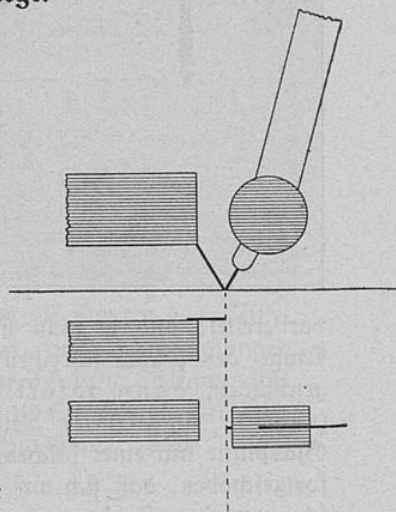


## fünfte Abteilung:

### Akustik.

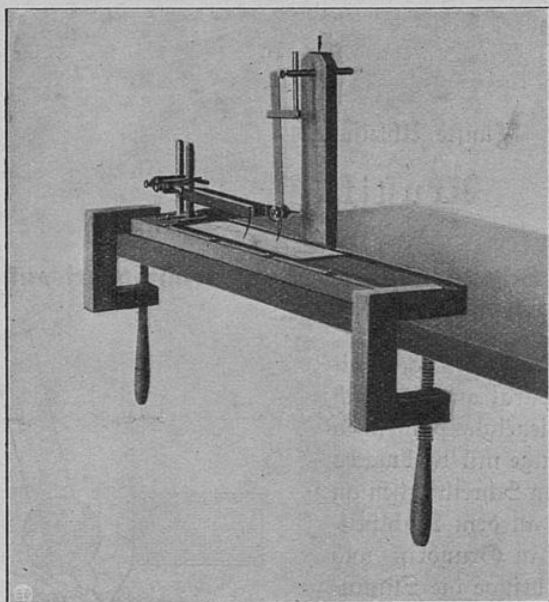
#### 1. Bestimmung der Schwingungszahl einer Stimmgabel auf graphischem Wege.

a) Man schraube mit Hilfe der beiden Zwingen den Apparat an den Tisch an, lege eine der Spiegelglasplatten in die Schienenbahn, befestige mit Klebwachs je eine der beigegebenen Schreibspitzen an der Stimmgabel bzw. an dem Stahlpendel, wie es die Figur in Grundriß und Aufsriß darstellt, und bringe die Stimmgabel und das Pendel so an dem Apparat an, daß beide Schreibspitzen die Glasplatte berühren. Die Einstellung bei der Stimmgabel bewirkt man nur an der Schreibspitze, beim Pendel dagegen dadurch, daß man seine Stellung im ganzen verändert. Die unteren Enden beider Schreibspitzen müssen auf einer Geraden liegen, die auf der Schienenrichtung senkrecht steht. Vergleiche die gestrichelte Gerade in der Figur.



b) Die Glasplatte wird herausgezogen und auf den Tisch gelegt. Die Spitze des Zeigefingers mache man mit etwas Vaseline fettig, betupfe mit ihr die Oberseite der Glasplatte an vielen Stellen und verreihe die Tupfen recht gleichmäßig, am besten mit den dicht aneinander gelegten Spitzen des Zeige- und Mittelfingers. Je weniger Vaseline man aufgetragen hat, desto besser wird der Versuch gelingen.

c) Jetzt wird die Glasplatte mit Lykpodium (aus einem Leinwandbeutel, den man ungefähr 40 cm darüber hält) vorsichtig eingestäubt. Nachdem das überschüssige Lykpodium abgeklopft ist, schiebt man die Glasplatte wieder in den Apparat und untersucht, ob

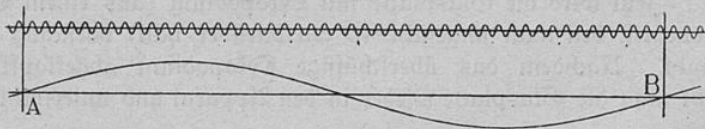


auch beide Schreibspitzen beim Anschlagen der Stimmgabel und beim Schwingenlassen des Pendels (Amplitude 1 cm) schreiben, d. h. die Lykopodiumschicht eben wegkratzen. Wenn bei diesen Vorversuchen die Lykopodiumschicht auf der Platte verbraucht sein sollte, ist die Spiegelglasplatte mit einem Tuche zu reinigen, neu einzufetten und einzustäuben.

d) Ist alles so vorbereitet, und ist man sicher, daß beide Spitzen auf der ganzen Länge der Platte schreiben, so wird zuerst die Stimmgabel angeschlagen, dann sofort das Pendel in Schwingungen versetzt (nicht in umgekehrter Reihenfolge!) und ohne Zeitverlust die Glasplatte mit einer solchen Geschwindigkeit unter den Schreibspitzen fortgeschoben, daß sich auf ihr  $1\frac{1}{2}$  bis 2 Wellenlängen der Pendelschwingung aufzeichnen.

e) Stimmgabel und Pendel werden angehalten, die Schreibspitze der Gabel wird entfernt und die Glasplatte unter der jetzt ruhenden Schreibspitze des Pendels entlang gezogen, um die zu seiner Schwingungskurve gehörige Achse zu erhalten.

