

Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab.

Mathematisk-fysiske Meddelelser. **XIII**, 14.

---

DIE IONENBEWEGLICHKEIT  
VON GASIONEN IN KOHLENDIOXYD  
BEI HOHEN DRUCKEN

VON

C. B. MADSEN



KØBENHAVN

LEVIN & MUNKSGAARD

EJNAR MUNKSGAARD

1936

Printed in Denmark.  
Bianco Lunos Bogtrykkeri A/S.

Trotz zahlreicher experimenteller und theoretischer Untersuchungen über die Beweglichkeit von Gasionen ist es erst in den letzten Jahren gelungen, die Differenzen zwischen Experiment und Theorie aufzuklären. Nachdem schon lange bekannt war, dass zahlreiche Einflüsse sekundär die Konstitution des Gasions beeinflussen, konnten TYNDALL und POWELL<sup>1)</sup> zeigen, dass man die Beweglichkeit des primären Ions nur bei extrem grosser Reinheit des Gases beobachten kann, und dass diese Grösse wirklich mit der von der Theorie geforderten übereinstimmt. Der Einfluss der Verunreinigungen ist so gross, dass es nur gelingt, die Beweglichkeit der primären Ionen zu messen, wenn man bei relativ niedrigen Drucken arbeitet und unter Anwendung von Methoden, die die Messung der Beweglichkeit der Ionen sehr kurze Zeit nach ihrer Entstehung gestatten. Bei Drucken von mehreren Atmosphären, wo die Ionen sich langsam bewegen, sind diese Methoden nicht anwendbar, und man kann nicht hoffen, Resultate zu erhalten, die über die Konstitution des primären Ions etwas aussagen. Das Primäriion kann fremde Moleküle anlagern und so die Bildung von sogenannten Clusterionen bewirken; noch bedeutsamer ist aber der Einfluss, der durch den Übergang der Ladung zu der Verunreinigung kleinster Ionisierungsspannung bei Zusammenstössen entsteht. Er bewirkt, dass man bei hohen Drucken die Be-

<sup>1</sup> Proc. Roy. Soc. A 129, 162, 1930.

weglichkeit eines Ions unbekannter Konstitution im Gas bekannter Zusammensetzung untersucht. Öfters ist auch das Auftreten mehrerer Ionensorten nebeneinander, die sich durch ihre Masse bzw. ihren Radius unterscheiden, festgestellt worden. Trotzdem sind Untersuchungen der Beweglichkeit bei hohen Drucken von grosser praktischer Wichtigkeit, da diese Grösse für die Charakteristik der unselbständigen Entladung von Bedeutung ist. Diese muss wiederum bekannt sein, wenn man sich der Ionisation der Gase hohen Druckes als Hilfsmittel für Untersuchungen von Strahlungen bedienen will. Da insbesondere Kohlensäure von 20—50 Atm. Druck oft für Untersuchungen der Höhenstrahlung benutzt wird, schien es wichtig, unter den entsprechenden Bedingungen die Beweglichkeit von Gasionen in Kohlensäure zu messen. Es wurde dazu eine Apparatur entwickelt, die auch für andere physikalische Messungen anwendbar ist, weshalb sie etwas genauer beschrieben werden soll.

Als Messmethode sollte die Franck-Pohlsche Erweiterung der Rutherfordschen Wechselfeldmethode benutzt werden. Zur Anpassung derselben an die speziellen Bedingungen, die bei hohen Drucken vorliegen, und um grösstmögliche Genauigkeit zu erzielen, wurde eine Apparatur benutzt, die in Abb. 1 wiedergegeben ist. Ein Teil davon dient zur Herstellung rechteckiger Wechselspannung variabler Frequenz.

$R_1$ ,  $C_1$ ,  $G$  ist eine gewöhnliche Aufstellung zur Anregung von Kippschwingungen einer Glimmlampe  $G$ .  $C_1$  und  $R_1$  sind Kapazität bzw. Widerstand hierzu.  $R_1$  hatte einen konstanten Wert von etwa  $6 \cdot 10^6$  Ohm.  $C_1$  konnte von 0,001 bis 10 Mikروفarad variiert werden. Die Spannungsvariationen über die Kapazität  $C_1$  werden einem Verstärker zugeführt. Der Verstärker treibt ein Vorrelais, das einen Schrittwähler von der Art, wie sie in einer Fernsprechanlage mit Selbst-



