26. *Ueber electroskopische Beobachtung Hertz'scher Resonatorschwingungen; von A. Toepler.*

Seitdem Branly das merkwürdige Verhalten eines Haufwerks von Metallspähnen gegen electriche Schwingungen entdeckt hat, und seitdem auf Grund dieser Entdeckung der sogenannte Coherer von Lodge in Verbindung mit dem Galvanometer ein ungemein empfindliches Hilfsmittel für das Experimentiren mit electricen Wellen geworden ist, hat die Anwendung des Electroskops auf diesem Gebiete an Interesse verloren. Nichtsdestoweniger dürfte die nachfolgende Mittheilung nicht ganz unnütz sein, wenngleich sie nur bezweckt, bekannte Thatfachen nach gewissen Richtungen zu ergänzen.

Wenn man mit der vielplattigen Influenzmaschine unter Anwendung eines Doppelcondensators in der von mir angegebenen Weise¹⁾ nicht zu kleine Oscillatoren kräftig erregt, so geben entfernt aufgestellte, gut abgestimmte, *einfache* Resonanzstäbe von den freien Enden Funkenströme mit messbarer Schlagweite ab. Hierbei könnte es auffallen, dass diese Funkenströme auf das sonst so empfindliche Blattelectroskop fast gar nicht wirken. Die Thatfache erklärt sich aus dem Umstande, dass jene Funkenströme eine Anhäufung von Electricität nicht veranlassen können. Sie bewirken, auf das Electroskop geleitet, nur schwache, rasch vorübergehende Ladungen, welche, wie man leicht einsieht, alsbald wieder durch bei entgegengesetztem Potentialzustande aus dem Resonatorende ausbrechende Fünkchen zerstört werden. Diese kurzdauernden, schwachen Ladungsstösse setzen die Metallblättchen um so weniger in merklliche Bewegung, als letztere durch unverhältnissmässig grossen Luftwiderstand gehemmt sind. Die Anwendung des Electroskops zu Hertz'schen Versuchen hat sich daher bekanntlich

1) Vgl. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. zu Berlin **19.** p. 269. 1892 und Wied. Ann. **46.** p. 306. 1892. Letztere Mittheilung will ich der Kürze halber im Text als Abh. I citiren, die daran anschliessenden Notizen in Wied. Ann. **46.** p. 464 u. 642. 1892 dagegen als Abh. II u. III.

bisher nur bei den Methoden von Boltzmann und Drude¹⁾ bewährt, welche die Resonanzfünken lediglich als leitende Brücke benutzten, um dem Electroskop das hohe Potential einer Trockensäule zuzuführen oder zu entziehen.

Es lag nun nahe, eine Anordnung des Electroskops zu versuchen, welche mit genügender Empfindlichkeit die Eigenschaft verbindet, schon auf rasch vorübergehende Ladungen durch sichtbare Bewegung zu reagiren. Eine derartige ballistische Vorrichtung, wie ich sie für meine Vorlesungen construirt habe, ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Hierin bedeuten *a* und *b* zwei cylindrische Metallstäbe von 4 und 8 mm Dicke, welche in einem schmalen, vorn und hinten durch

Fig. 1.

Glasplatten geschlossenen Gehäuse vertical aufgestellt sind. *a* ist isolirt, *b* steht durch die Metallwände des Gehäuses mit dem Erdboden (Gasleitung) in Verbindung. In dem etwa 2 mm breiten, spaltförmigen Zwischenraume zwischen *a* und *b* pendelt mittels einer besonderen Aufhängevorrichtung ein feines Aluminiumdrähtchen von nur 0,25 mm Dicke und etwa 8,5 cm Länge. Die Aufhängevorrichtung besteht im wesentlichen aus einer kurzen, feinen Stahlnadel, die von der abgerundeten Polspitze eines Magnets *m* frei herabhängt, wie aus der vergrößerten Zeichnung rechts oben noch besser zu erkennen ist. Durch Verschiebung eines Hilfsmagnets *m'* mit entgegengesetzten Polen kann *m* nöthigenfalls soweit geschwächt werden, dass

1) L. Boltzmann, Wied. Ann. 40. p. 399. 1890; P. Drude, Wied. Ann. 52. p. 499. 1894.

