur die Nebenwellenserie, welche im letzten Typus eine doppelte ist.

Diese Nebenwellen möchte ich jetzt etwas ausführlicher beschreiben.

Die Erklärung der schon erwähnten großen Dämpfung finden wir in einer eigentümlichen Umkehrung des Skineffektes. Bei der Hauptwelle entwickelt sich bekanntlich ein starker Skineffekt im Drahte, der ganze Vorgang spielt sich in einer sehr dünnen Oberflächenschicht des Drahtes ab, daher geringe Joulesche Wärmeentwicklung und entsprechend kleine Dämpfung. Im Außenraume nimmt die Feldstärke in der Nähe des Drahtes langsam radial ab. Ganz anders bei den Nebenwellen. Der Skineffekt entwickelt sich, und zwar sehr stark, im umgebenden Dielektrikum, der Draht dagegen wird fast gleichmäßig vom Felde erfüllt, daher große Energievergeudung und große Dämpfung.

Diese Vertauschung der Rollen der beiden Medien tritt auch im Kraftlinienbilde deutlich in die Erscheinung.

Bei der Hauptwelle haben wir das bekannte Bild der elektrischen Kraftlinien, wie es in Fig. 1 schematisch angedeutet ist.

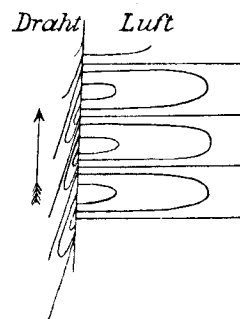


Fig. 1.

Die geradlinigen Kraftlinien verlaufen im Außenraume fast senkrecht zur Drahtoberfläche mit einer geringen Neigung nach vorn, im

1) Sommerfeld, Wied. Ann. 67, 233, 1899.

Inneren des Drahtes sind sie entsprechend dem Skineffekte stark nach hinten geneigt.

Die Kraftlinien einer Nebenwelle zeigt uns die Fig. 2.

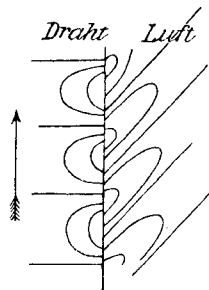


Fig. 2.

Im Außenraume Neigung nach vorne ungefähr um 45° , im Innern dagegen fast senkrechte Stellung der Kraftlinien.

Zum Schluß möchte ich das Gesagte durch ein numerisches Beispiel illustrieren.

Ich betrachte einen Kupferdraht von 4 mm Durchmesser bei einer Schwingungsdauer von 10^{-9} sec. Dieser Schwingungszeit würde im freien Raum eine Wellenlänge von 30 cm entsprechen. Unter diesen Verhältnissen findet Sommerfeld für die Hauptwelle eine Geschwindigkeit $v = 3 \cdot 10^{10} (1 - 2,7 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$, also nahezu Lichtgeschwindigkeit. Die Dämpfung ist so gering, daß die Wellenamplitude erst nach Zurücklegung einer Strecke

$$S = 1,6 \cdot 10^5 \text{ cm} = 1,6 \text{ km}$$

auf $1/e$ reduziert wird. Für irgendeine der ersten Wellen der symmetrischen oder unsymmetrischen Nebenwellenserien finden wir dagegen als Geschwindigkeit $v = 3 \cdot 10^{10} \cdot 4,1 \cdot 10^{-5} = 12,5 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$, und die Dämpfung ist so groß, daß die Wellenamplitude schon nach Zurücklegung der Strecke $S = 0,002 \text{ mm}$ auf $1/e$ reduziert wird.

Unter diesen Umständen dürfen wir wohl kaum hoffen, diese Nebenwellen bei metallischen Leitern beobachten zu können, andererseits aber haben wir die Erklärung dafür, daß auch bei unsymmetrischer Erregung der Wellen nur die eine symmetrische Hauptwelle zur Beobachtung kommt, indem von dem ganzen angeregten Komplex von symmetrischen und unsymmetrischen Haupt- und Nebenwellen alle bis auf die symmetrische Hauptwelle im Keime erstickt werden.

(Eingegangen 24. September 1909.)

Diskussion.

