

# Annalen der Physik (Leipzig)

Spindler, Paul (de Chemnitz). Annalen der Physik (Leipzig). 1881.

**1/** Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.

- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

**2/** Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

**3/** Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

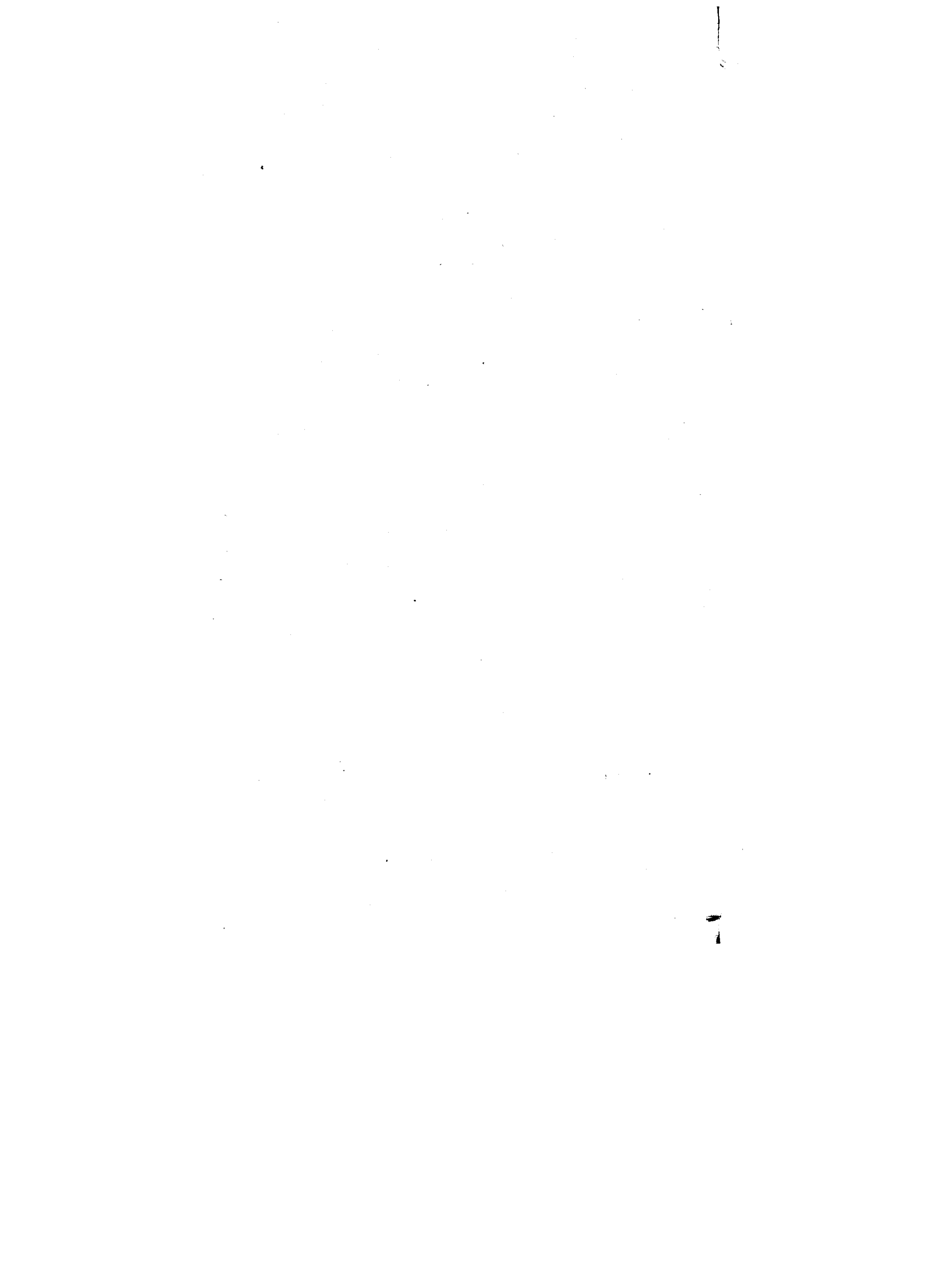
**4/** Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

**5/** Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

**6/** L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

**7/** Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter [reutilisationcommerciale@bnf.fr](mailto:reutilisationcommerciale@bnf.fr).

ANNALEN  
DER  
PHYSIK UND CHEMIE.  
NEUE FOLGE.  
BAND XII.



THE  
JOHN OBERAR  
ANNALEN LIBRARY

DER

# PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE.

BAND XII.

DER GANZEN FOLGE ZWEIHUNDERT ACHTUNDVIERZIGSTER.

UNTER MITWIRKUNG

DER PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT IN BERLIN

UND INSBESONDERE DES HERRN

H. HELMHOLTZ

HERAUSGEGEBEN VON

**G. WIEDEMANN.**

NEBST SECHS FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1881.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIIUS BARTH.

m. h.

BT  
#BXNDNDL  
#BXNDL



# Inhalt.

Neue Folge. Band XII.

## Erstes Heft.

	Seite
I. L. Sohneke u. A. Wangerin. Neue Untersuchungen über die Newton'schen Ringe . . . . .	1
II. O. Schumann. Ueber Dampfspannung homologer Ester . . . . .	40
III. W. Beetz. Ueber die Elasticität und das electriche Leitungsvermögen der Kohle . . . . .	65
IV. J. L. Hoorweg. Thermische Theorie des galvanischen Stromes . . . . .	75
V. E. Goldstein. Ueber electriche Lichterscheinungen in Gasen . . . . .	90
VI. O. Lohse. Ueber die Glüherscheinungen an Metallelectroden innerhalb einer Wasserstoffatmosphäre von verschiedenem Drucke . . . . .	109
VII. H. Lorberg. Bemerkung zu dem Aufsätze von Riecke: „Ueber die electriche Elementargesetze“ . . . . .	115
VIII. J. Fröhlich. Clausius' Gesetz und die Bewegung der Erde im Raume . . . . .	121
IX. H. A. Lorentz. Ueber die Anwendung des Satzes vom Virial in der kinetischen Theorie der Gase . . . . .	127
X. D. J. Korteweg. Ueber den Einfluss der räumlichen Ausdehnung der Molecüle auf den Druck eines Gases . . . . .	136

12595

4

	Seite
XI. W. Hallock. Ueber die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Quarzflächen . . . . .	147
XII. E. Edlund. Erwiderung auf die Bemerkungen des Hrn. Dorn gegen die Brauchbarkeit des Depolarisators bei electricen Polarisationsbestimmungen . . . . .	149
XIII. W. C. Röntgen. Ueber Töne, welche durch intermittirende Bestrahlung eines Gases entstehen . . . . .	155
XIV. O. Tumlirz. Ueber die Beugungserscheinungen vor dem Rande eines Schirmes . . . . .	159