das Aluminiumpendelchen gerade noch getragen wird. Hierdurch wie durch den geringen Luftwiderstand ist dem Pendelchen die äusserste Beweglichkeit gesichert. Gegen Störung durch gelegentliches Abfallen sichert ein kleiner Hebel h , dessen ringförmiges Ende e die mit Seitenärmchen versehene Stahlnadel auffängt. Eine Hebung von h genügt, um das Pendel wieder an m anzuhängen. Für die Parallelstellung von a und b und zur Einstellung des Pendels in die Spaltmitte dienen Stellschrauben am Gehäuse und am Fusse. Eine Oeffnung o ermöglicht es, nach Beiseiteschiebung von m das Pendel mittels eines magnetischen Strickdrahtes aus dem Gehäuse zu nehmen. Ersteres besitzt etwa $\frac{1}{4}$ Sec. Schwingungsdauer.

Nun ist an a ein biegsames Zuleitungsdrähtchen d angeschraubt, welches durch die rechts befindliche Ebonitwand aus dem Gehäuse hervortritt. Dieses Drähtchen führt unmittelbar zu dem Messingbolzen B des Secundärfunkenmikrometers, dessen Anordnung ich in Abh. II, p. 475 beschrieben habe. In demselben sind nur die Ebonitlamellen durch mikrometrisch verstellbare Glasstreifen g und g' (Fig. 1) ersetzt, sodass der Schlagraum φ zwischen B und B' mit starker Lupenvergrösserung genau gemessen werden kann. Auf das rechts hervorragende Ende von B' ist der röhrenförmige Secundärstab s (Durchmesser 7 mm) aufgesteckt. Sein abgewandtes Ende ist in schon beschriebener Weise durch eine Seidenschnur beweglich unterstützt. Nach Obigem ist die Wirkungsweise der ganzen Anordnung verständlich. Bei φ überspringende Fünkchen hinterlassen auf dem isolirten System Bda Ladungen, welche dem Aluminpendel Schwingungsimpulse ertheilen, die durch die leicht zu überblickenden Influenzwirkungen verstärkt werden, da das Pendel durch Magnet und Gehäuse mit b metallisch verbunden ist. Geht bei φ ein rascher Strom von Secundärfunken über, so fährt der Aluminiumfaden in seinem Spalt-räume heftig und unregelmässig hin und her, was durch eine Linse L bequem zu beobachten oder zu projeciren ist. Gelegentliches Anhaften des Fadens ist durch Klopfen zu beseitigen.

Die beschriebene Vorrichtung ist kein Messinstrument, sie soll nur zu den gewöhnlichen Schwingungsversuchen dienen. Jedoch besitzt sie eine sehr grosse Empfindlichkeit. Ich will ihre Anwendung unter Zugrundelegung der Oscillatoranregung

mittels Condensatormethode an Fig. 2 noch näher erläutern. M bedeutet hierin die durch die Metallumrahmung nach aussen abgeschirmte, 20plattige Influenzmaschine. Auf ihrem Gehäuse sind zwei Leydener Flaschen (Beleghöhe 24 cm, Durchmesser etwa 7 cm) gelagert, deren Innenbelege mit den Maschinenpolen dauernd verbunden sind. Von den isolirten Aussenbelegen führen die Paralleldrähte ll' zur Funkenstrecke f (1 bis 3 mm) des Staboscillators OO' , dessen durch den Funken halbirte Gesamtlänge 106 cm beträgt, bei 8 cm Durchmesser. Die zugewandten Enden der Halbstäbe sind mit Electrodenansätzen (Abh. II, p. 466) versehen, zwischen denen auch ein

Fig. 2.

Glastrog für Funken unter Petroleum (nach Righi) eingeschaltet werden kann. Die Innenbelege der Flaschen können ihre Ladungen durch eine Funkenstrecke F von gemessener Länge ausgleichen.

Wird nun bei günstigem Schlagweitenverhältniss $f:F$ (ungefähr 1:10) die Maschine gedreht, so geschieht der Ladungsprocess der Flaschen durch einen äusserst rapiden Strom schwacher Funken bei f , zwischen denen dann in regelmässigen Zeitabständen (bis zu 30 Mal pro Sec.) Entladungsexplosionen bei F und f gleich-

zeitig erfolgen, deren jede den Oscillator zu intensiven, seiner Länge entsprechenden Schwingungen anregt. Ich will nochmals hervorheben, dass die langsamen Eigenschwingungen des Doppelcondensators, welche mit den rascheren des Oscillators in der Funkenstrecke f coexistiren, an der Resonanzwirkung keinen directen Antheil haben. Der Flaschenfunken ist hauptsächlich insofern von Bedeutung, als er nach dem Anregungsstosse die Funkenstrecke f möglichst gangbar erhält, sodass die Oscillatorschwingungen nicht zu rasch absterben, was nach Hertz-Bjerknes für die Resonanz-erregung entscheidend ist. Soweit ich wahrnehmen konnte, ist die Schwingungsdauer des Condensators in weiten Grenzen

willkürlich, wenn sie nur gross ist gegen die Oscillatorperiode.