In den beiden Punkten A und B, in denen sich Achse und Kurve schneiden, und die um eine, vielleicht auch um zwei ganze Wellenlängen voneinander entfernt sind, errichtet man, ohne die Glasplatte aus den Schienen zu entfernen, mit Hilfe des dem Apparat beigegebenen rechtwinkligen Anschlagsdreiecks auf der Achse je eine Senk-



rechte, die auch die Stimmgabelkurve schneiden. Man benutze hierzu einen sehr spitzen Bleistift.

f) Mit der Stoppuhr beobachte man jetzt die Dauer von 50 Pendelschwingungen viermal und berechne daraus die Zeit  $t$  für eine Pendelschwingung AB.

g) Jetzt ist die Anzahl  $N$  der Stimmgabelschwingungen, die in der gleichen Zeit erfolgt sind, auf der Glasplatte zwischen den beiden Noten abzuzählen. Zu diesem Zwecke stellt oder legt man die Platte geeignet auf und bezeichnet zunächst jede fünfte Schwingung durch eine Marke auf der Lyfopodiumschicht (s. d. fig. auf S. 6). Eine Lupe erleichtert diese Arbeit sehr. Es ist dann nicht schwierig, die Gesamtzahl  $N$  der Schwingungen festzustellen, die in der Zeit  $t$  erfolgt sind.

h) Wieviel Schwingungen hat die Stimmgabel in einer Sekunde gemacht? Diese Anzahl  $n$  heißt die Schwingungszahl der Stimmgabel.

i) Stelle den ganzen Versuch auf einer zweiten Spiegelglasplatte noch einmal an und nimm aus beiden Messungen das Mittel.

	$t$	$N$	$n$
1			
2			
Mittel:			

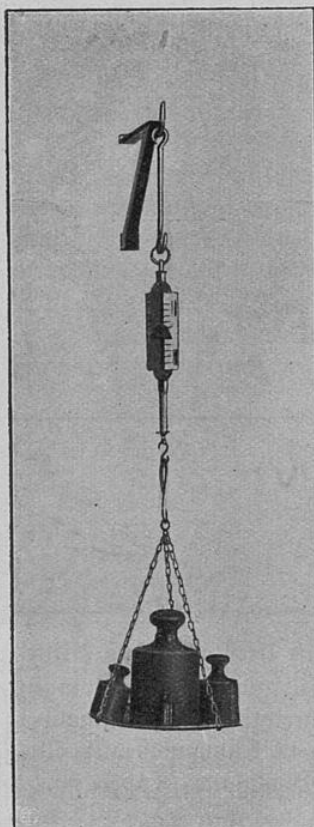
Zubehör: Schienenapparat mit Pendel, zwei Schraubzwingen, Spiegelglasplatten, Klebwachs, zwei Schreibspitzen, Stimmgabel, Hammer, Vaseline in Tube, Lyfopodium in Leinwandbeutel, Anschlagdreieck, Stoppuhr, Gestell für die Glasplatte, Lupe, harter Bleistift.

## 2. Bestimmung der Schwingungszahl einer Stimmgabel mit Hilfe des Monochords.

### A. Eichung der Federwage.

a) Mit Hilfe der beiden der Federwage beigegebenen Klemmen befestige man auf ihr einen passend zugeschnittenen Papierstreifen, auf dem die Skala der Federwage angebracht werden soll.

b) Man hänge die Federwage auf, bringe an ihr die 250 g wiegende Schale an und setze auf diese noch 750 g, um die Wage im ganzen mit 1 kg zu belasten. Von der Rückseite her flosse man sie ein wenig, um eine fehlerfreie Einstellung des Zeigers zu erzielen. Den Zeiger halte man vorsichtig in seiner Lage fest und ziehe ganz dicht an seiner unteren Schreibkante mit einem sehr harten und fein angespitzten Bleistift eine Gerade, die die Bezeichnung „1 kg“ erhält.



c) Man setze jetzt noch 1 kg auf die Schale, klopfe wieder, halte den Zeiger fest und bringe den Eichstrich „2 kg“ an. Man setze dies Verfahren von kg zu kg bis „11 kg“ fort.

d) Gewichte und Schale werden vorsichtig entfernt, ohne dabei die Skala zu verschieben. Die Federwaage wird auf das Monochord zurückgebracht.

### B. Bestimmung der Saitenkonstanten $m$ .

a) Von dem beigegebenen Stahldraht kneife man ein Stück von ungefähr 2 m ab und messe seine Länge, indem man es auf zwei mit ihren Null-Enden zusammengefügte Meterstäbe legt, die Drahtenden mit zwei Flachzangen haltend. Jeder der beiden Beobachter liest nur ein Ende ab; die Summe der Ablefungen, vermehrt um die gegenseitige Entfernung der Null-Enden, gibt die Länge. Unter Vertauschung der Plätze wird die Messung an einer anderen Stelle der Maßstäbe wiederholt und aus den so gefundenen Längen das Mittel  $L$  genommen.

b) Jetzt ist das Gewicht des Drahtstückes zu bestimmen. Dies geschieht nach der Tariermethode: Der Draht wird auf die linke Schale einer Wage gebracht und sorgfältig austariert, indem man auf die andere Schale so viel Belastung (Schrot und zuletzt Papierstückchen) bringt, daß die Wage annähernd symmetrisch zu 10 schwingt.

