3. *Über die Druckkräfte der Wellen, welche sich auf einer Flüssigkeitsoberfläche ausbreiten;* *von N. Kapzov.*

Lord Rayleigh¹⁾ hat theoretisch nachgewiesen, daß auf einen Körper, welcher die freie Ausbreitung einer oszillatorischen Bewegung im gegebenen Medium stört, Druckkräfte ausgeübt werden, die von der jeweiligen physikalischen Beschaffenheit der oszillatorischen Bewegung unabhängig sind und nur abhängen von der Energiedichte der Wellenbewegung an der Grenze des Körpers.

Die experimentellen Untersuchungen, welche Lebedew²⁾ für die Druckkräfte des Lichtes auf absorbierende und reflektierende Oberflächen, Nichols und Hull³⁾ für Druckkräfte des Lichtes auf einen Spiegel, sowie Altberg⁴⁾ für Druckkräfte der Schallwellen auf eine reflektierende Wand ausgeführt haben, diese Untersuchungen haben die theoretischen Ergebnisse von Lord Rayleigh bestätigt.

Hr. Prof. Dr. P. Lebedew hat mir vorgeschlagen, experimentell festzustellen, ob die Wellen, welche sich auf einer Flüssigkeitsoberfläche ausbreiten, Druckkräfte auf eine Wand ausüben, die deren freie Ausbreitung stört.

I. Die Versuchsanordnung.

Die Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt: Eine lange Holzplatte, deren Rand sich unter dem Wasserspiegel in einer großen flachen Wanne befand, wurde durch einen Drehstrommotor in Schwingungen versetzt und diente als Schwingungsquelle für einen ununterbrochenen Zug von parallelen Oberflächenwellen; diese Wellen fielen auf die Wand

1) Lord Rayleigh, Phil. Mag. (6) 3. p. 338. 1902.

2) P. Lebedew, Ann. d. Phys. 6. p. 433. 1901.

3) E. F. Nichols u. G. F. Hull, Amer. Assoc. f. Advanc. of Science 1901; Science (N. S.) 14. p. 558. 1901; Phys. Rev. 13. p. 307. 1901; Ann. d. Phys. 12. p. 225. 1903.

4) W. Altberg, Ann. d. Phys. 11. p. 405. 1903.

eines schwimmenden Körpers, welche senkrecht zur Richtung der Ausbreitung der Wellen stand; unter dem Einflusse der Druckkräfte der Wellen verschiebt sich der schwimmende Körper in der Ausbreitungsrichtung der Wellen und zieht die Kugeln zweier Pendeln, an welche er durch biegsame Stränge befestigt ist, so lange nach sich, bis die Druckkräfte der Wellen und die Richtkraft der Pendel sich das Gleichgewicht halten.

Aus der Messung der Ablenkung der Pendel läßt sich die Größe der auffallenden Druckkraft im absoluten Maße bestimmen und aus der Messung der Amplitude der auffallenden Wellen läßt sich deren Energie berechnen.

II. Die Apparate.

1. *Die Wasserwanne* (Dimension $200 \times 200 \times 7,5$ cm) war aus stark gefirnißtem Zinkblech hergestellt; die Tiefe des Wassers betrug ca. 5,5 cm.

Fig. 1.

2. *Die Wellenerregung* wurde in folgender Weise bewerkstelligt: an dem Ständer C (Fig. 1), welcher auf dem Tische T befestigt war, hing an zwei kurzen biegsamen flachen Stahl-

federn a der Holzrahmen E , dessen unteres Ende die Holzlatte L ($l = \text{ca. } 200 \text{ cm}$, $h = \text{ca. } 10 \text{ cm}$) trug; der Rahmen und die Holzlatte wurden in schwingende Bewegung durch die Stange H versetzt, deren eines Ende durch die flache Stahlfeder b mit dem Rahmen verbunden war und dessen anderes Ende auf dem Zapfen einer Achse A saß; die Achse wurde durch einen Drehstrommotor angetrieben. Die Schwingungszahlen der Latte L betrugen je nach der Wahl des Übertragungsverhältnisses 154, 190, 206 bez. 266 Schwingungen pro Minute bei einer Schwingungsamplitude der Latte von 4 mm.