Dem Oscillator werde nun in verschiedenen Entfernungen D der abgestimmte (121 cm lange) Stabresonator s , Fig. 2, nebst dem Electroskop E gegenübergestellt, sodass beide mit electrischem Knoten in der Stabmitte unisono schwingen; dann bemerkt man in der Nähe des Oscillators schon ohne Secundärfunken schwache Electroskopausschläge, wenn nämlich Electroskop und Resonator durch Zusammenschrauben von $B B'$, Fig. 1, direct miteinander verbunden werden. Diese directen Secundärwirkungen, welche nach bekannten Electrometerbeobachtungen¹⁾ vorauszusehen waren, verschwinden jedoch in 4 m Abstand vom Oscillator völlig. Von hier an beginnt der Bereich, in welchem bei φ übergehende Fünkchen die oben beschriebenen Stosswirkungen noch beobachten lassen und zwar bis zu grosser Ferne vom Oscillator (vgl. unten), selbst wenn jene Fünkchen nur noch 0,002 mm Schlagweite besitzen. Um die Pendelzuckungen auf einem Schirme A zu projeciren, genügt es, den Spaltraum, in welchem der Faden schwingt, mit einem Auerbrenner passend zu beleuchten. Aus Helligkeitsrücksichten empfiehlt es sich, bei mässiger Linsenvergrösserung das Bild durch Schiefstellung von A zu verbreitern.

Will man sich überzeugen, dass die beobachtete Fernewirkung vom Oscillatorstabe, nicht vom Condensator ausgestrahlt wird, so schiebt man die Stabhälften zusammen, sodass die Funken f verschwinden. Der Condensator bleibt in Thätigkeit, wie die Funken F zeigen; es verschwinden aber die Fünkchen φ und mit ihnen die Electroskopwirkungen (vgl. auch Abh. I, p. 311).

Diese letzteren sind natürlich vor allem von der Art und Intensität der Oscillatorerregung abhängig. Einen ungefähren Ueberblick gewährt die beigefügte Tabelle, welche folgendermaassen entstanden ist. Im Abstände 6,5 m vom Oscillator wurde der Doppelresonator $s' s''$, Fig. 2, bestehend aus zwei Stäben, jeder genau wie s , aufgestellt. Die Maximalschlagweiten bei φ' wurden gemessen; sie sind natürlich etwa doppelt so gross als am einfachen Stabende. Die benutzte Ruhmkorff-

1) V. Bjerknes, Wied. Ann. 44. p. 74. 1891.

Spirale hatte 50 cm Länge bei 16 cm Durchmesser und gab mit Quecksilberunterbrecher 22 cm lange Funken. Die vergleichene Zwanzigplattenmaschine hatte Scheiben von 26 cm Durchmesser.

Nr.	Erregungsart des Oscillators	Primär- funken in	Flaschen- funken F in mm	Primär- funken f in mm	Secundär- funken ϕ'	
					Abl.	mm
	Inductorium					
1	Federunterbrecher	Luft	—	7—8	5	0,17
2	„	Petrol	—	1,75	9	0,31
3	Quecksilberunterbr.	„	—	2,0	12,3	0,42
	Influenz- maschine, Zu- leitung direct					
4	mit Drähten	Luft	—	7—8	2,5	0,09
5	„ Capillaren	„	—	7—8	4,6	0,16
6	„ Drähten	Petrol	—	1	1,8	0,06
7	„ „	„	—	2,5	5,0	0,17
	Influenz- maschine mit Condensator					
8	Drahtleitung	Luft	15	2	4	0,14
9	„	„	30—40	3,5	8,5	0,29
10	„	Petrol	15	0,8	9	0,31
11	„	„	30	1,6	16,3	0,56
12	„	„	51	1,75	21	0,71

Selbstverständlich waren alle nöthigen Vorsichtsmaassregeln beachtet, wie z. B. bei den Versuchen 1, 4 und 5 die Reinhaltung der Primärelectroden, welche bei der Condensatormethode nicht nöthig ist. Die Secundärelectroden BB' wurden jedesmal mit Graphitpulver abgerieben, was die Schlagweite zeitweilig erhöht.