*Geschlossen am 15. Januar 1881.*

#### Zweites Heft.

I. P. Chappuis. Ueber die Absorption der Kohlensäure durch Holzkohle und deren Abhängigkeit von Druck und Temperatur	161
II. E. Lecher u. J. Pernter. Ueber die Absorption dunkler Wärmestrahlen in Gasen und Dämpfen . . . . .	180
III. L. Sohncke u. A. Wangerin. Neue Untersuchungen über die Newton'schen Ringe . . . . .	201
IV. E. Goldstein. Ueber die Entladung der Electricität in verdünnten Gasen . . . . .	249
V. F. Exner. Zur Frage nach der Natur der galvanischen Polarisation . . . . .	280
VI. W. Beetz. Noch eine Bemerkung zur Frage nach der Natur der galvanischen Polarisation . . . . .	290
VII. F. Schulze-Berge. Ueber die Electricitätserregung beim Contact von Metallen und Gasen . . . . .	293
VIII. F. Schulze-Berge. Bemerkung über Hrn. F. Exner's Abhandlung: „Zur Theorie des Volta'schen Fundamentalversuches“ . . . . .	319

*Geschlossen am 1. Februar 1881.*

#### Drittes Heft.

I. H. Klang. Die Elasticitätsconstanten des Flusspathes . .	321
II. R. Koenig. Ueber den Ursprung der Stösse und Stosstöne bei harmonischen Intervallen . . . . .	335



	Seite
III. R. Koenig. Beschreibung eines Stosstoneapparates für Vorlesungsversuche . . . . .	350
IV. F. Koláček. Beitrag zur Theorie der Resonanz . . . . .	353
V. E. Ketteler. Einige Anwendungen des Dispersiongesetzes auf durchsichtige, halbdurchsichtige und undurchsichtige Mittel, nebst einem Zusatz: „Zur Abwehr“ . . . . .	363
VI. F. Lippich. Untersuchungen über die Spectra gasförmiger Körper . . . . .	380
VII. C. Fromme. Ueber die electromotorische Kraft der aus Zink, Schwefelsäure und Platin, resp. Kupfer, Silber, Gold und Kohle gebildeten galvanischen Combinationen . . . . .	399
VIII. E. Bessel-Hagen. Ueber eine neue Form der Töpler'schen Quecksilberluftpumpe und einige mit ihr angestellte Versuche	425
IX. A. Ritter. Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und die Constitution gasförmiger Weltkörper . . . . .	445
X. E. Lecher. Ueber die Absorption der Sonnenstrahlung durch die Kohlensäure unserer Atmosphäre . . . . .	466
XI. W. Beetz. Ueber den Begriff „galvanische Polarisation“ . . . . .	474
XII. W. Holtz. Ueber einen künstlich geformten Körper, welcher sich polarunterschiedlich richtet und polarunterschiedlich angezogen wird . . . . .	477

*Geschlossen am 15. Februar 1881.*

#### Viertes Heft.

I. E. Ketteler. Experimentaluntersuchung über den Zusammenhang zwischen Refraction und Absorption des Lichtes . . . . .	481
II. W. Dietrich. Ueber das Verhältniss der Intensitäten der beiden Natriumlinien . . . . .	519
III. H. Kayser. Ueber die Verdichtung von Gasen an Oberflächen in ihrer Abhängigkeit von Druck und Temperatur . . . . .	526
IV. A. Kundt. Ueber den Einfluss des Druckes auf die Oberflächenspannung der Flüssigkeiten . . . . .	538
V. P. Schoop. Ueber die Aenderung der Dampfdichte einiger Ester mit Druck und Temperatur . . . . .	550
VI. E. Kittler. Ueber Spannungsdifferenzen zwischen sich berührenden Flüssigkeiten mit Berücksichtigung der Concentration	572

	Seite
VII. E. Reitlinger u. F. Wächter. Ueber electrische Ringfiguren und deren Formveränderung durch den Magnet . . .	590
VIII. J. Stefan. Ueber die Abweichungen der Ampère'schen Theorie des Magnetismus von der Theorie der electromagnetischen Kräfte . . . . .	620
IX. R. Clausius. Ueber einige Bemerkungen des Hrn. C. Neumann in Bezug auf Electrodynamik . . . . .	639
X. E. Budde. Das Clausius'sche Gesetz und die Bewegung der Erde im Raume, II . . . . .	644
XI. D. J. Korteweg u. V. A. Julius. Ueber das Grössenverhältniss der electrischen Ausdehnung bei Glas und Kautschuk . . . . .	647
XII. Th. Erhard. Zur Kenntniss der Glasplattensäule . . . . .	655
XIII. H. A. Lorentz. Nachtrag zu der Abhandlung: Ueber die Anwendung des Satzes vom Virial in der kinetischen Theorie der Gase . . . . .	660
XIV. W. Holtz. Ueber einige merkwürdige Erscheinungen an Flammen . . . . .	661
Berichtigungen . . . . .	664

*Geschlossen am 15. März 1881.*

### Nachweis zu den Figurentafeln.

- ✓ Taf. I. Sohneke und Wangerin, Fig. 1—12. — Schumann, Fig. 13—14. — Goldstein, Fig. 15—24.
- ✓ Taf. II. Chappuis, Fig. 1—3. — Lecher und Pernter, Fig. 4. — Schulze-Berge, Fig. 5—8. — Klang, Fig. 9—10.
- ✓ Taf. III. Ketteler, Fig. 1. — Fromme, Fig. 2—4. — Erhard, Fig. 5—6. — Hagen, Fig. 7—11.
- ✓ Taf. IV. Ketteler, Fig. 1—2.
- ✓ Taf. V. Kayser, Fig. 1—3. — Schoop, Fig. 4—9. — Kittler, Fig. 10.
- ✓ Taf. VI. Reitlinger und Wächter, Fig. 1—37.

Torsionswinkel.

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{l}
 l \left\{ \begin{array}{l} 54' 58'' \\ 42' 5'' \\ 28' 41'' \\ 15' 49' \end{array} \right\} \begin{array}{l} 26' 17'' \\ 26' 16'' \end{array} \\
 \hline
 \tau_l = 31,5''
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 r \left\{ \begin{array}{l} 54' 58'' \\ 41' 56'' \\ 28' 54'' \\ 15' 53'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} 13' 2'' \\ 13' 2'' \\ 13' 2'' \\ 13' 1'' \end{array} \\
 \hline
 \tau_r = 31,3''
 \end{array}
 \end{array}$$

(Bei der linksseitigen Beobachtung wurden zufällig die Belastungen in der Reihenfolge 100, 50, 75, 25 angewandt. Da zwischen 50 und 75 eine Störung durch Erschütterung eintrat, wurde die Berechnung in der oben angedeuteten Weise ausgeführt.)