3. *Reflektierende und absorbierende Wände.* Die Wand wurde aus einem beweglichen und zwei feststehenden Teilen

Fig. 2.

gebildet. Der bewegliche Teil der Wand S (Fig. 2) wurde durch die Wand eines schwimmenden Körpers von 50 cm Länge gebildet, welcher nach beiden Seiten durch feststehende Wände f_1 und f_2 (von je 30 cm) verlängert wurde, um die komplizierten Einwirkungen der Wellen auf die Ränder der Wand zu eliminieren.

Die reflektierende Wand bestand aus einem vertikalen Zinkstreifen von 3 cm Höhe.

Die absorbierende Wand wurde durch eine geneigte Zinkfläche gebildet, von welcher die auffallenden Wellen wie von einem flachen Seeufer nicht reflektiert werden. Um die Ab-

hängigkeit der Größe der Druckkraft, welche die Wellen auf eine absorbierende Wand ausüben, von ihrem Neigungswinkel näher zu untersuchen, wurde der schwimmende Körper, welcher die absorbierende Wand w trug (Fig. 1) aus zwei Teilen r und s gebildet, die durch ein Gelenk miteinander so verbunden waren, daß man mittels der Schraube t und der Bleigewichte g die Wand w auf jede gewünschte Neigung einstellen konnte; der Neigungswinkel wurde durch Ausmessung des untertauchenden Teiles der Wand und des Abstandes ihres unteren Endes von der Wasseroberfläche bestimmt. Ähnliche geneigte Flächen trugen auch die feststehenden Teile der Wand.

4. *Der Druckmesser.* Der Balken B (Figg. 1 und 2) trug an vier dünnen ($d = 0,15$ mm) Kupferdrähten d zwei Bleikugeln P_1 und P_2 , welche durch die, die Beobachtungsmarke i tragende Stange c verbunden waren (das Gesamtgewicht des Systems betrug 236 g, die Pendellänge 150 cm). Der bewegliche (schwimmende) Teil der Wand wurde mit den Bleikugeln P_1 und P_2 durch zwei sehr dünne ($d = 0,05$ mm) flache Stahlstreifen e_1 und e_2 verbunden. Bei einer solchen Aufhängung der Pendelkugeln (an je zwei Drähten) und bei ihrer Verbindung mit dem schwimmenden Körper durch flache Stahlstreifen konnte sich dieser letztere frei nur in der Richtung der Fortpflanzung der auffallenden Wellen bewegen; die seitlichen Verschiebungen des schwimmenden Körpers, wie solche durch Kapillarkräfte zwischen ihm und den feststehenden Wänden f_1 oder f_2 verursacht werden könnten, wurden auf diese Weise ausgeschlossen.

Die Ablenkung der Pendel wurde mittels Fernrohr beobachtet; es wurde die Lage des Index i auf dem Millimetermaßstabe m abgelesen.

Der Balken B , an welchem die Pendel hingen, sowie der Balken G , an welchem der Millimetermaßstab befestigt war, konnten auf den Querbalken F_1 und F_2 bez. D_1 und D_2 gleiten, wodurch die bewegliche Wand in beliebiger Entfernung von der Schwingungsquelle (von der Latte L) aufgestellt werden konnte.

5. *Die Wellenamplitude* wurde in folgender Weise bestimmt: Die bewegliche und die festen Wände wurden entfernt und an ihrer Stelle die Meßvorrichtung Fig. 3 aufgestellt. Die Stifte a und b wurden durch Drehen der Köpfe K_1 und K_2

belichtet¹⁾; auf der photographischen Platte, von welcher Fig. 4 ein Positivbild ist, läßt sich die Entfernung der Scheitel der Kurve d. h. die Wellenlänge direkt an dem abgebildeten Maßstabe ablesen.

