2. Ionenwolken in feuchter expandierter Luft; von G. Quincke.¹⁾

§ 68. *Ionenwolken von C. T. R. Wilson.* C. T. R. Wilson²⁾ hat α - und β -Strahlen von Radium oder Röntgenstrahlen durch plötzlich ausgedehnte mit Wasserdampf gesättigte Luft in einem elektrischen Felde geleitet und die von den Ionen gebildeten Wasserwolken bei momentaner Beleuchtung photographiert. Man kann aus den Photographien auf die Bahnen der Ionen schließen. Aber Form und Lage der abgebildeten Wolkenstreifen sind beeinflusst, außer von den Ionen und den elektrischen Kräften, von Oberflächenspannung und Gewicht der kondensierten in Luft schwebenden Wasserteilchen, der Diffusion von Luft und elektrischen Teilchen durch das flüssige Wasser, und von der Belichtung und den Luftwirbeln, welche die bewegten Teilchen erregen.

Die photographierten Wolkenstreifen gleichen in Form, Größe und Struktur den positiven und negativen Staubfiguren auf Harzkuchen (§ 50 u. 51). Wolkenstreifen und Staubfiguren bestehen aus Schaumkammern, deren Form von Oberflächenspannung und Viskosität der Kammerwände abhängt, aber bei den Wolkenstreifen vielleicht nur eine Übergangsform zu einem Gleichgewichtszustand ist, welcher bei den Staubfiguren schon erreicht ist.

Die weißen Stellen der Wilsonschen Photographien deuten auf ein Gemisch von flüssigem Wasser und Luft, die Formen der weißen Stellen auf Schaumkammern I. Art, welche in Schaumkammern II. Art (§ 49) übergehen oder übergegangen sind, und in deren oft unsichtbaren Wänden weißliche Blasen

1) Fortsetzung der Untersuchung über elektrische Schaumwände, Ann. d. Phys. 43. p. 460. 1914.

2) C. T. R. Wilson, Proc. Roy. Soc. A. 87. p. 277—292. Plates 6—9. 1912.

und Schaumflocken hängen, aus deren Lage man auf Form und Lage der unsichtbaren Schaumwände schließen kann. Das Innere der Schaumkammern ist oft mit viel kleineren lufthaltigen Schaumkammern, mit weißen Schaummassen, gefüllt oder zeigt Reihen runder Schaumflocken auf geraden, gewundenen und schraubenförmigen Strecken.

Ich werde im folgenden, wie früher, unter elektrischen Emanationen der elektrischen Strahlen ganz allgemein den Sprühregen aller elektrischen und unelektrischen Teilchen verstehen, welche von einem elektrischen Radiator oder den Elektroden einer Vakuumröhre fortgeschleudert und auf ihrem Wege in dem Sprühregen zerfallen sind oder sich neu gebildet haben, also Teilchen vom Metall der Elektroden, des Glases und der atmosphärischen Luft, adsorbierte Gase und Dämpfe, Ionen, Elektronen, Ozon, Wasserstoffsuperoxyd, Stickstoffoxyde usw.

§ 69. *Nebelbildung durch negative und positive Ionen bei verschieden starker Expansion der feuchten Luft.* Wird mit Wasserdampf gesättigte staubfreie Luft im elektrischen Felde einige Sekunden vor der Expansion mit Röntgenstrahlen durchstrahlt, so fehlen nach der Expansion die Kondensationskerne und die Nebelbildung, während ohne elektrisches Feld ein dichter Nebel auftritt. Die Kondensationskerne bestehen also aus elektrisch geladenen Teilchen oder Ionen ¹⁾ (Wilson 1898).