Die Werthe für  $\tau_l$  und  $\tau_r$  ergeben im Mittel:

$$A - B = 5,25 \text{ Millionen g.}$$

Als Mittel der Beobachtungen haben wir sonach:

$$A - B = 5,26, \quad (A - B) \frac{A + 2B}{A + B} = 7,31.$$

Hieraus folgt:  $A = 1,57 B$ .

Die Werthe der Constanten selbst sind:

$$A = 14\,600\,000 \text{ g,} \quad B = 9\,300\,000 \text{ g.}$$

Diese Werthe der Constanten können jedoch, trotz der ganz guten Uebereinstimmung bei beiden Stäbchen selbst für die untersuchte Glassorte nur als Annäherung gelten, denn (abgesehen von der Verschiedenheit der Glassorten, die die Aufstellung allgemeingültiger Werthe unmöglich macht) ist Glas immer mehr oder minder inhomogen, also sind eigentlich die obigen Formeln auf Glas gar nicht streng anwendbar.

Königsberg i. Pr., im November 1880.

## II. Ueber den Ursprung der Stösse und Stosstöne bei harmonischen Intervallen; von Dr. Rudolph Koenig in Paris.

In meiner Abhandlung „Ueber den Zusammenklang zweier Töne“<sup>1)</sup> hatte ich die Ansicht ausgesprochen, dass die Erscheinung der Stösse bei harmonischen Intervallen aus der directen

1) R. Koenig, Pogg. Ann. **157**. p. 177. 1876.

Composition der Schwingungen beider primärer Töne abzuleiten sei, und behauptet, dass die aus diesen Stößen gebildeten Töne nichts mit den Combinationstönen zu thun hätten. Wie unhaltbar die Hypothese sei, dass z. B. bei einem Intervalle  $n:8n+m$ , wo  $m$  eine sehr kleine Zahl, die Stösse durch den Grundton  $n$  und einen Ton  $n+m$  entstünden, welcher letztere ein Differenzton siebenter Ordnung wäre, obgleich in diesem Falle schon der erste Differenzton, und somit der stärkste, nämlich  $7n+m$ , nicht hörbar ist, scheint, so viel mir bekannt, wohl im allgemeinen anerkannt worden zu sein, dagegen hat Helmholtz versucht, die Stösse solcher Intervalle dadurch wieder auf Stösse zweier Unisonotöne zurückzuführen, dass er, statt wie man früher eine Reihe Differenztöne voraussetzte, von denen der letzte mit dem Grundton schlagen sollte, nun annahm, es wären harmonische Töne des tieferen primären Tones, welche mit dem höheren primären Tone des Zusammenklanges die Schwebungen ausführten. Diese harmonischen Töne sollten bei meinen Experimenten einen doppelten Ursprung gehabt haben können, nämlich entweder schon im Klange der angewendeten Töne enthalten gewesen, oder durch die grosse Intensität derselben im Ohre erzeugt worden sein. Es war daher eine genauere Prüfung des Gegenstandes von diesem neuen Gesichtspunkte aus notwendig, deren Resultate ich im Folgenden geben will. Ich werde also zuerst einige Bemerkungen über die harmonischen Obertöne stark erregter Stimmgabeln machen und zeigen, dass diese in keiner Weise bei meinen Experimenten eine einflussreiche Rolle spielen konnten, ferner die Gründe angeben, weshalb es höchst unwahrscheinlich ist, dass die bei meinen früheren Experimenten beobachteten Erscheinungen in den durch einen starken Ton im Ohre erzeugten Obertönen ihre Ursache gehabt haben sollten, und dann auch einige neue Experimente hinzufügen, welche diese Hypothese gänzlich beseitigen. Darauf werde ich schliesslich beschreiben, wie man durch eine einzige in der Luft erzeugte Bewegung, wenn sie nur aus zwei einfachen Pendelbewegungen zusammengesetzt ist, ganz dieselben Resultate erhält, wie sie mir der Zusammenklang der Stimmgabeltöne gegeben hatte.

I. Ueber die harmonischen Obertöne bei stark erregten  
Stimmgabeln.

Helmholtz hat bei einer Gabel von 64 v. d. ( $C, Ut_1$ ) mit geeigneten Resonatoren die Obertöne bis zum fünften hören können, wenn diese stark angeschlagen wurde, wobei sie Schwingungen machte, deren Amplitude fast einen Centimeter betrug, und meine Versuche mit starken Stimmgabeln, welche vor Resonanzröhren tönend, erwähnend, spricht Helmholtz das Bedauern aus, dass ich nicht angegeben hätte, wie weit ich bei denselben die entsprechenden Obertöne durch Resonatoren erkennen konnte. Der Grund dieser Lücke in meinen Angaben ist aber einfach der, dass die von mir in Verbindung mit Resonatoren angewendeten Gabeln gar keine harmonischen Obertöne erkennen lassen, was mit den von Helmholtz gemachten Beobachtungen jedoch nur scheinbar im Widerspruch steht. Das Hervortreten der harmonischen Obertöne bei Stimmgabeln hängt nämlich nicht sowohl von ihrer Tiefe und der absoluten Grösse der Amplitude ihrer Schwingungen ab, als vielmehr von dem Verhältniss der Schwingungsweite zur Dicke der Zinken, wovon man sich überzeugen kann, wenn man in dieser Beziehung mehrere auf denselben Ton gestimmte Stimmgabeln von sehr verschiedener Zinkendicke untersucht. So kann man z. B. an einer Stimmgabel  $c (Ut_2)$ , deren Zinken 7 mm Dicke haben, wenn sie in sehr starke Schwingungen versetzt worden ist, mit den Resonatoren bis zum vierten Oberton wahrnehmen, bei einer Gabel  $e$ , mit Zinken von 15 mm Dicke und 20 mm Breite aber nur die beiden ersten, und blos beim ganz gewaltsamen Anschlagen tritt noch eine kaum wahrnehmbare Wirkung auf den Resonator des dritten ein. Bei einer Gabel  $c$  endlich, deren Zinken 29 mm Dicke und 40 mm Breite haben, kann man nur noch eine schwache Octave hören und die Duodecime zur Wahrnehmung bringen, indem man die Oeffnung des Resonators der Breitenfläche einer Zinke so nahe bringt, dass er sie fast berührt. — Dasselbe Resultat erhielt ich auch mit einer fast gleich starken Gabel  $e (Mi_2)$ , welche durch Laufgewichte an den Enden ihrer Zinken auf  $c (Ut_2)$  vertieft war.