Fig. 4.

8. *Die Beseitigung der stehenden Wellen* in der Wasserwanne wurde dadurch erzielt, daß die geneigte Wand *W* (Fig. 1) die auf-fallenden Wellen absorbierte; eine ähnliche absorbierende Wand *V* war auch hinter der wellenerregenden Latte *L* (Fig. 1) angebracht.

9. *Die Reinigung der Wasseroberfläche* erwies sich als un-bedingt notwendig, da ihre Verunreinigung durch die Ein-wirkung des Wassers auf Zink, Firniß und Holz, sowie durch den sich aus der Luft abscheidenden Staub das Verhalten der Wellen stark beeinflusste. Zum Zwecke der Reinigung war parallel der Latte *L* ein Messingrohr *R* (Fig. 1 im Querschnitt) aufgestellt, welches eine Länge von 200 cm hatte, mit der Wasserleitung verbunden war und in seinem unteren Teile mit einer großen Anzahl kleiner Löcher versehen war; das Wasser strömte aus diesen Löchern in die Wanne und die obere Schicht des Wassers floß durch den Ausguß *U* (Fig. 1) ab.

Nach der Erneuerung der Wasseroberfläche wurde das Niveau durch Ausschöpfen stets auf dieselbe Höhe gebracht, welche durch die Indexschraube *J* (Fig. 1) festgelegt war.

1) Die Kapazität der Batterie betrug 0,3 Mikrof., die Funkenlänge 3 cm zwischen Zinkelektroden; Abstand des Funkens vom Maßstabe 15 cm. Durch einen Schirm wurde das direkte Funkenlicht vom Objektiv abgehalten; um das diffuse Licht vom Boden der Wasserwanne zu be-seitigen, wurde auf den Boden ein mattschwarzes Metallblech gelegt.

III. Die Vorversuche.

Bei der vorläufigen Untersuchung der Wellen, welche bei verschiedenen Schwingungszahlen der Latte L auftraten, stellte es sich heraus, daß bei Schwingungszahlen, welche über 270 pro Minute betrugen, auf den Wellen sich Querrippen bildeten, welche die Bestimmung der Wellenamplitude unsicher machten; bei geringen Schwingungszahlen verschwanden diese Querrippen vollkommen. Bei Schwingungszahlen, welche unter 150 pro Minute lagen, trat ein anderer Übelstand auf: die gesamte Wassermasse des Bades geriet samt der schwimmenden Wand und den Pendeln in Schwingungen, wodurch die Druckmessungen unsicher gemacht werden.

In dem gewählten Bereiche von 150 bis 270 Schwingungen pro Minute entsteht auf der Oberfläche des Wassers eine ununterbrochene Strömung, welche von der Mitte der schwingenden Latte ausgeht, die gegenüberliegende Wand erreicht und sich in zwei Arme teilend an den Rändern der Wanne zu der Latte zurückströmt; durch aufgestreuten Korkstaub läßt sich diese Strömung leicht sichtbar machen und es läßt sich feststellen, daß diese Strömung sofort nach der Erregung der Wellenbewegung einsetzt und mit derselben aufhört; die Strömungsrichtungen der beiden Wirbel sind aus der Fig. 5 ersichtlich, welche die Ansicht der

Fig. 5.