Bei Bestrahlung mit Röntgenstrahlen und steigender Größe der Expansion oder des Verhältnisses von End- und Anfangsvolumen der feuchten Luft v_2/v_1 , wächst die Anzahl der kondensierten Wassertropfen, jeder Tropfen enthält eine kleinere Menge kondensierten Wassers ²⁾ (Wilson 1897). Die Kondensation des Wasserdampfes setzt zuerst an den negativen Ionen ein, etwas später bei den positiven Ionen. ³⁾ Negative Ionen zeigten Kondensation schon bei $v_2/v_1 = 1,22$; Nebel bei 1,25. Bei dieser Expansion 1,25 kondensieren die meisten, bei der Expansion 1,28 alle negativen Ionen Wasser. Bei Expansion nach Bestrahlung bildeten negative Ionen dicke Nebel bei $v_2/v_1 = 1,28$ bis 1,38. Positive Ionen wenige Tropfen bei 1,31,

1) C. T. R. Wilson, Proc. Roy. Soc. **64**. p. 129. 1898.

2) C. T. R. Wilson, Phil. Trans. A. **189**. p. 282. 1897.

3) C. T. R. Wilson, Phil. Trans. A. **193**. p. 289, 293, 305—6. 1900.

deren Zahl mit steigender Expansion zunimmt. Bei der Expansion 1,35 bildeten positive und negative Ionen gleich dicke Nebel.

Wilson neigte 1900 zu der Ansicht, daß die Ionisation ein Resultat der Expansion ist.

Bei Expansionen über 1,40 bilden sich in staubfreier mit Wasserdampf gesättigter Luft auch ohne Röntgenstrahlen dicke Nebel¹⁾ (J. J. Thomson 1898).

Die negativen Ionen, welche die viel wirksameren Kondensationskerne sind, bewegen sich in Luft und in demselben elektrischen Felde 1,24 mal schneller als die positiven Ionen²⁾ (Zeleny 1898).

Die von Röntgenstrahlen erzeugten Ionen wandern in einem elektrischen Felde mit einem Potentialgefälle von 1 Volt per Zentimeter zwischen 1 bis 2 cm in der Sekunde³⁾ (Wilson 1900).

§ 70. *Wasserwolken in feuchter Luft nach Expansion und unmittelbar darauf folgender Bestrahlung mit Röntgenstrahlen.*

C. T. R. Wilson hat 1912 mit Wasserdampf gesättigte Luft in einem konstanten elektrischen Felde $\frac{1}{50}$ Sekunde nach plötzlicher Verminderung des Luftdruckes ionisiert mit einem 2 bis 5 mm dicken Bündel Röntgenstrahlen von 30 bis 70 cm Reichweite aus einer Crookesröhre, durch welche zwei Leidener Flaschen entladen wurden. Die Röntgenstrahlen traten durch ein Quarzfenster von 0,38 mm Dicke in das mit feuchter Luft erfüllte elektrische Feld der Wolkenkammer. In dem elektrischen Felde zwischen zwei horizontalen borsäurehaltigen Gelatineplatten mit 3,4 cm Abstand und einer Potentialdifferenz von 4 bis 40 Volt wanderten die positiv elektrischen Teilchen nach unten, die negativ elektrischen Teilchen nach oben (in den Photographien). Die von den + und – elektrischen Ionen kondensierten Wassertropfen und Wasserwolken wurden kurz darauf durch einen Flaschenfunken (in einem Quarzrohr mit Quecksilberdampf) beleuchtet und photographiert. Die Achse der photographischen Camera stand nahezu horizontal, senk-

1) J. J. Thomson, Phil. Mag. 46. p. 532. 1898.

2) J. Zeleny, Phil. Mag. 46. p. 132. 1898.

3) C. T. R. Wilson, Phil. Trans. A. 193. p. 305. 1900.

recht zu dem ionisierenden Strahlenbündel, dessen Strahlen in den Photographien von rechts nach links gehen.

Die Ionen konnten nur kurze Zeit diffundieren, bevor sie mit kondensiertem Wasser belastet wurden und dadurch ihre Geschwindigkeit verloren.