Alle diese hier erwähnten Töne können nur ganz in der Nähe der Gabeln mit den Resonatoren beobachtet werden, auch scheint dabei die Stellung der Oeffnung des Resonators zur Stimmgabel nicht gleichgültig zu sein, so fand ich, dass im allgemeinen die Töne 2 und 4 (erster und dritter Oberton), wo sie überhaupt existirten, stärker wahrnehmbar waren, wenn diese Oeffnung vor die Breitenfläche der Zinken gehalten wurde, als wenn man sie vor die Mitte zwischen beide brachte, wogegen für die Töne 3 und 5 das Gegentheil stattfand, auch waren diese letzteren nicht an den Interferenzstellen des Grundtones hörbar, wogegen die Töne 2 und 4 gerade sehr gut an diesen wahrgenommen wurden, wo der fortfallende Grundton die Beobachtung nicht störte. — Dreht man die schwingende Gabel vor der Oeffnung des Resonators hin und her, sodass die Interferenzstelle abwechselnd an ihr vorübergeht, so hört man in den Momenten, in welchen der Grundton der Gabel verschwindet, mitunter auch den Ton des Resonators, ohne dass derselbe durch die Gabel verstärkt wird, nur weil die Atmosphäre, in der man experimentirt, nicht tonstill genug ist; man überzeugt sich jedoch sofort von dieser Täuschung, wenn man die Gabel im betreffenden Augenblick schnell ganz entfernt oder dämpft, während man gut auf die Stärke des Resonatortones achtet; man hört dann, dass er dabei durchaus keine Schwächung erleidet.

Im allgemeinen geht, wie man sieht, aus obigen Beobachtungen hervor, dass der Klang der Stimmgabeln um so freier von Obertönen wird, als die Dicke ihrer Zinken, für denselben Ton, zunimmt, wobei das Verhältniss zwischen dieser und der Schwingungsweite immer grösser wird. — Die Schwingungsweite der Stimmgabeln von verschiedener Stärke für denselben Ton bleibt sich nämlich in sehr weiten Grenzen fast unveränderlich gleich, was daher kommt, dass die Schwingungszahl der Stimmgabeln im geraden Verhältniss zu ihrer Zinkendicke, aber im umgekehrten zu den Quadraten der Länge ihrer Zinken steht. Will man daher für den Ton einer gegebenen Stimmgabel eine zweite von doppelter Länge construiren, so muss man den Zinken derselben eine vierfache Dicke geben, und durch die hieraus folgende geringere Bieg-

samkeit derselben büsst die Gabel so viel von ihrer Fähigkeit, weite Schwingungen zu machen, wieder ein, als sie andererseits durch die grössere Länge der Zinken gewonnen hatte.

Die in meiner erwähnten Abhandlung angelegenen Maasse meiner tiefen Stimmgabeln zeigen nun, dass dieselben keineswegs zu den dünnarmigen gehörten, sondern gerade in den besten Verhältnissen waren schon an und für sich sehr einfache Töne zu erzeugen, selbst wenn sie ganz allein vibrirten, ich habe sie jedoch nicht einmal in dieser Weise angewendet, sondern in Verbindung mit passenden Resonanzröhren, und unter solchen Umständen lässt sich z. B. bei der Gabel  $c (Ut_2)$ , mit 29 mm dicken Zinken, auch nicht die geringste Spur der Octave oder eines höheren Obertones vermittelt der Resonatoren in der aus der Oeffnung der Resonanzröhre zwischen den Armen der Stimmgabel hervorbrechenden Tonmasse erkennen. Auch muss ich bemerken, dass, wenn zwei solche Gabeln langsame Stösse des Unisonos ausführten, man in den Augenblicken der Interferenz den Ton vollständig verschwinden hörte, statt dass er in die Octave hätte übergehen müssen, wenn diese im Klange der Grundtöne mit wahrnehmbarer Intensität enthalten gewesen wäre.

Beiläufig sei eine Ausnahme von dieser Bildung einfacher Töne erwähnt. Ich konnte nämlich beim  $C (Ut_1)$  die Octave wahrnehmen, wohl weil die Resonanzröhren für diesen Ton im Verhältniss zu ihrem Durchmesser etwas lang waren.

Auch wenn die oben erwähnte Gabel  $c (Ut_2)$  mit 15 mm dicken Zinken auf ihrem Resonanzkasten befestigt war, und ich die aus demselben hervordringende Tonmasse mit den Resonatoren untersuchte, fand ich sie ganz frei von Obertönen. Dieses ist jedoch nicht immer bei Resonanzkästen der Fall, denn oft befördern dieselben sogar ganz auffällig das Hervortreten der Octave, und es ist mir besonders bei den gewöhnlichen Gabeln  $\bar{c} (Ut_3)$  dieses häufig in so störender Weise vorgekommen, wenn ihre Zinkendicke nur 6 mm betrug, dass ich mich, um diesem Uebelstande abzuhelpen, veranlasst gefunden habe, dieselben jetzt beträchtlich massiver, nämlich mit Zinken von 9 mm Dicke zu construiren.

II. Ueber die harmonischen Obertöne, welche durch einen einfachen starken Ton im Ohre erzeugt werden sollen.

Ausser den theoretischen Betrachtungen von Helmholtz, nach denen der unsymmetrische Bau des Trommelfelles und die lose Beschaffenheit des Hammer-Ambossgelenks die Bildung harmonischer Töne im Ohre bewirken sollte, scheinen auch die in meiner Abhandlung „Ueber die Erregung harmonischer Töne durch einen Grundton“ beschriebenen Erscheinungen des Mitschwingens auf die Möglichkeit der Erzeugung von Obertönen im Ohre durch einen einfachen starken Ton hinzudeuten, sobald man überhaupt voraussetzt, dass sich im Ohre eine Reihe von Gebilden befindet, welche durch die ganze Scala, von den tiefsten bis zu den höchsten hörbaren Tönen, in äusserst kleinen Abständen von einander, verschieden abgestimmt sind, da dann kein Grund vorhanden ist, dass nicht auch diese Gebilde im Ohre, wie andere Körper, welche auf die harmonische Obereihe eines einfachen Tones stimmen, durch diesen sollten erregt werden können, es wirft sich aber dann die Frage auf, welche Intensität diese Obertöne haben müssten, um die verschiedenen Phänomene, welche man von ihrer Existenz abzuleiten die Absicht haben könnte, wirklich zu erklären.