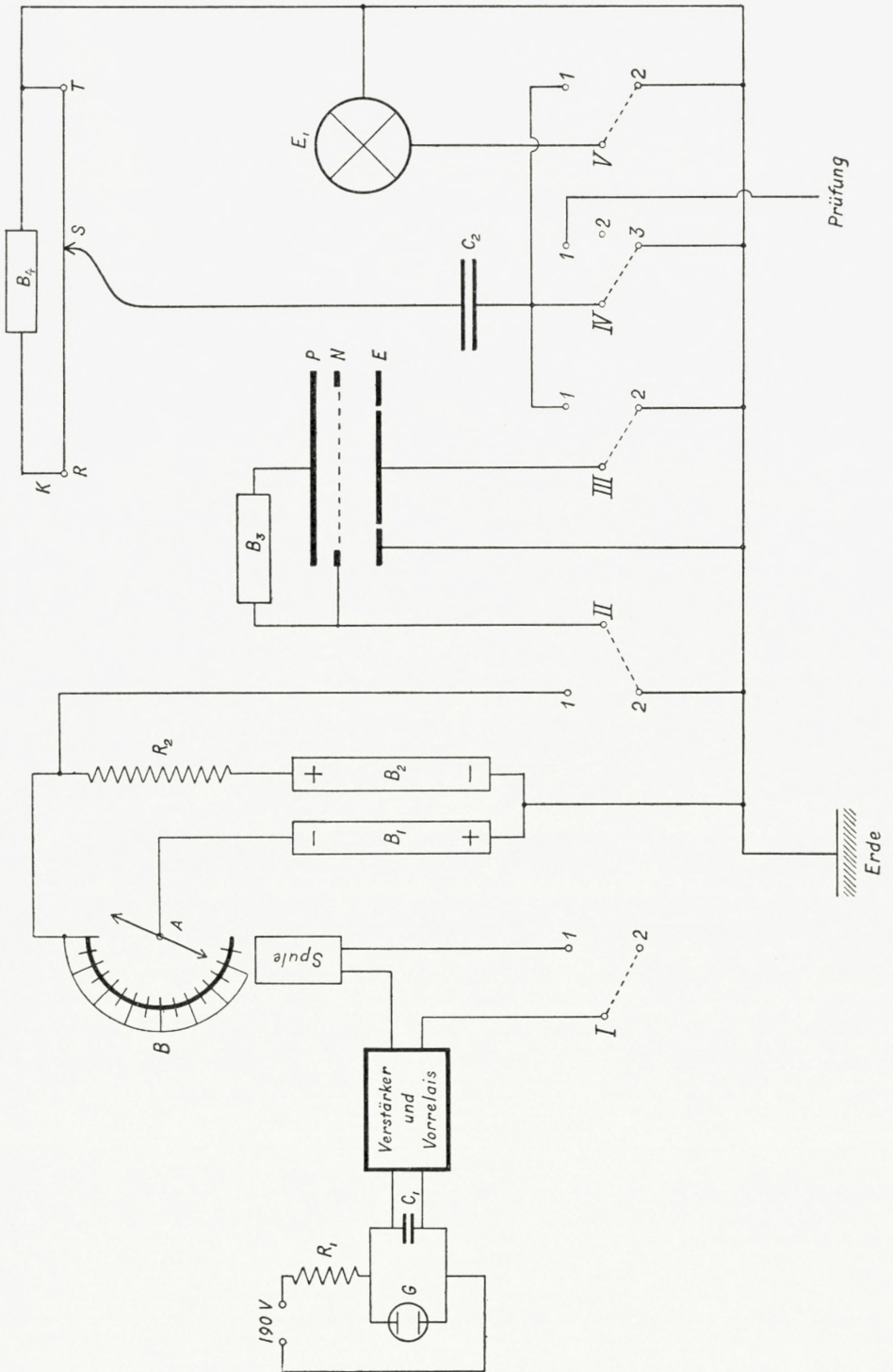


Abb. 1.

anschluss gebraucht werden, regelt. Alle ungeraden Kontakte im Bogen B des Wählers sind verbunden, so dass der rotierende Wählerarm A für die ungeraden Zündungen der Glimmlampe einen Strom schliesst und für die geraden Zündungen den Strom unterbricht. Dieser Strom stammt aus den Spannungsquellen  $B_1$  und  $B_2$ . Ist der Strom unterbrochen, wird die Spannung am oberen Ende des Widerstands  $R_2$  gleich  $+B_2$  sein; fliesst aber der Strom, ist sie gleich  $\div B_1$ . Als Spannungsquellen wurden eine Akkumulatorbatterie bzw. ein Gleichstromsumformer benutzt.