Die schönen Photographien (Wilson 1912, Plate 8 u. 9) zeigen auf geschlängelten Linien mit starken Krümmungen, mit kontinuierlicher oder plötzlicher Änderung der Richtung und spiralig gewundenen Enden Reihen einzelner oder zusammenhängender weißer runder Tropfen, Blasen und Schaumflocken, von gleicher oder periodisch wechselnder Größe (0,4 bis 0,04 mm Durchmesser).

Die Formen dieser kondensierten Wasserwolken gleichen denen der Metallsalzvegetationen, welche aus Kristallsplintern der Sulfate oder Chloride von Kobalt, Nickel, Eisen, Mangan in verdünnten Lösungen von Ferrocyankalium oder Natriumsilikat aufsteigen und von erstarrenden oder erstarrten öartigen Schaumwänden I. und II. Art gebildet werden.¹⁾

Ohne Zweifel sind die weißen Wasserwolken in der expandierten feuchten Luft entstanden aus schaumhaltigen Röhren, an deren Oberfläche dünne Schichten von kondensiertem Wasser liegen, in welchem sich elektrische Emanationen der Röntgenstrahlen zu einer öartigen Flüssigkeit gelöst haben. Die Röhrenwand hat infolge der Oberflächenspannung Anschwellungen und Einschnürungen gebildet und ist in einzelne oder aneinander hängende Blasen zerfallen.

Die im elektrischen Felde voneinander getrennten + und – elektrischen Gasionen und Emanationen kondensieren flüssiges Wasser auf ihrer Oberfläche, verlieren durch diese Belastung ihre Geschwindigkeit. In dieses flüssige Wasser dringen die nachfolgenden Gasionen und elektrischen Emanationen und mitgerissene Luft ein, welche noch nicht ihre Geschwindigkeit verloren haben, ähnlich wie die Kathodenstrahlen in die Glaswand einer Vakuumröhre eindringen (§ 61). Die mit kleinen Gasblasen gefüllten Wassertröpfchen und -bläschen fließen zu einer Schaummasse mit aneinanderhängenden kleinen Schaumblasen zusammen. Eine Lösung elektrischer Emanationen in

1) G. Quincke, Ann. d. Phys. 7. p. 660, 669. Fig. 24, 35. 1902.

flüssigem Wasser breitet sich dabei als ölartige Fremdschicht auf der Oberfläche der in Luft schwebenden Wassertropfen und -blasen unter Verminderung der Oberflächenspannung aus, befördert deren Flockung¹⁾ zu einer langgestreckten Schaummasse und überzieht deren Oberfläche mit einer ölartigen zylinderischen Haut. Diese zylinderische Haut oder Außenwand einer mit weißem lufthaltigen Schaum gefüllten Röhre verkürzt sich an Stellen mit größerer Oberflächenspannung, wie bei den Metallsalzvegetationen. Die Röhre wird an diesen Stellen konkav, krümmt sich, und bildet Wellenlinien, oder Schraubenwindungen oder Spiralen (Textfigur 37, 39, 40 A F, 38).

Fig. 37.

Fig. 38.

Fig. 39.

Später bildet die ölartige Röhrenwand unter dem Einfluß der Oberflächenspannung Anschwellungen und Einschnürungen und zerfällt in einzelne oder aneinanderhängende Blasen von periodisch wechselnder Größe.

Die ölartige emanationenhaltige Flüssigkeit ist auch im Innern des kondensierten Wassers, und zwar periodisch, abgeschieden worden, und hat hier aneinander hängende Schaumwände I. und II. Art, Schaumflocken mit größeren Schaumkammern gebildet.

Die Schaumkammern und Blasen sind dann gequollen

1) G. Quincke, Rep. Brit. Assoc. Glasgow. p. 60. 1901; Ann. d. Phys. 7. p. 95. 1902.

durch Luft, welche durch die flüssigen Schaumwände von außen nach innen diffundierte (vgl. unten § 70).