Wasserwanne von oben darstellt: L ist die schwingende Latte, b der bewegliche Teil der reflektierenden bez. der absorbierenden Wand, f_1 und f_2 ihre feststehenden Teile. Um die Geschwindigkeit dieser Oberflächenströmung zu bestimmen, wurde über dem Wasserspiegel in der Richtung der Strömung ein Maßstab angebracht und es wurde mittels eines Sekundenzählers die Zeit bestimmt, während welcher ein auf die Oberfläche geworfenes Korkkörnchen ein bestimmtes Stück des Maßstabes passiert. Die für verschiedene Schwingungszahlen der Latte N pro Minute in der Mitte der Wanne in 50 cm Abstand von der schwingenden Latte L beobachteten Geschwindigkeiten der Oberflächenströmung W in Zentimetern pro Sekunde sind in der Tab. I angegeben.

Tabelle I.

N pro Minute	$W \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$
154	unmerklich
190	0,7
206	1,6
266	5,2

Wie aus der Tab. I ersichtlich ist, nimmt die Geschwindigkeit der Oberflächenströmung für längere Wellen ab.

Um die Tiefe der strömenden Schicht zu untersuchen, wurde an einem Gestell S (Fig. 6) ein Torsionsdraht befestigt, der an seinem unteren Ende einen Stift b mit zwei horizontalen Drähten c und d trug, von welchen c sich unter der Wasseroberfläche, senkrecht zur Strömungsrichtung und d sich in der Luft befanden; durch Verstellen des Kopfes K konnte der Draht c beliebig tief unter der Oberfläche des Wassers eingestellt werden. Die Beobachtungen ergaben, daß die Tiefe der strömenden oberflächennahen Schicht wenige Millimeter betrug und von der Größe der Wellenamplitude ist. Wegen der geringen Geschwindigkeit und der geringen Tiefe der Oberflächenströmung konnte dieselbe auf die bewegliche Wand nur mit einer Kraft einwirken, welche den beobachteten Druckkräften gegenüber, namentlich für längere Wellen, zu vernachlässigen ist.

Einen wesentlich größeren Einfluß übt auf die gemessenen Druckkräfte die Verunreinigung der Oberfläche aus, es wurden deshalb nur solche Beobachtungen in Betracht gezogen, welche spätestens 40 Min. nach der Erneuerung der Wasseroberfläche gemacht wurden, da in diesem Zeitintervall die Angaben des Druckmessers um weniger als 10 Proz. durch die Verunreinigung der Oberfläche verändert wurden.

Fig. 6.

IV. Die Versuche.

Es wurde anfänglich geplant, sowohl die Druckkräfte zu untersuchen, welche die Wellen auf reflektierende (vertikale) Wände ausüben als auch diejenigen, welche auf absorbierende (geneigte) Wände ausgeübt werden. Bemühungen, die Druckkräfte an reflektierenden Wänden zu messen, haben zu keinem positiven Ergebnisse geführt; bei der geringen Entfernung, auf welcher die reflektierende Wand von der Schwingungsquelle aufgestellt werden konnte, kam die eingeschlossene Wasseroberfläche in stehende Schwingungen, welche eine sehr komplizierte Form hatten; die Größen der Druckkraft hingen in diesem Falle in verwickelter Weise von der Form dieser stehenden Schwingungen ab. Die Untersuchung wurde deshalb auf Druckkräfte beschränkt, welche die Wellen auf absorbierende (geneigte) Wände ausüben.

Es wurde zuerst der Einfluß der Schlitzweite zwischen den beweglichen und den feststehenden Teilen der absorbierenden Wand, sowie der Einfluß des Neigungswinkels der Wand auf den Betrag der gemessenen Größen der Druckkräfte untersucht. Hierauf wurde die Amplitude und die Energie der angewandten Wellen bestimmt. Zum Schlusse sind die absoluten Beträge der gemessenen Druckkräfte mit den Werten der Energiedichte der Wellen verglichen.

Im folgenden sind aus dem umfangreichen Beobachtungsmaterial nur je eine Beobachtungsreihe angeführt, da die Ergebnisse der Beobachtungen, welche unter ähnlichen Versuchsbedingungen ausgeführt waren, stets übereinstimmende Resultate ergeben haben.