	L	g	log m	Q	l	n
1	}	}	}			
2						
3						
Mittel:						

Nachdem man den Nullpunkt bestimmt hat, entfernt man den Draht von der Wage und bestimmt durch zwei Schwingungsversuche, durch wieviel Gewicht das Gewicht des Drahtes zu ersetzen ist. Aus diesem Gewicht  $g$  und der Länge  $L$  berechnet man das Gewicht eines Zentimeters des Drahtes. Es sei  $m$ .

### C. Einstellung des Monochords.

a) Der eben gewogene Draht wird auf dem Monochord gespannt, indem man ihn auf der einen Seite mit drei festen Knoten an dem Haken der Federwage anbringt und ihn auf der anderen Seite in gleicher Weise am Wirbel befestigt, ihn dabei durch das Loch im Wirbel hindurchziehend. Die überflüssige Länge des Drahtes wird abgekniffen. Der Draht soll schon jetzt möglichst stramm sitzen.

b) Den beweglichen Steg bringt man unter das dem Wirbel zugekehrte Ende der Saite.

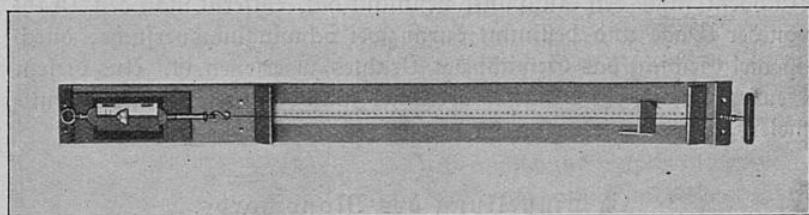
c) Der eine Beobachter schlägt die Stimmgabel an und setzt sie mit ihrem Stiel auf den Tisch, während der andere die Saite in ihrer Mitte wenig zupft, sie allmählich, den Wirbel links herum drehend, von  $kg$  zu  $kg$  immer mehr spannend, bis bei einer Spannung von einer vollen Anzahl Kilogrammen die Saite zum erstenmal einen höheren Ton gibt als die Stimmgabel. Dann wird die Spannung der Saite wieder um  $1$   $kg$  vermindert und die abgelesene\*) Spannung  $Q$  (in  $kg$ ) in die erste Zeile der Tabelle eingetragen. Der Ton der Saite muß jetzt tiefer sein als der der Stimmgabel.

d) Mit Hilfe des Steges wird die Saite so lange verkürzt, bis dem Ohre der Ton der Saite dem der Stimmgabel gleich zu sein scheint.

e) Eine ziemlich genaue Übereinstimmung beider Töne erzielt man dadurch, daß man auf die Mitte der Saite ein Papierreiterchen setzt, die Stimmgabel anschlägt, sie mit ihrem Stiel auf das Monochord setzt und den Steg so lange wenig hin und her schiebt, bis der Reiter abspringt. Ist die Einstellung\*) der Federwage noch richtig?

f) Ob man wirklich genaue Übereinstimmung beider Töne erzielt hat, erkennt man zum Schluß folgendermaßen: Man schlage die Stimmgabel an, setze sie mit ihrem Stiel auf das Monochord und halte kurz darauf ihre Zinken mit der anderen Hand fest. Hört man dann die Saite tönen, so ist die Einstellung genau genug. Die Länge  $l$  der Saite (bis zum Steg) wird abgelesen und ebenfalls in

\*) Federwage klopfen!



die erste Zeile der Tabelle eingetragen. Ist die Einstellung\*) an der Federwage noch richtig?

g) Man verringere jetzt die Spannung der Saite um 1 kg und verkürze die Saite, bis beide Töne wieder Übereinstimmung zeigen, die man wie oben nachweist. Die so erhaltenen Werte von  $Q$  und  $l$  kommen in die zweite Zeile der Tabelle.

h) Noch ein zweites Mal vermindere man die Spannung der Saite um 1 kg, um ein drittes Wertepaar von Spannung und Saitenlänge zu erhalten, das in die dritte Zeile der Tabelle eingetragen wird.

#### D. Berechnung.

a) Den Ton bzw. die Schwingungszahl einer Saite erhält man aus der Taylorschen Gleichung

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{P}{m}},$$

in der  $n$  die Schwingungszahl der Saite,  
 $l$  ihre Länge (in Zentimetern),  
 $P$  ihre Spannung (in Dynen) und  
 $m$  das Gewicht eines Zentimeters der Saite (in Grammen) bedeutet.

b)  $l$  und  $m$  sind bereits bestimmt. Wie erhält man aus der abgelesenen Anzahl ( $Q$ ) Kilogrammen die Spannung ( $P$ ) in Dynen?

c) Man setze außer  $m$  die drei Wertepaare von  $P$  und  $l$  in die Gleichung ein und nehme aus den drei so erhaltenen Werten von  $n$  das Mittel. Dieser Wert ist dann zugleich die Schwingungszahl der Stimmgabel.

Zubehör: Federwage, Schreibpapier, Schere, Schale, Gewichte bis 11 kg, harter Bleistift, Monochord, Stahldraht, Beißzange, zwei Flachzangen, Maßstäbe, Wage mit Gewichten, Schrot, Stimmgabel, Papierreiter.

\*) Federwage klopfen!