In Textfigur 37—41 habe ich die Formen einzelner Wolkenstreifen und unsichtbarer Schaumwände gezeichnet. Um

Fig. 40.

die entsprechenden Stellen in den Wilsonschen Photographien leicht aufzufinden, habe ich in der Tab. XXXVIII für die Punkte *a A B C* usw. dieser Textfiguren die horizontale *x*- und die vertikale *y*-Ordinate in Millimetern angegeben mit dem Anfangspunkte des Koordinatensystems in der linken unteren Ecke der betreffenden Photographie, sowie deren Vergrößerung.

Daß nicht ein massiver Wasserstrahl mit suspendierten Luftbläschen in einzelne Tropfen zerfallen ist, beweisen die Anschwellungen in der Mitte und besonders am Ende der Wolkenstreifen (Textfigur 40 *a* und Wilson, Pl. 9 Fig. 1, 2) mit runden, auch seitlich, aneinanderhängenden Blasen. Einzelne

Tabelle XXXVIII.

Textfigur	Wilson	v_2/v_1	x	y	Vergrößerung
37 A	Pl. 8 Fig. 2	1,34	21 mm	37 mm	2,45
B	3	1,33	26	84	2,45
38 C	2	1,34	26,2	75,8	2,45
D	4	1,36	15,5	7	2,45
39 A	Pl. 8 Fig. 4	1,36	27	56	2,45
B	4		35,8	37,5	2,45
C	4		13	18	2,45
D	4		27	18,5	2,45
40 a	Pl. 9 Fig. 2	1,33	42	59	1
40 A	Pl. 9 Fig. 3	1,31	26	45	6
B	3		40	50	6
C	3		59,5	50	6
D	3		65,5	50	6
E	3		19	26	6
F	3		34	17	6
G	3		14	56	6
H	3		24,5	24,5	6
41 A	Pl. 9 Fig. 4	1,28	5	48,6	6
B	4		18	48,5	6
C	4		18	24	6
D	4		46,5	38,2	6
E	4		51,2	26	6
42 A	Pl. 8 Fig. 5	1,36	24	79	2,45
B	5		23	67	2,45
C	5		33	92,5	2,45
D	5		7,5	45	2,45
E	5		5	19	2,45
F	5		41	40	2,45
G	5		26	46,5	2,45
H	5		36	30	2,45
I	5		26	20	2,45
43 A	Pl. 9 Fig. 3	1,31	23	31	6
B	3		59	34,5	6
44 A	Pl. 9 Fig. 4	1,28	15	25	6
B	4		49	49,5	6
C	4		10	46	6

Blasen erscheinen auch eckig, ähnlich den verknoteten Enden von Myelinformen mit erstarrender Oberfläche.¹⁾

1) G. Quincke, Wied. Ann. 53. p. 606. Taf. VIII, Fig. 14 a.

Die Blasen sind außen mit einer dünnen Haut öltartiger Flüssigkeit bedeckt, einer Lösung elektrischer Emanationen in Wasser, deren Oberflächenspannung und Viskosität mit Konzentration und Qualität der Emanationslösung wechselt. Die Konzentration der Emanationslösung nimmt ab, je weiter ein Röntgenstrahl von seinem Fußende zu seinem Kopfende in der feuchten Luft vorgedrungen ist und je mehr Wasser er kondensiert hat. Am Fußende der Strahlen bildet die Emanationslösung mit größerer Konzentration und Viskosität Röhren oder Schaumwände I. Art, am Kopfende mit kleinerer Konzentration und Viskosität runde Blasen oder Schaumwände II. Art.

Da am Kopfende die Wände benachbarter Blasen nicht unter gleichen Winkeln zusammenstoßen (Textfigur 40 *a*) müssen die Schaumwände verschiedene Oberflächenspannung haben, elektrische Emanationen verschiedener Qualität oder in verschiedener Menge enthalten.