Man weiss, dass die Deutlichkeit der Stösse beim Einklang von der relativen Intensität der beiden Töne abhängt und am grössten wird, wenn diese bei beiden gleich ist, es ist also immer sehr leicht, wenn man Stösse zweier Unisonotöne hört, von denen man nur den einen direct einzeln beobachten kann, auch die Intensität des anderen mit einem Hülfsstone zu ermitteln, dessen Stärke man so lange ändert, bis die Stösse wieder mit dem ersten gleich deutlich hervortreten. Hört man nun die Stösse, z. B. einer alterirten Octave, und sucht nach Dämpfung des Grundtones, ganz abgesehen von der Tonalität der vorher gehörten Stösse, nur ihre Deutlichkeit mit dem Hülfsstone, der auf die Octave dieses Grundtones stimmt, herzustellen, so überzeugt man sich sofort, dass man genöthigt ist, ihm eine so bedeutende Intensität zu geben, dass, wenn derselbe Ton mit gleicher Stärke im Ohre von dem tieferen primären Tone erzeugt würde, man ihn, sobald dieser allein



tönt, in einer Weise hören müsste, wie man ihn durchaus nicht zu vernehmen im Stande ist.

Regulirt man ferner die Intensität der beiden Töne eines alterirten harmonischen Intervalls in der Weise, dass die Stösse am deutlichsten hervortreten, so müssten, wenn sie durch den höheren primären Ton und einen im Ohre erzeugten harmonischen Oberton des tieferen, also durch zwei Töne im Einklang gebildet wären, diese Stösse auch auf diesen Oberton gehört werden, man nimmt aber gerade das Gegentheil wahr, d. h. dass der Grundton seine Intensität periodisch ändert und dabei nur in den Momenten grösster Schwächung den höheren Ton hervortreten lässt, wie ich früher beschrieben.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, dass die Erregung der harmonischen Obertöne eines starken einfachen Tones im Ohre bei der Bildung der Stösse harmonischer Intervalle, sowohl wegen der Intensität, als auch wegen der Tonalität, welche diese hören lassen, nur eine ganz untergeordnete Nebenrolle spielen könne, und die Entstehung derselben daher noch immer aus den beim Zusammenklange entstehenden Coincidenzen beider Wellenzüge abgeleitet werden muss, wie ich es gethan hatte.

### III. Neue Beobachtungen der Stösse harmonischer Intervalle bei sehr schwachen, einfachen Tönen.

Der Umstand, dass ich bei meinen Experimenten sehr starke Töne angewendet, ist bekanntlich der einzige Grund, auf den sich die Ansicht stützt, nach welcher im Ohr erzeugte harmonische Töne die Ursache der gefundenen Resultate sein sollten, doch habe ich Töne von beträchtlicher Stärke nur in der Absicht angewendet, um alle beim Zusammenklange zweier Töne auftretenden Erscheinungen selbst für die ungeübtesten Ohren mit grösster Deutlichkeit zur Darstellung zu bringen und sie auch für eine grössere Anzahl Personen zugleich hörbar zu machen, der blosser Nachweis dieser Erscheinungen aber erfordert durchaus nicht die Anwendung von Tönen besonders grosser Intensität.

Unter den musikalischen Tonwerkzeugen sind es besonders die weiten, gedackten Orgelpfeifen, deren Töne sich sehr den

einfachen nähern, da die Intensität ihrer Theiltöne, welche allein den ungeraden Zahlen der harmonischen Oberreihe entsprechen, meistens nur sehr gering ist und nach der Höhe zu schnell ganz verschwindet, sie mussten sich daher gut für Experimente eignen, bei denen man sowohl eine grosse Intensität, als auch zahlreiche Obertöne vermeiden wollte. Da aber der Umstand, dass eine gedackte Orgelpfeife nur Theiltöne einzeln hervorbringen kann, welche den ungeraden Zahlen entsprechen, nicht die Möglichkeit der Existenz von harmonischen Tönen bei ihr ausschliesst, welche ihren Ursprung in einer von der Pendelbewegung abweichenden Bewegung der Lufttheilchen haben konnten, wie bei den dünnarmigen, weit-schwingenden Stimmgabeln harmonische Töne aus der Zerlegung der von der Pendelbewegung abweichenden Schwingungsbewegung der Zinken entstehen, und da eine solche Abweichung sich bei den Luftschwingungen, welche durch beständiges Anblasen unterhalten werden, sogar voraussetzen liess, so war es nöthig die Klänge der anzuwendenden Pfeifen erst genau, nicht allein in Bezug auf ihre ungeraden Theiltöne, sondern auch auf die geraden harmonischen Töne zu untersuchen.

Der Klang einer gedackten Orgelpfeife  $c$  ( $Ut_2$ ) von 0,07 m Breite, 0,088 m Tiefe und etwa 0,50 m Länge, welche mit 0,08 m Wasserdruck angeblasen wurde, vermittelst der Resonatoren untersucht, liess von den geraden Tönen der Oberreihe ein sehr schwaches  $\bar{c}$  (Ton 2) erkennen,  $\bar{c}$  (4) war beträchtlich stärker,  $\bar{g}$  (6) ebenso stark, wenn nicht noch etwas lauter,  $\bar{c}$  (8) kaum vernehmbar. Von den ungeraden harmonischen Tönen, die mit den Theiltönen zusammenfallen, war  $\bar{g}$  (3) sehr stark,  $\bar{e}$  (5) viel schwächer, und der Ton 7 hatte eine noch weit geringere Intensität, sodass sie der des nur harmonischen Tones  $\bar{g}$  (6) gleich kam.

Um diese Beobachtungen zu machen, darf man die Oeffnung des Resonators nicht zu nahe an die Mundöffnung der gedackten Pfeife bringen, von der die Tonwellen ausgehen, da die direct durch den Resonator zum Ohre dringende ganze Klangmasse nicht gestattet, diese verhältnissmässig nur leisen Töne mit Sicherheit wahrzunehmen; entfernt man jedoch das mit dem Resonator bewaffnete Ohr langsam von der Pfeife,

so kommt man immer bald an eine im Luftraume des Zimmers durch directe und zurückgeworfene Wellen entstandene Knotenstelle des betreffenden Tones, wo man dann den Resonator ganz deutlich singen hört.

Wurde dieselbe Pfeife mit 0,12 m Wasserdruck angeblasen, so war der Ton  $\bar{c}$  (2) noch schwächer als zuvor, wogegen die Töne 4, 6 und 8 an Intensität gewonnen hatten. Die Stärke der Theiltöne nahm noch schneller ab, als bei den vorhergehenden Experimenten, sodass die Gleichheit der Intensität zwischen den allein harmonischen Tönen und den mit den Theiltönen zusammenfallenden noch bald erreicht wurde. Befand sich der Resonator in einer Knotenstelle des Tones 6, und verstimmte man ihn mit dem Finger vor seiner Oeffnung bis zum Tone 5, so schienen diese beiden Töne schon gleiche Intensität zu haben. Mit einem Resonator in einer Knotenstelle des Tones 7 konnte ich beim Verstimmen desselben mit dem Finger der Reihe nach die Töne 5, 6 und 7 hervortreten lassen, welche unter solchen Umständen alle ungefähr gleich stark erschienen. Der Ton 8,  $\bar{c}$ , war immer nur äusserst schwach, und 9, obgleich zugleich auch Theilton, gar nicht mehr wahrnehmbar.