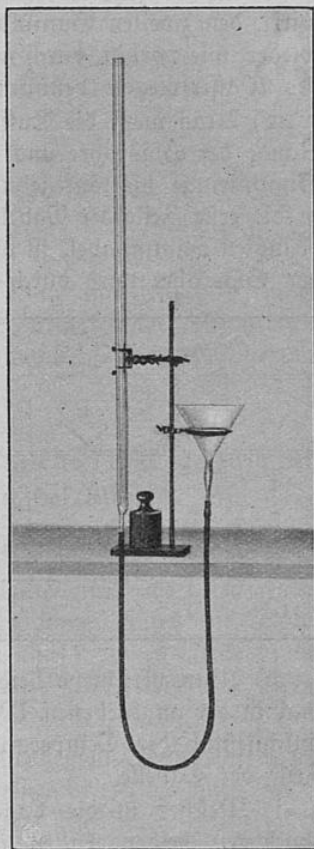
### 3. Die Geschwindigkeit des Schalles in Luft mit der Resonanzröhre zu bestimmen.

a) Vom Bunsenschen Gestelle nehme man den Ring ab, lege ihn auf den Tisch und führe den langen Gummischlauch durch ihn hindurch. Dann befeuchte man die sich verjüngenden Ansätze der Resonanzröhre und des Glastrichters und ziehe die Enden des Schlauches über beide Ansätze hinüber. Beide Schlauchenden werden sorgfältig festgebunden.

b) Nachdem man über die Resonanzröhre zwei Gummiringe gestreift hat, befestige man die Röhre und den Trichter in senkrechter Stellung so an dem Stativ, wie es die Abbildung zeigt. Ein auf die Stativplatte gesetztes Gewicht verhindert ein Umkippen der ganzen Vorrichtung. Den Schlauch läßt man herabhängen.

c) Jetzt bringe man den Trichter so tief und die Röhre so hoch, daß sich der Rand des Trichters nur ungefähr 5 cm höher befindet als das untere Ende der Resonanzröhre. In den Trichter gieße man Wasser, bis es auch in der Röhre aufsteigt. Zunächst verhindert zwar die im Schlauche abgesperrte Luft den Ausgleich, doch läßt sich diese leicht durch Zusammendrücken des Schlauches entfernen. Daß sämtliche Luft entfernt ist, erkennt man daran, daß das Wasser in der Röhre und im Trichter gleich hoch steht.

d) Der Trichter wird jetzt so hoch gebracht und die Röhre so tief herabgezogen, daß das Wasser in ihr nur noch wenige Zentimeter vom oberen Rande entfernt ist. Der eine Beobachter schlägt die Stimmgabel\*) an und hält sie ziemlich dicht so über das obere Ende der Glasröhre, daß die Zinken in der Richtung der Röhrenachse schwingen; doch hat er sehr darauf zu achten, daß die Gabel das Glas nicht berühre.



\*) Die Stimmgabel ist durchaus vor Feuchtigkeit zu schützen. Sie darf nur mit ganz trockenen Händen berührt werden.

Der andere Beobachter senkt durch Hinabgehen mit dem Trichter den Wasserstand so lange, bis er ein lautes Mittönen der Luftsäule in der Röhre hört. Der so ermittelte Wasserstand in ihr wird durch den oberen der beiden Gummiringe bezeichnet.

e) Eine scharfe Einstellung des Gummiringes erreicht man dadurch, daß man den Wasserspiegel durch vorsichtiges Heben und Senken des Trichters mehrmals langsam über die bezeichnete Stelle wandern läßt und beobachtet, ob sowohl beim Sinken als auch beim Steigen des Wassers der entstehende Resonanzton gerade in dem Augenblick sein Maximum hat, wo sich der Wasserspiegel in der Höhe des Gummiringes befindet.

f) Man senke jetzt den Wasserspiegel in der Glasröhre weiter, bis wiederum ein lauter Resonanzton hörbar wird, und bringe an der Stelle, wo jetzt der Wasserspiegel das Maximum des Tones bewirkt, den zweiten Gummiring an. Seine endgültige Stellung wird wieder, wie vorhin, durch mehrmaliges langsames Senken und Heben des Wasserspiegels bestimmt.

g) Man messe die Entfernung  $e_1$  des oberen Gummiringes vom Rande der Glasröhre und die gegenseitige Entfernung  $e$  der beiden Gummiringe bis auf zehntel Zentimeter und trage beide Größen in die erste Zeile der Tabelle ein. Auch  $n$ , die Schwingungszahl der benutzten Stimmgabel, ist anzugeben. Die Temperatur  $t$  der Luft in der Glasröhre wird durch ein eingesenktes Thermometer bestimmt.

n =							
	$e_1$	$e$	$t$	fehler von $e_1$	$\lambda_t$	$c_t$	$c_0$
1							
2							
3							
Mittel:							

h) Man verschiebe beide Gummiringe und stelle sie noch zweimal in der angegebenen Weise ein. Die so erhaltenen Ablesungen, einschließlich der Temperaturen, kommen in die zweite und dritte Zeile der Tabelle.

i) Welches ist die Lage der Knoten und Bäuche in den beobachteten beiden Fällen von Resonanz? Betrachte die folgenden



Figuren, in denen statt der longitudinalen stehenden Luftwelle eine transversale gezeichnet ist. Der wievielte Teil einer Wellenlänge ist  $e_1$  und  $e$ ? Der wievielte Teil von  $e$  müßte demnach  $e_1$  sein? Weshalb weisen die Messungen dieses Verhältnis nicht genau auf? Um wieviel ist  $e_1$  zu klein gefunden worden? Trage diesen Fehler von  $e_1$  in die Tabelle ein.