Bei stärkerer Expansion der feuchten Luft wächst die Menge des kondensierten Wassers, die Konzentration der

Emanationslösung nimmt ab, es bilden sich weniger und dünnere Schaumwände öltartiger Flüssigkeit mit kleinerer Viskosität. Es entstehen kugelförmige Blasen, in welchen noch einzelne Schaumflocken hängen, aus deren Lage man auf Lage und Form der unsichtbaren Schaum-

Fig. 41.

wände II. Art schließen kann (Textfigur 40 *B*, 41).

Welche Wolkenstreifen aus + oder – elektrischen Emanationen entstanden sind, und ob neben der Oberflächenspannung auch die elektrischen Kräfte des elektrischen Feldes mit vertikalen Kraftlinien die Form der Wolkenstreifen im Anfang ihres Entstehens bestimmt haben, bleibt ungewiß.

Nach Wilson (1912) gibt Pl. 9 Fig. 3 für eine Expansion mit $v_2/v_1 = 1,31$ die auf positiven Ionen, Pl. 9 Fig. 4 für eine Expansion mit $v_2/v_1 = 1,28$ die auf negativen Ionen kondensierten Wolken (vgl. § 69). Erstere gleichen in der Tat in

vielen Formen den positiven, letztere den negativen Staubfiguren auf Harzkuchen. Positive Ionen bilden in expandierter feuchter Luft Schaumwände I. Art von größerer Viskosität, ähnlich den Schaumwänden positiver Staubfiguren, die negativen Ionen Schaumwände II. Art von kleinerer Viskosität ähnlich den Schaumwänden der negativen Staubfiguren auf Harzkuchen (§ 50).

In den Wolkenstreifen der Textfiguren 37 *AB*; 39 *ABCD*; 40 *A* divergieren zwei nahezu symmetrische Äste von einem Punkte (oder Doppelpunkte).¹⁾

Würden elektrische Kräfte die Bahn der wolkenbildenden Gasionen bestimmt haben, so müßten die kondensierten Wasserteilchen zuerst + oder – elektrisch, dann unelektrisch und am Ende der Bahn – oder + elektrisch gewesen sein. Dies ist nicht wahrscheinlich.

Wilson (1912 p. 290) hält die *nebeneinander* liegenden Kurven in Textfigur 39 *CD*, 40 *CDEF* für die Bahnen + und – elektrischer Gasionen, welche im elektrischen Felde voneinander getrennt und durch Diffusion verschoben worden sind. In einem elektrischen Felde mit vertikalen elektrischen Kraftlinien müßte man m. E. vorzugsweise übereinanderliegende ähnliche Bahnen erwarten (vgl. auch § 71).

In den Textfiguren 40 *aBGH* liegen einzelne Schaumflocken auf unsichtbaren Schaumwänden II. Art; auf einer Kugelfläche oder ebenen Schaumwänden mit 120° Neigung. Die punktiert gezeichneten Schaumwände sind in der Photographie nicht sichtbar, weil die darin hängenden Schaumflocken fehlen.

§ 71. *Runde Schaumflocken in feuchter Luft mit Bestrahlung durch Röntgenstrahlen vor und nach der Expansion.* Ein Vergleich der Fig. 5, Pl. 8 mit den übrigen Wilsonschen Photographien auf Plate 8 und 9 zeigt die Wolkenstreifen viel breiter, wenn die Röntgenstrahlen *vor* der Expansion, als wenn sie *nach* der Expansion durch die feuchte Luft geleitet waren.

Die runden Flocken haben im ersten Fall etwa 1,2 mm, in letzterem 0,1 mm Durchmesser.

1) *Anm.* Ähnliche Formen wie Textfigur 40 *A* mit symmetrisch gestalteten Ästen, welche von demselben Punkte ausgehen, habe ich an dunkelen Adern in hellen Marmorplatten beobachtet.

Nach Wilson sollen beim Durchleiten der Röntgenstrahlen vor der Expansion die positiven und negativen Ionen im elektrischen Felde voneinander getrennt worden sein, ehe sie ihre Beweglichkeit durch das auf ihnen kondensierte Wasser verloren haben.