Die Konstanz der Frequenz wurde mit Hilfe eines Spiegeloszillographen untersucht. Bei den Ausmessungen der Oszillogramme zeigte sich, dass die Frequenz innerhalb 1,5 Promille konstant war, aber nur, wenn die Glimmlampe mit Batterien getrieben wurde. Die Oszillogramme zeigten auch, dass die Dauer der Halbperioden, abgesehen von einer zu vernachlässigenden Grösse von ungefähr  $3 \cdot 10^{-3}$  Sekunden, gleich gross waren.

Die gewöhnliche Bestimmung der Frequenz geschah durch ein Zählerrelais, das mit einem anderen nicht gezeichneten Arm des Wählers verbunden war; für die ungeraden Schritte des Wählers ging der Zähler eine Ziffer nach vorn, gleichzeitig wurde die Zeit mittels einer Stoppuhr gemessen.

Die Messkammer, an die die Wechselfspannungen gelegt wurden, bestand aus zwei ebenen und parallelen Platten P und E (Abb. 1); zwischen ihnen war ein gleichfalls ebenes und paralleles Netz N angebracht. Der Abstand zwischen der oberen Platte P, auf welcher ein Poloniumpräparat von 0,11 Millicurie Stärke angebracht war, und dem Netz war 0,67 cm. Je nach dem Vorzeichen der Spannung  $B_3$  zwischen P und N werden positive oder negative Ionen nach N getrieben. Bei den hier verwendeten höheren Drucken war



die Reichweite der  $\alpha$ -Strahlen so herabgesetzt, dass sie nicht durch das Netz in den Raum zwischen N und E hineinfliegen konnten. Die untere Platte war in zwei Teile geteilt, eine zentrale Platte, die mit Bernstein isoliert war und einen Durchmesser von 7,7 cm hatte, und einen sie umgebenden Schutzring, der 3 cm breit war.

Die die untere Elektrode erreichende Ladung wurde dem Kondensator  $C_2$  zugeführt, dessen Ladung mittels des Kompensationsapparats K und des Elektrometers  $E_1$  kompensiert wurde. Je nach der Menge der Ionen wurden die Kapazität  $C_2$  und der Spannungsfall über dem ganzen Draht RT variiert. Die gemessenen Werte wurden dann auf die gemeinsame Kapazität (0,001 Mf.) und Spannung am Draht (1 Volt) umgerechnet. Bei dieser Rechnung wurde auch die eigene Kapazität der Apparatur (160 cm) in Betracht gezogen.

Bei den Messungen musste man darauf achten, dass das Resultat nicht durch Influenzwirkungen der Wechselspannung oder durch Verlust der Ladung des Kondensators gefälscht wurde. Um diese Fehlerquellen auszuschalten, wurden eine Reihe von Umschaltern I, II, III, IV und V eingebaut. Die Wirkungen dieser Umschalter gehen aus folgender Erklärung des Vorgangs einer Messung hervor. Anfangs sind die Umschalter II, III, IV und V geerdet, während der Umschalter I unterbrochen ist. Das heisst, Umschalter I steht auf 2, II auf 2, III auf 2, IV auf 3 und V auf 2. Der Schieber S des Kompensationsapparats steht auf dem rechten Ende T des Drahtes. Nun schaltet man III von 2 auf 1 und IV von 3 auf 2 um. Hierdurch werden die Elektrode E und der Kondensator  $C_2$  verbunden, während ihre Erdverbindungen abgebrochen werden. Auf den isolierten Teilen ist keine Ladung influenziert, weil alles vorher geerdet war.