Hasenöhr! Der Vortragende hat ein Beispiel mit einer sehr kleinen Schwingungsdauer

angegeben. Ich möchte ihn fragen, ob er vielleicht auch den Fall einer großen Schwingungsdauer untersucht hat, wie sie etwa bei einem Telefongespräch statthat.

Vortragender: Nein, einen solchen Fall habe ich nicht untersucht.

Hasenöhr! Die Nebenwelle, die in dem ersten Beispiele auftritt, wie ist die angeregt?

Vortragender: Die Anregung der Drahtwellen geschieht durchaus unsymmetrisch. Die erregte unsymmetrische Störung allgemeinsten Charakters können wir uns nach Fourier als aus einem symmetrischen Teil, und solchen, die vom Azimut harmonisch abhängen, zusammengesetzt denken. Diese Bestandteile pflanzen sich nun als symmetrische und unsymmetrische Drahtwellen fort.

Planck: Bei der mathematischen Berechnung ist die Erregung doch wohl rein harmonisch?

Vortragender: Ja, weil wir sonst, wenn wir zeitlich rückwärts gingen, ein Anwachsen der Feldstärke ins Unendliche hätten. Herr Prof. Sommerfeld hat auch aus demselben Grunde in seiner Arbeit eine zeitliche Dämpfung ausgeschlossen.

Schaefer: Auch bei der symmetrischen Welle kann eine starke Dämpfung vorhanden sein, wie in der Sommerfeldschen Arbeit gezeigt ist.

Vortragender: Ja, wenn der Draht so dünn ist, daß der Skineffekt sich nicht ausbilden kann.

Schaefer: Bei Kruppindrähten könnte man die Geschwindigkeit der Hauptwelle, wie eine überschlägliche Berechnung mir gezeigt hat, auf etwa ein Viertel der Lichtgeschwindigkeit herabdrücken. Das ist, soviel ich weiß, experimentell noch nie versucht worden. Es liegt ja nahe, zu diesen Versuchen das Lechersche System zu benutzen, und durch Bestimmung der Knotenlagen die Veränderung als Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit dem Drahtradius zu bestimmen. Der Versuch ist aber so unausführbar, weil wegen der starken Dämpfung der Welle sich keine Interferenzen mehr ausbilden. Es würde aber vielleicht gehen, wenn man ein Resonatorengitter nähme und die Resonanzkurve desselben bestimmte; wenn man dann die Drähte, aus denen die Resonatoren bestehen, immer dünner und dünner machte, müßte sich das Resonanzmaximum allmählich verschieben, und diese Verschiebung würde einen Schluß auf die Geschwindigkeit der Welle im Metall gestatten. Es ist zwar das ein indirekter Beweis, aber es wäre doch wohl wünschenswert, wenn man das einmal ausführte.

Sommerfeld: Die langsamen Telephongespräche fallen unter die Theorie der Drahtwellen für sehr kleine Drahtdicken.

M. Laue (München), Thermodynamische Betrachtungen über die Beugung der Strahlung.

Daß die Wärmestrahlung Entropie besitzt, geht unmittelbar aus dem zweiten Hauptsatz hervor, da anderenfalls bei der Abkühlung eines Körpers durch Ausstrahlung die Entropie abnähme; es ist mir wahrscheinlich, daß dasselbe auch für alle anderen Strahlungsvorgänge gilt, welche durch molekulare Prozesse erregt werden. Damit ist aber gesagt, daß alle optischen Erscheinungen eine Beziehung zur Thermodynamik haben, daß sie die Entropie entweder vergrößern oder konstant lassen.

Den ersten Schritt zur Erforschung dieser Verhältnisse tat Planck¹⁾, indem er die Umkehrbarkeit der freien Ausbreitung der Strahlung nachwies. In der Tat kann man es durch geeignet geformte Spiegel aus vollkommen reflektierendem Material immer erreichen, daß ein Strahlenbündel ohne dauernde Veränderung einen und denselben Weg beliebig oft hin- und zurückläuft. In der thermodynamischen Wertung der Spiegelung und Brechung ging man freilich anfangs in die Irre; aus der Erniedrigung der Temperatur der Strahlung, die dabei auftritt, schloß man auf Unumkehrbarkeit, indem man auf Grund des Additionstheorems der Entropie die Entropie des Endzustandes als die Summe aus den Entropien des reflektierten und gebrochenen Strahles berechnete. Erst als sich zeigen ließ, daß gewisse Interferenzerscheinungen geeignet sind, die Spiegelung und Brechung vollständig rückgängig zu machen²⁾, erkannte man, daß der Zusammenhang zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit die Gültigkeit des Additionstheorems auf inkohärente Schwingungsvorgänge einschränkt, daß man aber zwei kohärenten Strahlen, wie es der reflektierte und gebrochene sind, eine wesentlich kleinere Entropie zuzuschreiben hat, als zwei inkohärenten unter sonst gleichen Umständen. So ließ sich feststellen, daß neben der freien Ausbreitung auch die Spiegelung und Brechung umkehrbar ist, daß also bei allen geometrisch-optischen Vorgängen die Entropie konstant bleibt.