Ich glaube, daß die elektrischen Emanationen der Röntgenstrahlen, wie andere hygroskopische Substanzen aus feuchter Luft — ohne und mit unterkühltem Wasserdampf — flüssiges Wasser kondensieren. In dieses flüssige Wasser dringen Gasionen ein, wie in die Glaswand einer Vakuumröhre (§ 61). Die mit Gasionen und mitgerißener Luft gefüllten Schaumkammern, mit Schaumwänden aus flüssigem Wasser, quellen auf und vergrößern ihr Volumen, wie eine mit Luft gefüllte Seifenblase in Kohlensäure aufquillt, indem die Kohlensäure durch die flüssige Blasenwand von der Stelle mit größerem Partiardruck zu der Stelle mit kleinerem Partiardruck wandert, nach dem Inneren der Blase diffundiert. Die atmosphärische Luft außerhalb der Schaumkammern hat einen größeren Partiardruck, als innerhalb derselben, wo sie mit elektrischen Emanationen und Gasionen vermischt ist. Die Luft wandert also nach dem Inneren der Schaumkammern.

Die kondensierte Menge des flüssigen Wassers ist ohne Expansion geringer, die kondensierten Wasserschichten und Schaumwände sind dünner als mit Expansion. Es muß durch die dünneren Wasserschichten in gleicher Zeit mehr Luft nach dem Inneren der Schaumkammern diffundieren, als durch die dickeren.

Die Schaumflocken in feuchter Luft ohne Expansion mit dünneren Schaumwänden quellen daher weit schneller auf als die Schaumflocken in feuchter expandierter Luft mit dickeren Schaumwänden.

Es entspricht dies meinen Versuchen über Diffusion durch dünne Schaumwände von β Eiweiß und Lösungen von FeCl_3 oder ClH , wo die Volumenzunahme der gebildeten Schaumkammern bei verdünnten Lösungen weit größer ist, als bei konzentrierten Lösungen in der gleichen Zeit.¹⁾

1) G. Quincke, *Ann. d. Phys.* 11. p. 478—479. Fig. 167. 1903.

Die luftgefüllten aufquellenden Schaumkammern bilden aufquellende Schaumflocken, welche infolge der Oberflächenspannung ihre Enden abrunden und Kugelgestalt annehmen, wie ich bei Flocken mit Schaumwänden aus ölartigem Leimtannat ausführlich nachgewiesen habe.¹⁾ Die Schaumkammern am Rande vergrößern sich dabei stärker, als die im Innern der Schaumflocken, welche eine Oberfläche wie eine Brombeere zeigen.

Die runden Schaumflocken in den Ionenwolken aus feuchter Luft ohne Expansion mit großen Schaumkammern müssen im reflektierten Licht weniger glänzend und in matterem Weiß erscheinen, als in den Ionenwolken aus feuchter Luft mit Expansion, mit kleineren Schaumkammern und dickeren Schaumwänden, wie es in der Tat ein Vergleich der Wilsonschen Photographien auf Pl. 8 und 9 bestätigt.

Mit der Lupe zeigt ein Teil der runden Schaumflocken die Struktur eines Sphärokristalles²⁾ (ohne optische Doppelbrechung). Eine Kernblase ist von einem Kranze runder Blasen und 6, 8 oder mehr radialen Röhren umgeben, die gerade, gekrümmt oder am Kopfende zurückgebogen sind, und wieder einzelne kleinere Schaumflocken enthalten (Textfigur 42 G).

Fig. 42.

Der Aufbau eines Sphärokristalles und die verschiedenen Formen der Schaumwände während seiner Bildung lassen sich gut verfolgen an Tropfen von wässriger Kupfervitriollösung in Alkohol. Im Alkohol, welcher der Salzlösung allmählich das

1) G. Quineke, Ann. d. Phys. 11. p. 61, 63, 79, 93. Fig. 143 a. 1903.