Darauf wird der Wähler in Betrieb gesetzt, was durch Umlegen des Unterbrechers I nach 1 geschieht. Der Umschalter II wird zur Stellung 1 geführt; hierdurch wird die Verbindung des Netzes zur Erde abgebrochen und die Wechselspannung ans Netz gelegt. Gleichzeitig wird der Strom für das nicht gezeichnete Zählerrelais, das die Zahl der Perioden registriert, geschlossen. Ebenfalls gleichzeitig wird eine Stoppuhr eingeschaltet. Nach Verlauf einer hinreichenden Zeit wird gleichzeitig der Umschalter II zu 2 zurückgeführt, das Zählerrelais und die Stoppuhr ausgeschaltet. Das Netz ist wieder geerdet; auf E und  $C_2$  ist keine Elektrizität influenziert. Gleich darauf wird III zu 2 zurückgeführt, um einen Verlust von Elektrizität durch die ionisierte Luft zwischen N und E zu vermeiden. Der Wähler wird durch Unterbrechung von I ausgeschaltet. Das Elektrometer wird jetzt eingeschaltet, welches mittels des Umschalters V geschieht; der Ausschlag des Elektrometers wird durch Verschiebung von S kompensiert. Die Verschiebung wird abgelesen und rechnerisch behandelt wie oben erwähnt. Schliesslich werden die Umschalter IV und V wieder zur Erde und der Schieber zu T zurückgeführt.

Die Untersuchung der Empfindlichkeit und des Isolationsvermögens des Apparats wird durch das Einstellen der Umschalter IV auf 1 und V auf 1 ermöglicht. Die Umschalter III, IV und V waren Relais mit Bernsteinisolation. Die hierzu gehörenden Unterbrecher und die Umschalter I und II waren in bequemer Weise auf einem Brett angebracht. Die Messungen des Druckes wurden mittels eines gewöhnlichen Federmanometers ausgeführt.

Die Werte, die man bei verschiedenen Periodenzahlen für die Verschiebung bekommt, sind der zur Elektrode E kommenden Elektrizitätsmenge proportional. Durch Division



durch die auf der Stoppuhr gemessene Zeit bekommt man Werte, die  $q$  in den folgenden Gleichungen proportional sind. Durch Auftragen dieser Werte als Ordinaten und der Periodenzahlen als Abszissen bekommt man Kurven, von welchen eine in Abb. 3 abgebildet ist.

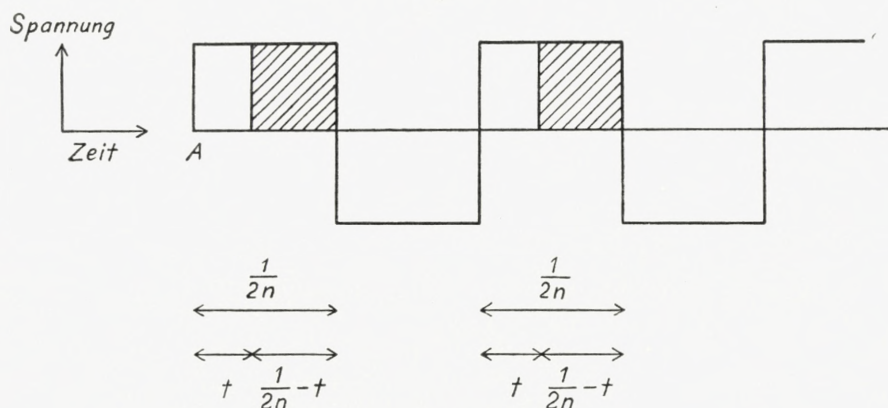


Abb. 2.

Um die zu erwartende Kurvenform zu bestimmen, denkt man sich das Wechselfeld durch ein konstantes Feld von gleicher Stärke wie die Amplitude der »günstigen« Halbperiode des Wechselfeldes — d. h. der Halbperiode, in welcher die Ionen zwischen P und N nach E weiterfliegen können — ersetzt. Es sei  $a$  die in der Zeiteinheit bei Gleichspannung zur Elektrometerelektrode geführte Elektrizitätsmenge.

Ist die rechteckige Wechselfeldspannung zwischen N und E angeschlossen, so können die Ionen nur für kurze Zeiträume die Elektrode E erreichen. Dies geht aus Abb. 2 hervor. Zur Zeit A verlassen die Ionen das Netz. Ehe sie die Elektrometerelektrode erreichen, wird eine gewisse Zeit  $t$  verlaufen. Von dieser Zeit ab werden die Ionen nach der Elektrometerelektrode strömen, bis ihr Fluss am Ende der günstigen Halbperiode abgebrochen wird. Während der

ungünstigen Halbperiode können keine Ionen die Elektrometerelektrode erreichen. In einer ganzen Periode werden die Ionen also nur während eines (schraffierten) Zeitraumes, der  $\left(\frac{1}{2n} - t\right)$  gross ist, von der Elektrometerelektrode aufgenommen. In einer Zeiteinheit, in welcher die Wechselspannung mit der Periodenzahl  $n$  angeschlossen ist, muss eine Elektrizitätsmenge von der Grösse

$$q = a \cdot n \left( \frac{1}{2n} - t \right) = \frac{1}{2}a - atn$$

die Elektrometerelektrode erreichen.