k) Berechne aus  $e$  die Wellenlänge  $\lambda_t$ , d. h. die Wellenlänge des benutzten Tones bei der Zimmertemperatur  $t$ , und trage  $\lambda_t$  in die Tabelle ein.

l) Versteht man unter  $c_t$  die Geschwindigkeit des Schalles in Luft von der Temperatur  $t$ , so gilt die Gleichung

$$c_t = n\lambda_t.$$

Berechne aus ihr  $c_t$ .

m) Um hieraus  $c_0$ , d. h. die Geschwindigkeit des Schalles in Luft bei  $0^\circ$  zu finden, dient die Gleichung

$$c_t = c_0 \cdot \sqrt{1 + \alpha t},$$

in der  $\alpha = 0,004$  zu setzen ist. Berechne  $c_0$  und trage es, wie  $c_t$ , in die Tabelle ein.

n) Nimm aus den drei Werten von  $c_0$  das Mittel.

Zubehör: Bunsensches Gestell mit Ring und großer Klemme, langer Gummischlauch, Resonanzröhre, Glastrichter, Bindfaden, Gummiringe, Gewicht, Wassertopf, Stimmgabel, Maßstab, Thermometer.

#### 4. Die Geschwindigkeit des Schalles in Glas und Messing mit der Kundtschen Röhre zu bestimmen.

##### A. Aufstellung des Apparates.

a) Die Kundtsche Röhre wird mit Hilfe eines an einen faden gebundenen Wattebausches, der ziemlich streng durch die Röhre gehen soll, gut getrocknet, indem man ihn mehrere Male in der gleichen Richtung langsam durch die Röhre zieht. Über die Röhre werden zwei Gummiringe gestreift.

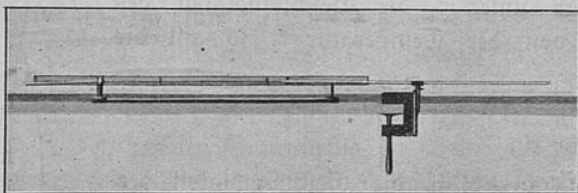
b) Dann halte man die Röhre unter einem Winkel von ungefähr  $45^\circ$  schräg nach unten und schütte einen viertel bis einen halben Teelöffel Korkstaub hinein. Durch öfteres Aufrichten und Neigen der Röhre versucht man, eine möglichst gleichmäßige Verteilung des



Korkstaubes zu erzielen. Hat man dies erreicht, so lege man die Röhre wagerecht in ihre Lager zurück. Das eine Ende der Röhre wird durch den verschiebbaren, an einem kurzen Holzstiele befestigten Korkstößel verschlossen.

c) Man lege den beigegebenen Glasstab auf einen Meterstab, messe seine ganze Länge  $l'$  und bringe den kurzen Gummischlauch auf ihm genau in seine Mitte.

d) In einem am Tische zu befestigenden eisernen Kloben wird der Glasstab da, wo sich der Gummischlauch befindet, also in seiner



Mitte, eingeflemmt (Vor-sicht!). Die Kundtsche Röhre wird mitsamt ihrem Lager verschoben, bis sie

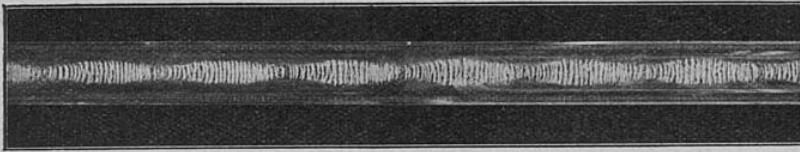
über das mit der Korkscheibe versehene Ende des Glasstabes so weit hinüberreicht, wie es die Abbildung zeigt. Der Glasstab soll sich genau in der Achse der Röhre befinden.

#### B. Welche Wellenlänge in Luft hat der Longitudinalton des Glasstabes?

a) Die beiden Beobachter stellen sich an den beiden Enden des so zusammengesetzten Apparates auf. Der eine reibt mit einem nassen Tuche den Glasstab von der Mitte nach dem freien Ende zu, ohne dabei das Tuch zu sehr an den Stab anzudrücken, es vielmehr ziemlich lose zwischen Daumen und Zeigefinger haltend. Nach einigen Versuchen gelingt die Erzeugung eines hohen, gleichmäßig reinen Tones leicht.

b) Der andere Beobachter verschiebt versuchsweise den Stößel wenig, höchstens einige Zentimeter, hin und her, bis einer der erzeugten Töne den Korkstaub in stehenden Wellen anordnet. Es ist dabei für die Entstehung schön ausgebildeter Staubfiguren von Vorteil, wenn der Korkstaub nicht am Boden der Röhre liegt, sondern durch Drehen der Kundtschen Röhre um ihre Achse etwas gehoben wird.