Bei einer gedackten Pfeife  $\bar{c}$ , von 0,04 m Breite, 0,05 m Tiefe und etwa 0,245 m Länge, konnte ich beim schwachen, wie beim starken Anblasen die Töne  $\bar{c}$  (2) und  $\bar{c}$  (4) gut beobachten, und zwar war auch in diesem Falle beim starken Anblasen der Ton 2 schwächer, der Ton 4 aber stärker. — Der Theilton  $\bar{g}$  (3) war besonders bei starkem Winddrucke laut genug, um auch ohne Resonator gut gehört zu werden, der Ton  $\bar{e}$  (6) aber schon sehr schwach.

Bei einer gedeckten Pfeife  $C (U_1)$  von 0,07 m Breite, 0,088 m Tiefe und etwa 1,15 m Länge, welche nur mit ungefähr 0,03 m Wasserdruck angeblasen werden konnte, wenn der erste Theilton den Grundton derselben nicht ganz über-tönen sollte, war von den Tönen 2, 4 u. s. w. nichts zu bemerken, während der Theilton  $g$  (3) ganz laut auch ohne Resonator gehört wurde, und  $\bar{e}$  (5) noch wenigstens mit dem Resonator vernehmbar war. Der Theilton 7 konnte gar nicht mehr wahrgenommen werden. Diese Pfeife war also für die be-

treffenden Experimente sehr geeignet, da bei ihr besonders die höheren geraden harmonischen Töne als gänzlich fehlend angenommen werden konnten. Indem ich nun, während die Pfeife angeblasen wurde, die harmonische Stimmgabel dem Ohre mehr oder weniger näherte, fand ich immer leicht die Intensität, bei welcher die Stösse am deutlichsten hervortreten, und konnte dieselben bei allen harmonischen Intervallen, sowohl den geraden wie den ungeraden bis zum vierzehnten, wo also die Pfeife (1)  $C$  und die Stimmgabel (14) einen Ton zwischen  $\bar{g}$  und  $\bar{c}$  gab, wahrnehmen.

IV. Untersuchungen über Stösse und Stosstöne bei harmonischen Intervallen vermittelt der Wellensirene.

Wellensirene nenne ich eine Vorrichtung, bei welcher ein Windstrom durch eine schmale Spalte gegen eine ausgeschnittene Wellenlinie von beliebiger Form gerichtet wird, in der Weise, wie man bei der gewöhnlichen Sirene meistens runde Löcher durch runde Windöffnungen anbläst. Diese Wellenlinie kann entweder auf dem Mantel eines Cylinders, der um seine Axe rotirt, construirt und ausgeschnitten sein oder den Rand einer Scheibe bilden. Im ersten Falle muss dann die Windspalte parallel zur Axe des Cylinders, im letzteren in der Richtung eines Radius disponirt werden.

Ich hatte zuerst in den Jahren 1867 und 1868 die Construction eines grossen Sirenenapparates mit sechzehn einfachen harmonischen Tönen unternommen, bei dem ich die Einfachheit dieser Töne, ohne Beimischung von Obertönen, dadurch zu erlangen gesucht, dass ich eine cylindrische Windlade mit zu ihrer Axe parallelen schmalen Windspalten versah und durch diese die in einen um dieselbe Axe rotirenden Cylindermantel eingeschnittenen Oeffnungen anblies, deren Ränder die Form einer um diesen Cylinder gelegten Sinusoide hatten. Diese von mir angegebene Art, Schwingungen von bestimmter Form, und in diesem Falle von der einfachsten Form, hervorzubringen, findet sich schon in der Abhandlung von Terquem<sup>1)</sup> erwähnt, und der Apparat selbst, auf welchen ich bei einer

1) Terquem, Ann. scient. de l'École Normale supérieure, 7. p. 32. 1870.

anderen Gelegenheit näher zurückkommen werde, figurirte zuerst auf der Ausstellung in London 1872. — Einige Jahre später hat Töppler eine der eben beschriebenen ganz ähnliche Art, vorherbestimmte periodische Luftbewegungen mit der Sirene hervorzubringen, angewendet<sup>1)</sup>, indem er statt durch Windspalten gegen nach bestimmten Gesetzen construirte Oeffnungen oder ausgeschnittene Wellenlinien, durch nach diesen Gesetzen construirte Windöffnungen gegen über dieselben hingleitende Spalten blies.

Um nun das Princip der Wellensirene bei Untersuchungen über die Stösse und Stosstöne anzuwenden, construirte ich für jedes zu untersuchende Intervall mit grosser Sorgfalt in sehr grossem Maassstabe die aus der Vereinigung der beiden dem Intervalle zukommenden Sinuscurven entstehende Curve, welche dann auf einen Kreis übertragen, photographisch auf die gewünschte Grösse reducirt, und auf einer Metallscheibe genau ausgeschnitten wurde. Rotirt eine solche Scheibe mit ihrem in dieser Weise ausgeschnittenen Rande vor einer hinter ihr befestigten radialen Spalte, deren Länge mindestens gleich der grössten Höhe der Curve ist, so wird die Spalte periodisch nach dem Gesetze dieser Curve verkürzt und verlängert, und bläst man Wind durch dieselbe, so wird dadurch auch eine dem gleichen Gesetze entsprechende Bewegung in der Luft erzeugt werden müssen, eine Bewegung gleich der, wie sie durch den Zusammenklang zweier wirklich einfacher Töne, ohne Beimischung von Obertönen, hervorgerufen werden würde.

Die Scheiben für die verschiedenen Intervalle liessen nun beim langsamen Drehen die Stösse, beim schnelleren die Stosstöne ganz entsprechend denen hören, welche man beim Zusammenklange zweier Stimmgabeltöne beobachtet, d. h. die Secunde 8:9 brachte den unteren Stosston 1, die Septime 8:15 den oberen Stosston 1, und die gestörte Duodecime 8:23 den oberen Stosston der zweiten Periode, der wieder gleich 1 ist, laut und deutlich hervor, und ebenso liessen die Verhältnisse 8:11 und 8:13 das gleichzeitige Auftreten des oberen und unteren Stosstones 3 und 5, 5 und 3 deutlich wahrnehmen.

1) Töppler, Pogg. Ann. Jubelband p. 498. 1874.