Es sei  $d$  der Abstand vom Netz zur Elektrometerelektrode,  $k$  die Ionenbeweglichkeit und  $V$  die angelegte Spannung, dann ist  $t = \frac{d^2}{k \cdot V}$ , hieraus folgt:

$$q = \frac{1}{2}a - \frac{ad^2}{k \cdot V} \cdot n. \quad (1)$$

Diese Gleichung zeigt, dass  $q$  eine lineare Funktion von  $n$  ist. Dies gilt aber nur, wenn  $n$  so klein ist, dass die Ionen die Elektrometerelektrode erreichen können; ist dagegen dies nicht der Fall, wird natürlich  $q = 0$ . Die Frequenz, bei welcher die Ionen eben die Elektrometerelektrode erreichen, ist also durch Einführung von  $q = 0$  in die obere Gleichung (1) gegeben. Die Bestimmung des Wertes der Ionenbeweglichkeit geschieht dann durch Benutzung der Gleichung:

$$k = \frac{2nd^2}{V}. \quad (2)$$

Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Ionisation nur im Raume zwischen dem Netz und der oberen Platte statt-



findet. Bei niedrigen Drucken ist dieses auch mit genügender Annäherung richtig; bei höheren Drucken findet aber besonders wegen der Höhenstrahlung eine merkbare Ionisation in der ganzen Druckkammer statt. Von den in dieser Weise gebildeten Ionen werden nur diejenigen, die im Raume zwischen N und E entstehen, einen Einfluss auf die Messungen ausüben. Wenn man hier mit einer homogenen Ionisierung rechnen darf, ist es klar, dass einige von den durch Höhenstrahlung gebildeten Ionen bei Anlegung der Spannung sogleich die Elektrometerelektrode erreichen können und andere, solange die Spannung angelegt ist, dahin wandern. Sie müssen also einen Beitrag geben zu der Elektrizitätsmenge, die die Elektrometerelektrode sowohl in der günstigen als auch in der ungünstigen Halbperiode aufnimmt. Da die Spannung der ungünstigen Halbperiode grösser als die der günstigen gewählt werden musste, um eine vollständige Zurücktreibung der Ionen durch das Netz zu sichern, wird wegen der nicht zu erreichenden Sättigung ein Überschuss von Höhenstrahlungsionen mit dem Vorzeichen der ungünstigen Spannung nach der Elektrometerelektrode kommen. Aber dieser Effekt ist von der Periodenzahl unabhängig und bewirkt deshalb nur eine Verschiebung der  $n-q$  Kurve parallel zur  $q$ -Achse. Die Linie  $q = 0$  muss darum durch eine Linie  $q = C$  und die Gleichung (1)  $q = f(n)$  durch eine Gleichung  $q = f(n) + C$  ersetzt werden. In der obigen Formel der Beweglichkeit (2) soll für  $n$  der Wert des Schnittpunktes der verschobenen Nulllinie und der schrägen Geraden eingeführt werden.

Man denke sich, dass z. B. zwei Ionenarten vorhanden sind; dieses wird bewirken, dass man zwei Schnittpunkte bekommt. Erstens — für die Ionen, die am schnellsten sind — den Schnittpunkt der verschobenen Nulllinie und der am



wenigsten schrägen Geraden. Zweitens — für die langsameren Ionen — den Schnittpunkt der zwei schrägen Geraden (vgl. Abb. 3).