c) Ist die Figur zur Zufriedenheit ausgefallen, so werden die beiden Gummiringe über zwei möglichst weit voneinander entfernte liegende, aber noch scharf erkennbare Knoten (oder über zwei eben-



solche Bäuche) gebracht, und die Anzahl der zwischen ihnen liegenden halben Wellen gezählt. Die Kundtsche Röhre wird behutsam aus ihrem Lager genommen, ohne daß man die Gummiringe verschiebt, und auf den Maßstab gelegt, mit dessen Hilfe die Entfernung beider Ringe bis auf zehntel Zentimeter gemessen wird. Ein in das Rohr geschobenes Thermometer gibt die Temperatur  $t_1$  an. Ist  $p$  die Anzahl der halben Wellen zwischen den Gummiringen,  $\frac{\lambda}{2}$  die Länge einer halben Staubwelle, also auch die der Luftwelle im Rohre, und  $a$  die Entfernung beider Gummiringe ( $\lambda$  und  $a$  in Zentimetern gemessen), so gilt die Gleichung  $p \cdot \frac{\lambda}{2} = a$ .

d) Durch Klopfen wird, nachdem das Thermometer entfernt worden ist, die Staubfigur zerstört. Die Röhre bringt man in ihr Lager zurück, setzt den Apparat wieder zusammen und verschiebt beide Gummiringe. Noch zweimal werden jetzt in der angegebenen Weise die Figuren erzeugt, die Gummiringe eingestellt und ihre Entfernungen  $b$  und  $c$  sowie die Anzahl ( $r$  und  $s$ ) der zwischen ihnen liegenden halben Wellen bestimmt, wodurch man zwei der oben angegebenen Gleichung entsprechende erhält. Auch die zugehörigen Temperaturen  $t_2$  und  $t_3$  werden gemessen. Sämtliche gemessenen Größen werden in der nebenstehenden Tabelle zusammengestellt.

Glasstab*)		
„Ein-Strich“		
1	$p \cdot \frac{\lambda}{2} = a$	$t_1 =$
2	$r \cdot \frac{\lambda}{2} = b$	$t_2 =$
3	$s \cdot \frac{\lambda}{2} = c$	$t_3 =$
	$(p + r + s) \cdot \frac{\lambda}{2} = a + b + c$	$t =$
	$\frac{\lambda}{2} =$	$l =$
	$c =$	$n =$

\*) Alle sich auf den Versuch mit dem Glasstab beziehenden Größen erhalten den oberen Zeiger „Ein-Strich“.

C. Welche Wellenlänge in Luft hat der Longitudinalton des Messingstabes?

a) Man entferne den Glasstab aus dem Kloben, lege den beigegebenen Messingstab auf den Maßstab, messe seine ganze Länge  $l'$  und befestige ihn genau in seiner Mitte im Kloben in derselben Lage wie vorher den Glasstab. Die Kundtsche Röhre wird wieder über das Ende des Stabes geschoben, das die Korkscheibe trägt.

Messingstab*)		
„Zwei-Strich“		
1.	$p \cdot \frac{\lambda}{2} = a$	$t_1 =$
2.	$r \cdot \frac{\lambda}{2} = b$	$t_2 =$
3.	$s \cdot \frac{\lambda}{2} = c$	$t_3 =$
	$(p + r + s) \cdot \frac{\lambda}{2} = a + b + c$	$t =$
	$\frac{\lambda}{2} =$	$l =$
	$c =$	$n =$

b) Der Messingstab wird dadurch zum Tönen gebracht, daß man ihn mit einem in gepulvertes Kolophonium getauchten Lappen oder auch nur mit den in Kolophonium getauchten Fingerspitzen reibt.

c) Wie beim Glasstabe stelle man drei Versuche an, deren Ergebnisse man ebenso wie bei jenem in einer Tabelle zusammenstelle. Man versäume nicht die Messung der Temperaturen.

D. Berechnung der Schallgeschwindigkeit in Glas und in Messing.

a) Wieviel Wellen in Glas (oder in Messing) gehen auf die Länge des geriebenen Stabes, der in der Mitte festgeklemmt ist, der also an den freien Enden je einen Schwingungsbauch hat?



Betrachte die Figur, in der statt der stehenden longitudinalen Welle die entsprechende transversale gezeichnet ist. Welche Größe hat also  $\frac{\lambda}{2} \left( \frac{A}{2} \right)$ , wenn  $\lambda(A)$  die Wellenlänge im Glasstabe (im Messingstabe) bedeutet.

\*) Alle sich auf den Versuch mit dem Messingstab beziehenden Größen erhalten den oberen Zeiger „Zwei-Strich“.

b) Bedeutet ferner:

$c'$  ( $c''$ ) die Schallgeschwindigkeit in Glas (in Messing),  
 $n'$  ( $n''$ ) die Schwingungszahl des verwendeten Tones und  
 $c_t$  ( $c_{t''}$ ) die Schallgeschwindigkeit in Luft bei der Temperatur  $t'$  ( $t''$ ),  
dem Mittel aus den gemessenen drei Temperaturen, so gelten die  
Gleichungspaare:

I. für den Versuch mit dem Glasstabe:

1.  $c' = n' \lambda$  für Glas,
2.  $c_t = n' \lambda'$  für Luft;

II. für den Versuch mit dem Messingstabe:

1.  $c'' = n'' \lambda$  für Messing,
2.  $c_{t''} = n'' \lambda''$  für Luft.