Man kann dem Ohre bei der genauen Bestimmung der gehörten Töne passend dadurch zu Hülfe kommen, dass man jede Scheibe mit Löcherkreisen versieht, welche den Schwingungszahlen der primären Töne, wie denen der Stosstöne entsprechen, und dann abwechselnd diese Löcherkreise und den ausgeschnittenen Rand anbläst (Fig. I).

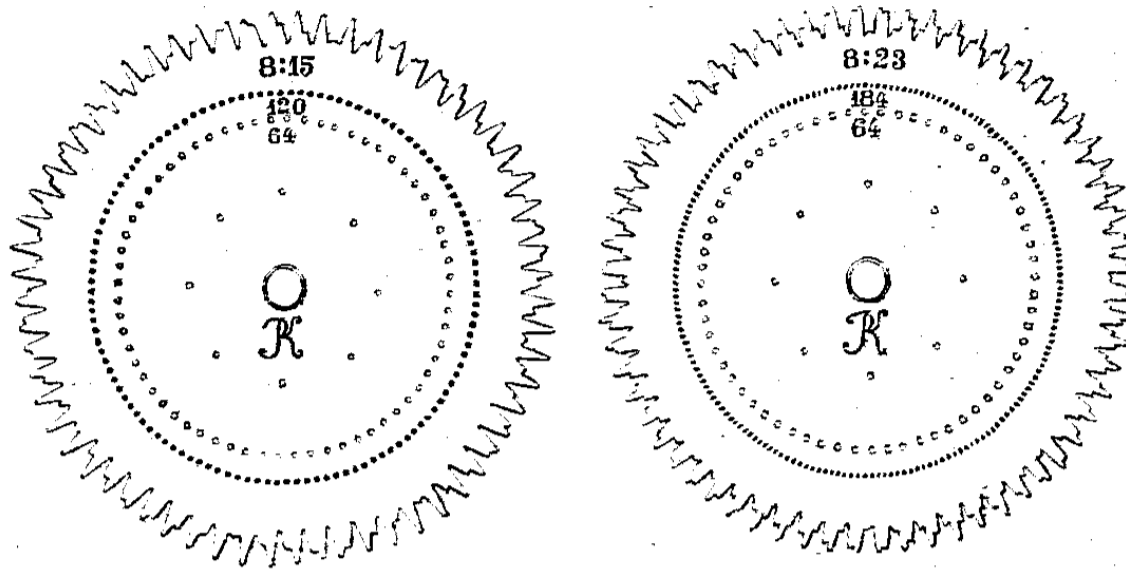


Fig. I.

Will man ein Intervall allein untersuchen, so ist eine solche Scheibe das zweckmässigste und einfachste Mittel; hat man jedoch die Absicht, eine ganze Reihe von Intervallen zu prüfen und die bei denselben erhaltenen Resultate mit einander zu vergleichen, so thut man besser, die Curven auf geraden Streifen auszuschneiden und diese um Räder zu legen, sodass sie einen Cylindermantel bilden. Jeder auf einem Rade befestigte Streifen kann dann an beiden Rändern ausgeschnitten sein, und dieselbe Axe mehrere solcher Räder tragen. — Fig. II zeigt einen Apparat dieser Art mit vier Rädern für die acht Intervalle der ersten Periode von 8:9 bis 8:16, und die Disposition desselben ist ausserdem so getroffen, dass diese Axe mit vier Rädern sofort durch eine andere mit eben so viel Rädern für die Intervalle der zweiten Periode von bis 8:17 bis 8:24 ersetzt werden kann.

Auch eine Sirenscheibe mit Löcherkreisen, welche den Schwingungszahlen der primären Töne und der Stosstöne entsprechen, die beim Anblasen der Curven gehört werden,

kann auf der Axe des Apparates befestigt werden, und die Figur zeigt die einfache Anordnung, durch welche es möglich wird, mehrere Löcherkreise zugleich auf derselben ansprechen zu lassen.

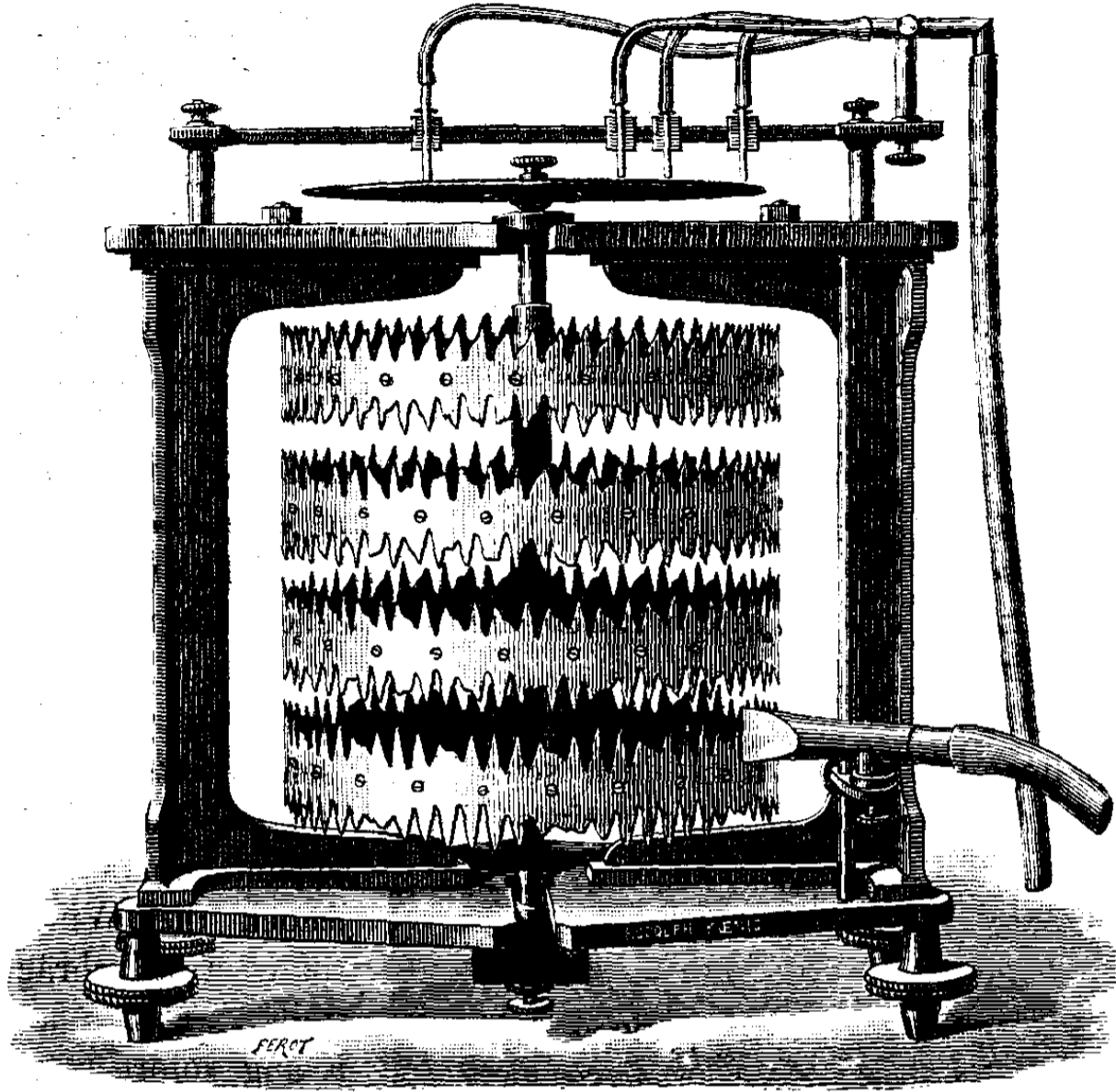


Fig. II.