Abbildung 3 stellt die Messungen mit positiven Ionen beim Druck 18,5 Atm. vor. Man sieht, dass die Kurve zwei

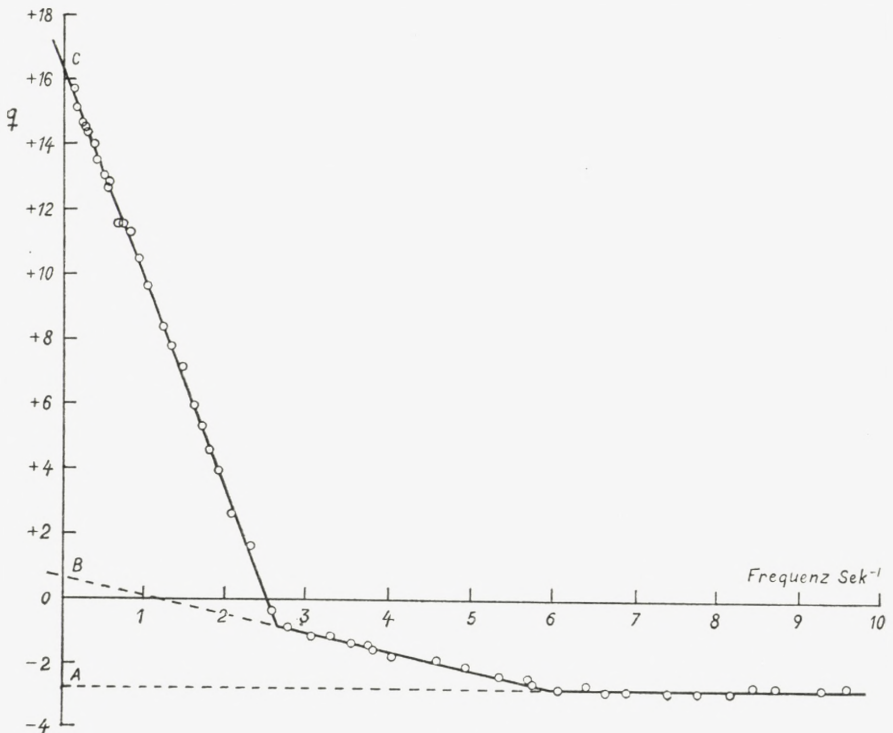


Abb. 3.

Knickpunkte besitzt. Wie oben erwähnt bedeutet dies, dass zwei Ionenarten vorhanden sind. Die Frequenzen, bei welchen die Ionen eben die Elektrometerelektrode erreichen, sind — für die schnellen Ionen —  $n_1 = 6,0$  und — für die langsamen —  $n_2 = 2,64$ . Diese Werte werden in Formel (2) eingesetzt. Der Wert von  $d$  war dabei 1,87 cm. Für den Zahlenwert von  $V$  muss aber wegen des Durchgriffs eine Korrektur angebracht werden.

Um sie auszuführen muss man den Durchgriff kennen.

Die Ionisationskammer ist einer Dreielektrodenröhre sehr ähnlich. Die obere Platte entspricht der Kathode, die Elektrometerelektrode der Anode und das Netz dem Gitter. Der Durchgriff wurde in der üblichen Weise durch Aufnahme von zwei Gitterspannungs-Anodenstromscharakteristiken mit verschiedener Anodenspannung bestimmt. Weil man bei höheren Drucken arbeitet, ist keine Sättigung vorhanden. Dies bewirkt, dass die Charakteristik, die man bei einer höheren Spannung bekommt, nicht nur — wie es bei den Dreielektrodenröhren der Fall ist — eine parallele Verschiebung der Charakteristik bei niedrigerer Anodenspannung ergibt, sondern dass die Steilheit dieser ersten Charakteristik ein wenig grösser ist als die der letzteren. Der analoge Fall bei einer Dreielektrodenröhre wäre eine Erhöhung des Heizstromes. Der Durchgriff lässt sich deshalb nur mit einer mässigen Genauigkeit bestimmen. Da der Durchgriff aber als ein additives Glied in den Wert der Spannung eingeht, wird der Einfluss dieser Ungenauigkeit verkleinert. Der Wert des Durchgriffes ergab sich zu  $10 \pm 1\%$ . Ist, wie in dem vorliegenden Beispiele, die Spannung Netz-obere Platte 70 Volt, die Spannung Netz-Elektrometerelektrode 525 Volt, muss also für  $V$  der Wert 584,5 Volt eingesetzt werden.

Die erhaltenen Resultate sind sämtlich in der Tabelle aufgeführt. Man sieht, dass für die positiven Ionen zwei Werte angegeben sind entsprechend den zwei Arten von Ionen. Dagegen ist nur eine Art von negativen Ionen sicher gefunden.