A. *Der Einfluß der Weite der Schlitzes*, welche den beweglichen Teil der absorbierenden Wand von den beiden feststehenden Teilen trennen, wurde untersucht, indem die feststehenden Wände etwas verschoben wurden und die Druckmessungen abwechselnd bei größeren und bei kleineren Schlitzweiten ausgeführt wurden. In der Tab. II ist eine Versuchsreihe angeführt, es bedeutet t die Zeit in Minuten, welche nach dem Erneuern der Wasseroberfläche verstrichen ist, s die Weite jedes Schlitzes in Zentimetern, d die der Druckkraft proportionale Verschiebung des Indexes i (Fig. 1) auf dem Maß-

stabe m in Millimetern bei Erregung der Wellenbewegung, D ist die reduzierte Größe der gemessenen Druckkräfte, welche auf die Größe $D = 1$ bei der Schlitzweite $s = 1$ cm unter der Voraussetzung zurückgeführt ist, daß die Größe der Druckkräfte für $s = 1$ sich stetig mit der Zeit ändern.

Tabelle II.

Abstand der Wand von der Schwingungsquelle = 90 cm.

Neigungswinkel der Wand = 15° .

Schwingungszahl der Latte = 190 pro Minute.

t Min.	s cm	d mm	D
10	1,0	15,8	1,00
19	0,5	15,0	0,99
22	2,0	16,1	1,08
26	1,0	14,7	1,00
30	5,0	17,4	1,20
35	3,0	16,4	1,14
39	1,0	14,3	1,00

Die Resultate der Beobachtungen der Tab. II sind in der Fig. 7 dargestellt; eine graphische Extrapolation ergibt, daß die Abweichung in der Druckmessung, welche bei der Schlitzweite $s = 1$ cm gemacht wird, gegenüber derjenigen, welche sich für $s = 0$ ergeben hätte, geringer ist wie 5 Proz., bei den Druckmessungen ist man auf die Schlitzweite von $s = 1$ cm angewiesen, da bei geringeren Schlitzweiten die Kapillarkräfte zwischen dem beweglichen Teile der Wand und ihren feststehenden Teilen leicht Störungen in der Einstellung hervorrufen.

Fig. 7.

Aus der Tab. II ist auch ersichtlich, daß die Messungen der Druckkräfte innerhalb einer halben Stunde durch Ver-

änderung der Oberflächenbeschaffenheit sich um ca. 10 Proz. ändern können.

B. *Der Einfluß des Neigungswinkels* der absorbierenden Wand ist durch die Beobachtungsreihe der Tab. III gegeben, darin sind die für den Neigungswinkel $\varphi = 7^\circ$ und $\varphi = 15^\circ$ gemessenen, den Druckkräften proportionale Verschiebungen des Indexes i (Fig. 1) auf dem Maßstabe m in Millimetern gegeben, welche bei der Erregung der Wellenbewegung beobachtet wurden; N sind die zugehörigen Schwingungszahlen der Latte pro Minute.

Tabelle III.

Abstand der absorbierenden Wand von der Schwingungsquelle = 90 cm.
Schlitzweite = 1 cm.

N	$\varphi = 7^\circ$	$\varphi = 15^\circ$
154	9,0	7,7
190	12,1	13,0
206	16,0	14,0
266	7,4	6,5

Die Versuche lehren, daß mit wachsendem Neigungswinkel die Größen der Druckkräfte etwas abnehmen; wird der Neigungswinkel der Wand $\varphi > 15^\circ$, so tritt eine merkliche Reflexion der auffallenden Wellen auf und dementsprechend werden die beobachteten Druckkräfte größer als für $\varphi = 15^\circ$.