2) G. Quineke, Ann. d. Phys. 7. p. 714, 720, 726, 734. Fig. 49 b c; p. 52, 57, 58. 1902.

Wasser entzieht, entstehen aus ölarziger Flüssigkeit konzentrische Kugelschalen und radiale Röhren. Die radialen Röhren zerfallen in radial angeordnete kugelförmige Blasen.¹⁾ Vielleicht sind die Kugelschalen in Textfigur 42 *HI* ähnlich entstanden.

In dem kondensierten Wasser scheidet sich also außer einer Flüssigkeit F_1 in den Wänden der kleinen unsichtbaren Schaumkammern II. Art, noch eine andere ölarzige Flüssigkeit F_2 von größerer Viskosität in dünnen Schichten aus, und rollt sich zu zylinderischen oder kegelförmigen Röhren zusammen, deren wässeriger Inhalt durch Diffusion am Fußende der Röhren rasch zunimmt, so daß die Röhren über die Wasseroberfläche herauswachsen. Die Flüssigkeit F_2 besteht auch aus einer wässerigen Lösung elektrischer Emanationen, aber vielleicht auch von anderer Qualität als die Flüssigkeit F_1 .

In Textfigur 42 *B* ist in einem größeren Sphärökristall eine Kernblase umgeben von einem Kranze kleinerer Blasen, aus welchem radiale Röhren mit Krümmung und Anschwellungen herausgewachsen sind.

Ich habe ähnliche radiale aufquellende Röhren auch als Auswüchse bei Tropfen von geschmolzenem Schwefel beobachtet.²⁾

Übrigens können die Schaumflocken der von Röntgenstrahlen kondensierten Wolken außer Gasionen auch Elektronen und andere elektrische Emanationen enthalten, welche in den Strahlen auf ihrem ganzen Wege von der Kathode bis zur Wolkenkammer durch Stoß, Belichtung oder auf andere Weise sich bilden.

Jeder einzelne runde Schaumflocken der Ionenwolken aus feuchter Luft enthält also mehrere, vielleicht viele, Gasionen und elektrische Emanationen.

Ob und welche anderen elektrischen Emanationen und Elektronen der Röntgenstrahlen außer den Ionen mitgewirkt haben bei der Bildung der Kondensationskerne, Schaumwände und aufquellenden Schaumflocken der Wasserwolken, bleibt unbestimmt. Vielleicht sind die ersten hygroskopischen Kondensationskerne Fremdstoffe, welche sich im Wasser lösen.

1) G. Quincke, Ann. d. Phys. 9. p. 13. Fig. 70. 1902.

2) G. Quincke, Ann. d. Phys. 26. p. 660. Taf. II, Fig. 239 *fl.* 1908.

Vielleicht Stickstoffverbindungen, welche in der mit Wasserdampf gesättigten Luft durch O_3 und H_2O_2 entstanden sind, unter dem Einfluß des ultraviolett Lichtes in den Röntgenstrahlen (vgl. § 61 Ann. d. Phys. 43. p. 438. 1914).

Wenn die Kondensationskerne mit den Ionen identisch sind, so wird nach Wilson¹⁾ jedes einzelne Ion sichtbar bei der Expansion durch die Bildung eines sichtbaren Tropfens, der es umhüllt. Gegen diese Auffassung sprechen Entstehung, Form und Formänderung der Schaumflocken in den von den Röntgenstrahlen kondensierten Wasserwolken.

§ 72. *Wolkenpaare ähnlicher Form.* In der vor der Expansion bestrahlten feuchten Luft liegen wieder Wolkenstreifen ähnlicher Form nebeneinander oder schräg übereinander (Textfigur 42 *ACDEF*), wie in der nach der Expansion bestrahlten Luft (Textfigur 40 *CDEF*).