In der Tabelle ist auch das Produkt Druck mal Beweglichkeit aufgeführt; man sieht, dass dieses Produkt nicht konstant ist, sondern mit anwachsendem Druck sinkt. Wegen der Abweichungen des Kohlendioxyds vom idealen Gasgesetz, wird man in Übereinstimmung mit der theore-

Tabelle.

	Druck p Atm.	Beweg- lichkeit k cm/sec pr. Volt/cm	Pro- dukt p · k	Dichte ρ	Pro- dukt ρ · k	% der von den Ionen getrage- nen La- dung	Ver- hältnis $\frac{k_1^+}{k_2^+}$
	1	2	3	4	5	6	7
Schnelle positive Ionen	14,5	$k_1^+$ )					
	15,5	)					
	18,5	0,0707	1,31	19,7	1,39	19,2	2,19
	21,3	0,0539	1,15	23,3	1,26	18,9	2,07
	26,5	0,0407	1,08	30,5	1,24	25,0	2,01
	28,5	0,0411	1,17	33,3	1,37	18,9	2,16
	32,0	0,0333	1,06	38,3	1,28	21,3	1,95
	38,0	0,0236	0,90	48,3	1,14	21,3	1,79
	41,5	0,0215	0,87	54,7	1,18	18,2	1,96
	44,0	0,0209	0,92	60,0	1,25	12,4	2,01
	51,0	0,0151	0,77	75,7	1,14	15,8	1,91
Langsame positive Ionen	14,5	$k_2^+$				)	
	15,5	0,0352	0,52	15,0	0,53	)	
	18,5	0,0377	0,55	16,2	0,61		
	21,3	0,0324	0,60	19,7	0,64	80,8	
	26,5	0,0260	0,55	23,3	0,60	81,1	
	28,5	0,0203	0,54	30,5	0,62	75,0	
	32,0	0,0190	0,54	33,3	0,63	81,1	
	38,0	0,0171	0,55	38,3	0,65	78,7	
	41,5	0,0132	0,50	48,3	0,64	78,7	
	44,0	0,0110	0,45	54,7	0,60	81,8	
	44,0	0,0104	0,46	60,0	0,62	87,6	
	51,0	0,0079	0,40	75,7	0,59	84,2	
Negative Ionen	15,0	0,0394	0,59	15,5	0,61	100	
	21,7	0,0275	0,60	23,5	0,65	100	
	26,5	0,0226	0,60	30,2	0,68	100	
	31,0	0,0173	0,54	36,5	0,63	100	
	35,5	0,0170	0,60	43,8	0,74	100	
	39,5	0,0138	0,55	49,0	0,68	100	
	42,5	0,0108	0,45	56,8	0,61	100	
	46,5	0,0101	0,46	64,1	0,64	100	
	48,5	0,0096	0,47	69,0	0,66	100	

\*) Da der Wähler nicht die zur Bestimmung dieser Werte erforderliche Geschwindigkeit erreichen konnte, war es nicht möglich, die Beweglichkeiten der schnellen Ionen bei diesen Drucken zu messen. Das Vorhandensein der schnellen Ionen bei diesen Drucken ist aber dadurch gesichert, dass man bei der graphischen Darstellung zwei schräge Geraden bekommt; dagegen fehlt die verschobene Nulllinie.



tischen Erwartung prüfen, ob das Produkt Dichte mal Beweglichkeit eine bessere Konstanz aufweist. Die Dichte  $\rho$  des Kohlendioxyds ist deshalb nach den Amagatschen Messungen<sup>1)</sup> berechnet. Als Einheit ist die Dichte des Kohlendioxyds bei 20° C. (etwa Zimmertemperatur) und 1 Atm. benutzt. Die Werte des Produktes stehen in Kolonne 5. Sie zeigen in der Tat innerhalb der Versuchsfehler eine Konstanz. Es ist auch versucht worden, die weniger genauen Messungen von KOVARIK, die in dem Druckbereich von 10—50 Atm. ausgeführt sind, in dieser Weise zu behandeln. Während KOVARIK<sup>2)</sup> für das Produkt  $p \cdot k$  Werte gefunden hat, die ungefähr zwischen 0,50 und 0,75 liegen, liegt das Produkt  $\rho \cdot k$  ungefähr zwischen 0,75 und 0,90. Die Resultate, die verschiedene Autoren<sup>3)</sup> in Luft verschiedenen Drucks gefunden haben, scheinen gleichfalls eine bessere Übereinstimmung mit  $\rho \cdot k = \text{konstant}$  als mit  $p \cdot k = \text{konstant}$  zu zeigen.