C. *Die absoluten Werte der Druckkräfte* können aus der Indexverschiebung, welche auf dem Maßstabe in Millimetern abgelesen wird, abgeleitet werden, wenn wir berücksichtigen, daß die Pendellänge des Druckmessers $l = 1500$ mm, das Pendelgewicht $P = 236$ g, die Länge der absorbierenden Wand $L = 50$ cm und die Erdbeschleunigung $g = 981$ cm/sec⁻² betragen. Es entspricht dann die Druckkraft p , welche auf 1 cm der Wand ausgeübt wird,

$$(1) \quad p = \frac{P \cdot g \cdot d}{l \cdot L} = \frac{236 \cdot 981}{1500 \cdot 50} \cdot d = 3,1 \cdot d \text{ Dynes,}$$

worin d die Verschiebung des Indexes in Millimetern bedeutet.

D. *Die Energie der Wellen*, welche sich auf einer Flüssigkeitsoberfläche ausbreiten wird durch die Form der Wellen-

linie und durch das Potential der Geschwindigkeiten bestimmt. Die genaue Form der Wellenlinie wurde von Lord Rayleigh¹⁾ gegeben. Bei unseren Versuchen waren die Amplituden im Verhältnis zu den Wellenlängen so gering, daß für die Energieberechnung die genaue Wellenform mit hinreichender Annäherung durch eine einfache Sinuskurve ersetzt werden kann²⁾, wodurch die Rechnungen erheblich vereinfacht werden.

Die gesamte Energie einer Welle, welche zwischen zwei sich im Abstand von 1 cm befindlichen parallelen Ebenen, bei einer Wellenamplitude von α cm zwischen zwei Wellenbergen, deren Abstand λ cm beträgt, aufgespeichert ist, setzt sich zusammen aus:

a) der potentiellen Energie W_λ der über das Niveau gehobenen Flüssigkeitsmasse³⁾:

$$(2) \quad W_\lambda = \frac{1}{4} g \cdot \alpha^2 \cdot \lambda,$$

worin g die Erdbeschleunigung ist;

b) der Differenz U_λ der Energie der Oberflächenspannung einer wellenförmig gebogenen und einer ebenen Flüssigkeitsoberfläche⁴⁾:

$$(3) \quad U_\lambda = \frac{1}{4} \cdot \frac{4 \pi^2}{\lambda^2} \cdot T \cdot \alpha^2 \cdot \lambda,$$

worin T die Oberflächenspannung in Dynes pro Zentimeter ist;

c) der kinetischen Energie der sich bewegenden Flüssigkeitsmasse, welche im Falle einer einfachen Sinusschwingung der potentiellen Energie gleich ist⁵⁾:

$$(4) \quad K_\lambda = W_\lambda + U_\lambda = \frac{1}{4} \left(g + \frac{4 \pi^2}{\lambda^2} T \right) \alpha^2 \cdot \lambda.$$

Die gesamte Energie einer Welle K_λ ist demnach in *Ergs*:

$$(5) \quad R_\lambda = \frac{1}{2} \left(g + \frac{4 \pi^2}{\lambda^2} T \right) \alpha^2 \cdot \lambda.$$

1) Lord Rayleigh, Phil. Mag. (5) 1. p. 269. 1876.

2) Die Energieberechnung, welche unter Zugrundelegung der genauen Wellenform zur Kontrolle ausgeführt wurde, ergab ein Resultat, welches mit dem weiter unten angegebenen bis auf weniger wie 5 Proz. zusammenfällt.

3) W. Wien, „Lehrbuch der Hydrodynamik“ p. 187. Leipzig 1900; H. Lamb, „Hydrodynamics“ p. 378 u. 379. Cambridge 1895.

4) H. Lamb, l. c. p. 444.

5) H. Lamb, l. c. p. 379.