Wie stehen nun aber alle anderen optischen Vorgänge, die man dem Sammelbegriff der Beu-

gungserscheinungen unterordnet, zur Thermodynamik? Seit W. Wien vor rund 15 Jahren die Strahlungstheorie neu belebte, gelten sie für irreversibel¹⁾, aber, soweit Beweise versucht wurden, auf Grund des Additionstheorems der Entropie. Diesen Beweisgrund können wir jetzt nicht mehr anerkennen, weil die Wellenkomplexe, die bei der Beugung eines Strahlenbündels entstehen, in allen ihren Teilen kohärent sind. Vorläufig ist diese Frage also noch nicht überzeugend beantwortet; im folgenden sollen einige Andeutungen gegeben werden, wie sie zu entscheiden ist. Ausführlichere Veröffentlichungen darüber in den Annalen der Physik stehen bevor.

Vorausgeschickt sei, daß bei der Frage nach der Umkehrbarkeit nur die Beugung an vollkommen spiegelnden oder vollständig durchsichtigen Körpern in Betracht zu ziehen ist; denn jede Absorption von Strahlung macht den Vorgang irreversibel, weil der absorbierte Bruchteil der Energie niemals in einer zu der ursprünglichen Schwingung kohärenten Form wieder zu erhalten ist. Auch die Vorgänge der geometrischen Optik sind nur bei fehlender Absorption umkehrbar. Dennoch wollen wir, um unser Resultat für die Gitterbeugung nachher einfacher aussprechen zu können, auch einen Beugungsvorgang mit Absorption dann als reversibel bezeichnen, wenn die Entropiezunahme bei ihm nur ebenso groß ist, wie wenn derselbe Bruchteil der Strahlungsenergie geometrisch-optisch vernichtet würde. Es ist dies dadurch gerechtfertigt, daß in solchen Fällen ein spezifischer Einfluß der Beugung auf die Entropiezunahme fehlt.

Leider ist es bisher nicht möglich, das Problem in voller Allgemeinheit anzugreifen; immerhin werfen die beiden thermodynamisch leicht zu behandelnden speziellen Fälle schon einiges Licht darauf. Es sind dies die Beugung des Lichtes an durchsichtigen Teilchen, deren Dimensionen gegen die Wellenlänge klein sind, und die Beugung an regelmäßigen Anordnungen vieler, gleicher, beugender Elemente, die wir nach ihrem typischsten Fall kurz als Gitterbeugung bezeichnen wollen.

a) Ich gehe zunächst auf die Beugung an kleinen durchsichtigen Teilchen ein. Rayleigh²⁾ hat bekanntlich gezeigt, daß ein kleines Teilchen bei der Bestrahlung mit einer ebenen Welle der Mittelpunkt einer optischen Kugelwelle von dem einfachsten Typus wird, der auch von einem schwingenden Dipol ausgeht.

1) M. Planck, Ann. d. Phys. (4) 1, 719, 1900.

2) M. Laue, Ann. d. Phys. (4) 20, 365, 1906; 23, 1 u. 795, 1907; Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 9, 606, 1907; diese Zeitschr. 9, 778, 1908; M. Planck, diese Zeitschr. 10, 62, 1909.

1) W. Wien, Wied. Ann. 52, 132, 1894, bes. S. 142; M. Planck, Ann. d. Phys. 1, 719, 1900, bes. S. 737; 6, 818, 1901; Enz. d. math. Wi-s. (5) 8, 291, 1909.

2) Lord Rayleigh, Phil. Mag. 12, 81, 1881.