Bei Verlängerung der verschobenen Nulllinie und der schrägen Geraden in Abb. 3 wird die Ordinatenachse in A und B und C geschnitten. Die Länge von AB ist der von den schnellen und die Länge von BC der von den langsamen Ionen getragenen Elektrizitätsmenge proportional. In Kolonne 6 sind die in dieser Weise bestimmten Prozentzahlen aufgeführt. In Kolonne 7 ist das Verhältnis der Beweglichkeiten der schnellen und langsamen positiven Ionen angegeben.

Es zeigt sich, dass unter den gewählten Versuchsbedingungen zwei Arten von positiven Ionen, aber nur eine Art von negativen Ionen vorhanden sind. Um zu entscheiden,

<sup>1)</sup> »Hütte«, 26. Aufl. Bd. I. S. 548.

<sup>2)</sup> Proc. Roy. Soc. 86, 154, 1912.

<sup>3)</sup> Phys. Rev. 30, 415, 1910; Phys. Rev. 34, 53, 1912.

ob die schnelleren Ionen einer gröberen Verunreinigung ihre Entstehung verdanken, wurde versucht, durch Trocknung der Kohlensäure mit  $P_2O_5$  den Wasserdampf zu entfernen. Das benutzte Kohlendioxyd enthält etwa 1 % Verunreinigungen, wovon der Wasserdampf einen grossen Anteil ausmacht. Die Entfernung der Hauptmenge des Wassers durch das Trockenmittel hatte aber keinen Einfluss auf den Prozentsatz der schnelleren Ionensorte. Eine Reinigung im Sinne der Versuche von Tyndall und Powell konnte, wie schon in der Einleitung erwähnt, bei den hohen Gasdrucken nicht angestrebt werden. Sie wäre auch zwecklos, da die Kohlensäure selbst sich unter der Einwirkung der  $\alpha$ -Strahlen teilweise zersetzt. Der Hauptteil der Ionen, der die kleinere Beweglichkeit zeigte, ist derjenige, der auch bei den bisherigen Messungen in Kohlensäure beobachtet wurde, denn bei Rückrechnung auf den Druck von 1 Atm. stimmen die hier beobachteten Werte mit denen aus der älteren Literatur überein. Aus der geringen Veränderung des Prozentsatzes der schnellen Ionen zwischen ungefähr 15 und 50 Atm. Druck wird man zu schliessen haben, dass ein entsprechender Anteil auch bei Atmosphärendruck vorhanden ist. Dass er bisher nicht beobachtet wurde, liegt wohl an der geringeren Genauigkeit der älteren Bestimmungen. Eine eindeutige Erklärung der beiden positiven Ionensorten ist, wie aus der Einleitung hervorgeht, nicht möglich, da sowohl ein verschiedener Ionenradius, wie verschiedene Ionenmasse in Frage kommt.

Da Gase gleichen Reinheitsgrades für die Druckkammern bei Messungen der durchdringenden Höhenstrahlung benutzt werden, wird man für Fragen der Stromspannungscharakteristik auch mit den in dieser Arbeit bestimmten Beweglichkeiten zu rechnen haben.



### Zusammenfassung.

Die Beweglichkeiten von Gasionen in Kohlensäure werden mittels der Wechselfeldmethode bei Drucken zwischen ungefähr 15 und 50 Atm. gemessen. Es stellt sich heraus, dass zwei Arten von positiven Ionen mit einem Beweglichkeitsverhältnis 2:1 und in einem innerhalb des oben angeführten Druckintervalles annähernd konstanten Mengenverhältnis vorhanden sind; dagegen nur eine Art von negativen. An Stelle des für ideale Gase geltenden Gesetzes  $\text{Druck} \times \text{Beweglichkeit} = \text{konstant}$  gilt bei Kohlensäure, wie es theoretisch zu erwarten ist, das Gesetz  $\text{Dichte} \times \text{Beweglichkeit} = \text{konstant}$ .

Die Arbeit wurde in »Institut for teoretisk Fysik«, Kopenhagen begonnen und in »Aarhus Universitets fysiske Institut« beendet. Herrn Prof. Dr. N. Bohr und Herrn Prof. Dr. Buch Andersen möchte ich meinen herzlichen Dank sagen für die Ermöglichung der Benutzung der Hilfsmittel ihrer Institute.