Die Tabelle zeigt, dass der *directe* Influenzmaschinenstrom mit Petrolfunken gegen den Inductionsstrom erheblich zurücksteht (Nr. 2, 3 und 7).¹⁾ Demgegenüber sind die mit der In-

1) Durch Vorschaltung von Funkenstrecken vor dem Petroleumgefäss wurde die Maximalleistung Nr. 3 nicht merklich erhöht.

fluenzmaschine ermöglichten *Condensatorfunken der Ruhmkorff-entladung bei weitem überlegen*. Dies zeigen schon die Funken in Luft (Nr. 1 und 9), viel schlagender noch diejenigen in Petroleum (Nr. 2 und 3 gegen 11 und 12). Der Erfolg der Anregung Nr. 12 war in der That überraschend. Sie inducirte bis auf 2 m Entfernung Secundärfunken, welche den primären an Länge gleichkamen. Ich wandte den Oscillator einer 75 cm dicken Steinwand meines Experimentirsaaes zu, hinter welcher eine Reihe von Nachbarzimmern folgte. Nachdem der elektrische Strahl ausser fünf Steinwänden sieben Apparateschränke mit Metallobjecten aller Art durchsetzt hatte — und ungeachtet anderer unterwegs vorhandener Metallmassen — konnten im fünften Raume noch deutliche, im vierten noch kräftige Electroskopzuckungen beobachtet werden; die Gesammtentfernung betrug hierbei etwa 22 m. Da bei *ungehinderter* Wellenausbreitung schon früher mit der viermal schwächeren Anregung Nr. 5 in Entfernungen bis zu 40 m Hertz'sche Beobachtungen angestellt worden waren, so sind bei Benutzung der Influenzmaschine mit Condensatormethode in sehr viel grösseren Abständen noch merkliche Electroskopwirkungen zu erwarten und zwar *ohne Anwendung von Hohlspiegeln*, von den noch empfindlicheren Cohererwirkungen ganz abgesehen.

Die intensiven Schwingungsfelder der Condensatormethode waren mit dem Funkeninductor nicht zu erlangen; die Doppelflasche wurde durch denselben nicht hoch genug geladen. Die dabei erzielten Secundärfunken blieben sogar weit hinter denen zurück, welche der Inductor ohne Flaschen zu erregen vermochte.

Aus dem Mitgetheilten geht hervor, dass es zu Electroskopversuchen in Auditorien gar nicht der höchsten Leistungen der Condensatormethode bedarf. Die sehr bequeme Versuchsweise Nr. 8 und 9 genügt vollkommen.¹⁾ Zu den bekannten Polarisationsversuchen benutze ich ein leichtes Gitter aus 1 mm starken, verzinnnten Eisendrähten, welche in Abständen von je 1,5 cm auf einen Holzrahmen, 2 m lang, 1,5 m breit, aufgespannt sind. Dasselbe Drahtgitter genügt auch für die einfachsten Reflexions- und Interferenzversuche. Als hinter

1) Diese Anordnung wurde bereits auf der Naturforscherversammlung in Wien 1894 zu Electroskopversuchen obiger Art von mir benutzt.

dem in 5 m Abstand vom Oscillator eingestellten Resonanzstabe das Drahtsystem in Parallelstellung schrittweise um je 70 cm rückwärts geschoben wurde, konnten bei passender Schlagweitereinstellung abwechselnd je zwei Maxima und Minima der Electroskopwirkung constatirt werden. Das Gitter hindert die Projection nicht. Die quantitativen Verhältnisse sind aus folgenden Schlagweiten ersichtlich, welche sich am Stabende ergaben, als der Bolzen *B*, Fig. 1, zur Erde abgeleitet wurde.

Gitterabstand in cm	10	70	140	210	280
Schlagweite ϕ in mm	0,033	0,180	0,090	0,132	0,099

Ganz roh kann man hiernach die unserem Oscillator eigene Wellenlänge auf 2,8 m veranschlagen. Genauere Bestimmungen wären mittels Drahtresonanz auszuführen.

Dresden, August 1897.