Will man bei allen diesen Experimenten eine grössere Intensität der Töne erhalten, so hat man nur die Zahl der anblasenden Windspalten zu vermehren, welche dann aber natürlich um die Weite der ganzen Wellenperiode von einander abstehen müssen, doch ist die Intensität, welche man beim Anblasen durch eine Spalte erhält, in den meisten Fällen wohl schon hinreichend.

Bei der hier angewendeten Einrichtung der Wellensirenen

würden natürlich theoretisch nur in dem Falle Schwingungsbewegungen der Luft entstehen, die vollständig den Curven entsprächen, gegen welche durch die Windspalte geblasen wird, wenn diese Spalte unendlich schmal wäre und die Ausflussgeschwindigkeit der Luft durch letztere immer durchaus constant bliebe, wie schon Terquem und Töpler bemerkt haben. Diese theoretischen Bedingungen lassen sich natürlich practisch nicht absolut erfüllen, weil man weder ein unendlich grosses Luftreservoir, noch auch unendlich schmale Windspalten und äusserst langgestreckte Wellencurven anwenden kann, doch scheint in Wirklichkeit die durch die angegebene Ursache veranlasste Störung nur äusserst gering zu sein, da ich sie durch directe Analyse mit Resonatoren nicht bemerken konnte. Sollte man aber dennoch den durch eine solche Störung muthmasslich erzeugten harmonischen Tönen bei der Erzeugung der Stosstöne mit der Wellensirene eine Bedeutung beimessen wollen, so lässt sich die Irrthümlichkeit dieser Ansicht auch noch direct durch ein schlagendes Experiment darthun.

Bläst man eine einfache Sinuscurve durch eine normale Spalte an, so hört man einen schwachen, sehr sanften Ton, der durchaus den Character eines einfachen Tones zu haben

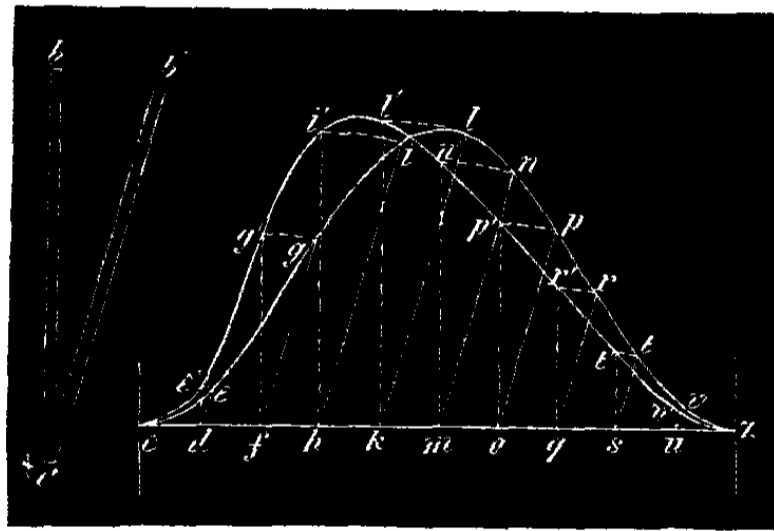


Fig. III.

scheint, sobald man jedoch die Windspalte etwas schräg stellt, wird der Klang sofort stärker und schärfer, und geht bei genügender Abweichung der Spalte von der Normalen in den Klang einer durchschlagenden Zunge, also einen Klang mit starken harmonischen Tönen über. In der That, geht (Figur III) die Sinuscurve von der normalen Spalte *a, b* vorüber, so wird diese nach dem Gesetze dieser Curve verkürzt und verlängert; gleitet jedoch

scheint, sobald man jedoch die Windspalte etwas schräg stellt, wird der Klang sofort stärker und schärfer, und geht bei genügender Abweichung der Spalte von der Normalen in den Klang einer durchschlagenden



dieselbe Curve über die schräge Spalte  $a b'$ , so folgt die Veränderung der Länge dieser letzteren einem ganz anderen Gesetze, und es ist dann gerade so, als würde durch die Normalspalte  $a b$  die Curve  $a e' g' i' \dots$  angeblasen, welche man erhält, wenn man zu  $a b'$  durch die Sinuscurven die Parallelen  $dc, fg, hi \dots$  zieht, in  $d, f, h \dots$  Perpendikel von der Länge  $de, fg, hi \dots$  errichtet und durch ihre Endpunkte die Curven  $c, e', g', i' \dots$  legt. Der Wechsel der Intensität und der Klangfarbe bei der Neigung der Windspalte nach der einen, wie nach der anderen Seite tritt so schnell mit genügender Deutlichkeit auf, dass man die richtige Stellung der Spalte für die Hervorbringung des einfachsten Tones, ohne hinzusehen, nur nach dem Gehör, immer in äusserst kleinen Grenzen finden kann.

Es geht aus diesen Experimenten hervor, dass es immer leicht ist, bei der Wellensirene einen einfachen Ton in einen durch starke Obertöne gebildeten Klang zu verwandeln und ebenso auch den Zusammenklang zweier einfachen Töne in einen Zusammenklang zweier Klänge mit starken Obertönen. Wenn nun bei den oben beschriebenen Experimenten die beiden Pendelbewegungen nicht ganz einfach gewesen sein sollten und die Stosstöne mit Hilfe der sie begleitenden schwachen harmonischen Töne entstanden wären, so müssten diese Stosstöne auch an Intensität gewinnen, wenn man die unmerklich schwachen Obertöne plötzlich in starke verwandelte. Beobachtet man jedoch die Stärke eines Stosstons, während die Curve durch eine normale Spalte angeblasen wird, und gibt dann dieser Windspalte plötzlich eine schräge Stellung, so vergrössert sich die Intensität des Stosstons in keiner Weise, sondern wird im Gegentheil etwas geringer.

Paris, December 1880.