Warum hat  $n'$  im ersten und  $n''$  im zweiten Gleichungspaare denselben Wert?

c) Man dividiere die Gleichungen jedes Paares durcheinander, setze  $c_t = 33100 \sqrt{1 + \alpha t}$  (s. die vorige Übung) und für das Verhältnis der ganzen Wellenlängen das der halben.

d)  $\frac{\lambda}{2} \left( \frac{\lambda''}{2} \right)$  findet man, indem man (s. die Tabelle) die drei für  $\frac{\lambda}{2} \left( \frac{\lambda''}{2} \right)$  geltenden Gleichungen addiert und die entstehende durch den Faktor  $(p + r + s)$  dividiert. Berechne die einzige Unbekannte  $c'$  ( $c''$ ) und trage ihren Wert gleichfalls in die Tabelle ein.

E. Welches ist die Höhe des benutzten Tones?

a) Berechne aus den unter D, b angegebenen Gleichungen die Schwingungszahlen  $n'$  des Glasstabes und  $n''$  des Messingstabes. Wie läßt sich die Berechnung auf ihre Richtigkeit prüfen? Trage  $n'$  und  $n''$  in die Tabellen ein.

b) Bestimme die musikalischen Benennungen der beiden benutzten Töne mit Hilfe der Tabelle auf Seite 16 der Schülkeschen Logarithmentafel.

Zubehör: Kundtsche Röhre mit Stöpsel, Doppellager, Watte, Faden, Gummiringe, Korkstaub, Glasstab, Messingstab, nasses Tuch, wollener Lappen, Kolophonium, Maßstab, Thermometer, eiserner Kloben.

### 5. Die Geschwindigkeit des Schalles in Kohlendioxyd und in Leuchtgas mit der Kundtschen Röhre zu bestimmen.

#### A. Bestimmung der Wellenlänge eines Stabtones in Luft.

a) Die Kundtsche Röhre wird, wie in der vorigen Übung angegeben ist, mit Hilfe eines Wattebausches gut getrocknet. Sie wird mit Korkstaub beschickt, auf ihr Lager gelegt und an einem Ende mit dem verschiebbaren Stöpsel und am anderen mit dem Korken verschlossen, der die Mitte eines Glasstabes festhält. Über die Röhre sind zwei Gummiringe zu streifen.

b) Durch Reiben mittelst eines nassen Tuches bringt man den Glasstab zum Tönen. Durch Verschieben des Stöpsels wird sich auch hier bald die Bildung einer guten Staubfigur erreichen lassen. Der Versuch wird dreimal angestellt und jedesmal die ganze Länge einer möglichst zahlreichen Folge von Wellen gemessen, um daraus  $\frac{\lambda'}{2}$ , die Länge einer halben Welle des benutzten Tones in Luft, zu berechnen. Auch hier versäume man nicht die Messung der zugehörigen Temperaturen, um aus ihnen das Mittel  $t'$  zu nehmen.

Die Messungen sind in Tabellenform aufzuschreiben.

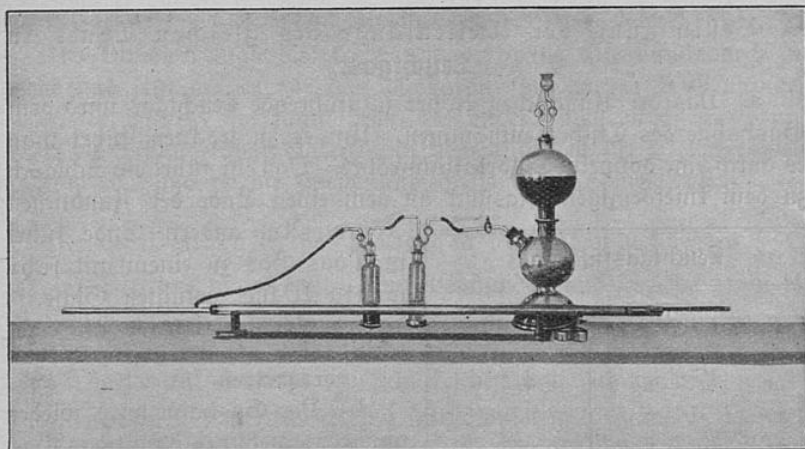
Luftfüllung*)	
„Ein=Strich“	
$p \cdot \frac{\lambda}{2} = a$	$t_1 =$
$r \cdot \frac{\lambda}{2} = b$	$t_2 =$
$s \cdot \frac{\lambda}{2} = c$	$t_3 =$
$\frac{\lambda}{2} =$	$t =$
$c_0 = 33100$	$n =$

#### B. Bestimmung der Wellenlänge desselben Tones in Kohlendioxyd.

a) Von einem Kippschen Apparat für die Entwicklung von Kohlendioxyd führe man dieses Gas, um es von der mitgerissenen Säure zu befreien, durch eine mit Wasser gefüllte Waschflasche und von dieser durch eine gleiche, mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllte, um es hierin zu trocknen.

Von hier führt es ein Schlauch weiter zu dem knieförmig gebogenen Rohre, von dem es in das Innere der Kundtschen Röhre gelangt. Am andern Ende der Röhre führt man das austretende Gas, um die Geschwindigkeit seines Durchgangs durch die Röhre beobachten zu können, aus dem an die

\*) Alle Größen, die sich auf den Versuch mit der mit Luft gefüllten Röhre beziehen, erhalten den oberen Zeiger „Ein=Strich“.



Röhre angeschmolzenen Glasansätze in ein mit wenig Wasser gefülltes Glas.