Bei der Schwingungszahl n pro Sekunde ist die pro Sekunde auf jeden Zentimeter der Wand fallende Energiemenge

$$(6) \quad E = R_{\lambda} \cdot n = \frac{1}{2} \left(g + \frac{4 \pi^2}{\lambda^2} T \right) \alpha^2 \cdot v,$$

worin $v = n \lambda$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ist. Die Flächenenergie der Wellenbewegung, d. h. die Wellenenergie, welche auf 1 qcm der Flüssigkeitsoberfläche kommt, ist:

$$(7) \quad Q = \frac{E}{v} = \frac{1}{2} \left(g + \frac{4 \pi^2}{\lambda^2} T \right) \alpha^2.$$

In der Tab. IV sind die Messungen der Amplitude, wie sie mit Hilfe des Apparates (Fig. 3) in 90 cm Abstand von der schwingenden Latte nach Entfernung der feststehenden und schwimmenden Wände ausgeführt wurden, λ die photographisch gemessenen Wellenlängen und N die zugehörigen Schwingungszahlen der Latte pro Minute, angegeben; bei Berechnung der in der letzten Kolumne dieser Tabelle angeführten Flächenenergie Q ist $g = 981 \text{ cm/sec}^2$, $T = 74 \text{ Dynes/cm}$ gesetzt worden.

Tabelle IV.

N	$\alpha \text{ cm}$	$\lambda \text{ cm}$	$\frac{4 \pi^2}{\lambda^2} T$	Q
154	0,30	22,1	5,8	44,4
190	0,36	14,7	13,4	66,0
206	0,43	13,8	15,3	94,3
266	(0,34)	(8,7)	(38,5)	(60,7)

Die Beobachtungen der Amplitude α bei der Schwingungszahl $N = 266$ sind unsicher, da sich auf den Wellenkämmen merkliche Querrippen bildeten, welche die Messungen beträchtlich erschwerten.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß der Betrag der Energie, welcher durch die Kapillarkräfte der Oberfläche geliefert wird, klein ist gegenüber der Gravitationsenergie der angewandten Wellen.

V. Die Versuchsergebnisse.

In der Tab. V sind die Ergebnisse der in 90 cm Entfernung von der schwingenden Latte ausgeführten Messungen der Druckkräfte p (nach Formel (1) im absoluten Maße be-

rechnet) und die Flächenenergie der Wellen Q (aus Tab. IV entnommen) zusammengefaßt, wobei N wie oben die Schwingungszahlen der Latte L pro Minute ist. (Die Resultate der Messungen bei der Schwingungszahl $N = 266$ sind, wie oben erwähnt worden ist, unsicher und deshalb in der Tab. V in Klammern angeführt.)

Tabelle V.

N	p	$\frac{1}{2} Q$	$p : \frac{1}{2} Q$
154	25,8	22,2	1,16
190	38,6	33,0	1,17
206	46,3	47,2	0,98
266	21,5	(30,3)	(0,71)

Die Resultate der Tab. V lassen sich in folgender Weise zusammenfassen: Wellen, welche sich auf einer Flüssigkeitsoberfläche ausbreiten, üben auf Wände, welche die freie Wellenausbreitung hemmen, Druckkräfte aus, welche den Druckkräften der Licht- und Schallwellen analog sind. Die beobachteten Beträge der Druckkraft der Flüssigkeitswellen auf eine absorbierende (geneigte) Wand stimmen innerhalb der bei diesen Versuchen kaum zu vermeidenden erheblichen Beobachtungsfehler mit dem Werte der Hälfte der Flächenenergie überein.

Dieses Resultat steht im Einklang mit der von Lord Rayleigh gegebenen Theorie der Druckkräfte einer jeden sich ausbreitenden oszillatorischen Bewegung.

Zum Schluß erlaube ich mir, Hrn. Prof. Dr. P. Lebedew für die Anregung und die Leitung dieser Untersuchung und Hrn. Prof. Dr. A. Sokolow für die mir zur Verfügung gestellten Apparate meinen Dank auszusprechen.

Moskau, Physik. Institut d. Univ., im März 1905.

(Eingegangen 23. März 1905.)