Vor dem Öffnen des Hahnes ist der ganze Aufbau vorzuzeigen.

b) Der Hahn des Kippschen Apparates wird wenig geöffnet, d. h. nur so weit, daß man die einzelnen durch die Waschflaschen tretenden Gasblasen noch deutlich voneinander unterscheiden kann. Man lasse den Gasstrom die in der Röhre vorhandene Luft vollständig verdrängen und schließe, wenn man davon überzeugt ist, daß die Kundtsche Röhre nur Kohlendioxyd enthält, den Hahn so weit, daß aus ihr in jeder Sekunde ungefähr eine Gasblase austritt.

c) Durch Reiben des Glasstabes mit dem nassen Tuche und Verschieben des Stöpsels am andern Ende (den Gasausfluß nicht absperren!) erzeugt man, wie vorhin, die Staubfiguren dreimal, mißt wieder die Größen  $p$ ,  $r$ ,  $s$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ;  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  und berechnet aus ihnen  $\frac{\lambda}{2}$  und  $t$ . Gasahhn schließen!

Kohlendioxydfüllung*)	
„Zwei-Strich“	
$p \cdot \frac{\lambda}{2} = a$	$t_1 =$
$r \cdot \frac{\lambda}{2} = b$	$t_2 =$
$s \cdot \frac{\lambda}{2} = c$	$t_3 =$
$\frac{\lambda}{2} =$	$t =$
$c_0 =$	$n =$

\*) Alle Größen, die sich auf den Versuch mit der Kohlendioxydfüllung beziehen, erhalten den oberen Zeiger „Zwei-Strich“.

C. Bestimmung der Wellenlänge des gleichen Tones in  
**Leuchtgas.**

a) Das der Kundtschen Röhre zuzuführende Leuchtgas wird dem Gashahn des Tisches entnommen. Um es zu trocknen, führt man es durch eine doppelte Chlorkalziumröhre. Von ihr führt ein Schlauch zu dem knieförmigen Glasstück an dem einen Ende der Kundtschen Röhre. Am andern Ende führt man das Gas zu einem mit sehr wenig Wasser gefüllten Glase.

Leuchtgasfüllung*)	
„Drei-Strich“	
$p \cdot \frac{\lambda}{2} = a$	$t_1 =$
$r \cdot \frac{\lambda}{2} = b$	$t_2 =$
$s \cdot \frac{\lambda}{2} = c$	$t_3 =$
$\frac{\lambda}{2} =$	$t =$
$c_0 =$	$n =$

Vor dem Öffnen des Gashahnes ist der ganze Aufbau vorzuzeigen.

b) Der Gashahn wird wieder nur wenig geöffnet, damit das Gas beim Hinstreichen über das Chlorkalzium auch vollständig getrocknet werde. Ist man sicher, daß die Kundtsche Röhre nur Leuchtgas enthält, ersetze man das Glas mit Wasser, in dem man das Aufsteigen der Gasblasen verfolgt hat, durch einen Gasbrenner, an dem

man das Gas entzündet. Die Flamme wird ziemlich klein gedreht. Doch halte man eine zweite Flamme bereit, um an ihr die erste wieder entzünden zu können, falls sie später durch den erzeugten Ton ausgelöscht worden sein sollte.

c) Durch Reiben des Glasstabes mit dem nassen Tuche und Verschieben des Stöpsels am anderen Ende (den Gasausfluß nicht absperren!) erzeugt man, wie vorhin, die Staubfiguren dreimal, mißt wieder die Größen  $p, r, s; a, b, c; t_1, t_2, t_3$  und berechnet aus ihnen  $\frac{\lambda}{2}$  und  $t$ . Gashahn schließen!

D. Berechnung der Schallgeschwindigkeit in beiden Gasen.

a) für die unter A, B und C gemessenen Größen gelten folgende Gleichungen:

1. für Luft:  $c'_0 \sqrt{1 + \alpha t'} = n\lambda'$ ,
2. für Kohlendioxyd:  $c''_0 \sqrt{1 + \alpha t''} = n\lambda''$  und
3. für Leuchtgas:  $c'''_0 \sqrt{1 + \alpha t'''} = n\lambda'''$ .

\*) Alle Größen, die sich auf den Versuch mit der Leuchtgasfüllung beziehen, erhalten den oberen Zeiger „Drei-Strich“.



Warum hat  $n$  in allen Gleichungen denselben Wert?

b) Dividiert man die zweite und die dritte Gleichung durch die erste und setzt wieder für das Verhältnis der ganzen Wellenlängen das der halben, so kann man die unbekanntenen Größen  $c_0''$  und  $c_0'''$ , die Schallgeschwindigkeiten in beiden Gasen bei  $0^\circ$ , berechnen.  $c_0''$  und  $c_0'''$  sind in die zweite und dritte Tabelle einzutragen.

E. Welches ist die Höhe des benutzten Tones?

a) Berechne  $n$  aus allen drei Gleichungen und schreibe es in die Tabellen ein.

b) Bestimme die musikalische Benennung des Tones mit Hilfe der Tabelle auf Seite 16 der Schülkeschen Logarithmentafel.

Zubehör: Kundtsche Röhre mit Stöpsel und Glasstab, Doppel-lager, Watte, faden, Gummiringe, Korkstaub, nasses Tuch, Kipp-scher Apparat, Gummischläuche, Waschflaschen mit Wasser und Schwefelsäure, Chlorkalziumröhre, zwei Gasbrenner.