Nach der Auffassung von Wilson (1912, p. 292) sind bei den Wolken in Textfigur 42 positive und negative Ionen im elektrischen Felde von einander getrennt worden, bevor sie ihre Beweglichkeit durch die Kondensation des Wassers verloren haben. Die vertikalen Kräfte des elektrischen Feldes mußten dann ähnliche Wolkenstreifen übereinander geben, statt nebeneinander oder schräg übereinander. Auch enthalten die einzelnen runden Schaumflocken mehrere Ionen. Es ist nicht festzustellen und sogar unwahrscheinlich, daß in einem Schaumflocken nur positiv oder nur negativ elektrische Ionen enthalten sind.

Zwei solche nebeneinanderliegende Wolkenstreifen sind ähnlich, aber nicht gleich, und einzelne in den Schaumwänden hängende Schaumflocken erscheinen in der Photographie an etwas anderer Stelle in etwas veränderter Gestalt in dem zweiten Wolkenstreifen. Man könnte vermuten, daß zwei elektrische Funken denselben Wolkenstreifen beleuchtet haben, kurze Zeit nacheinander, und daß sich in dieser Zeit der Wolkenstreifen etwas verändert hat. Trotz der Umsicht und Sachkenntnis, mit denen die Versuche angeordnet waren, halte ich diese Erklärung nicht für ausgeschlossen.

Die untere Reihe von drei nebeneinanderliegenden Kugeln

1) C. T. R. Wilson, Phil. Trans. A. 192. p. 412. 1899.

in Textfigur 42 (links neben *B*) scheint ebenfalls durch Aufquellen aus der oberen Reihe entstanden zu sein.

Auch in Textfigur 43 mit positiven und in Textfigur 44 mit negativen Ionenwolken liegen zwei ähnliche Wolken mit aufgequollenen Schaumkammern II. Art nebeneinander.

Fig. 43.

umgekehrt (Textfigur 40 *B*, 43 *B*, 44 *A*). In Textfigur 42 *C* und 44 *C* umgeben sechs Blasen in den Ecken eines Sechsecks eine Kernblase. Es sind Formen, welche in Schäumen beim Zusammenrollen und Platzen oder bei Neubildung von Schaumwänden entstehen.

Fig. 44.

In den Photographien der durch Röntgenstrahlen kondensierten Wasserwolken scheint sich öfter ein Kreis in ein Sechseck oder Fünfeck umzuwandeln oder

§ 73. *Wasserwolken in expandierter feuchter Luft mit Radiumstrahlen.*

Wilson hat ein Radiumkörnchen an einer Drahtspitze in die feuchte Kammer mit einem elektrischen Felde von 40 Volt eingeführt, eine horizontale Luftschicht mit einem Quecksilberfunken beleuchtet und die beleuchteten Wasserwolken photographiert, wenn die α -Strahlen die mit Wasserdampf übersättigte Luft nach der Expansion durchlaufen hatten.

Die Wasserwolken der Radiumstrahlen haben etwas andere Formen und enthalten teilweise mehr Schaumwände I. Art oder ölartige Emanationslösungen größerer Viskosität, als die Wolken der Röntgenstrahlen. Die elektrischen Emanationen

der Röntgenstrahlen und Radiumstrahlen sind also von verschiedener Qualität. Für die Ionen beider Strahlenarten hat

Fig. 45.

Fig. 46.

Fig. 47.

auch J. J. Thomson verschiedene elektrische Ladungen e gefunden, welche sich wie 1:2 verhalten (vgl. § 75).

Ich habe wieder in Textfigur 45 bis 47 die Form einzelner Wolkenstreifen und unsichtbarer Schaumwände gezeichnet und

in Tabelle XXXIX für die Punkte $AB \dots$ dieser Figuren die horizontale x und die vertikale y Ordinate in Millimetern angegeben, mit dem Anfangspunkt des Koordinatensystems in der linken unteren Ecke der betreffenden Wilsonschen Photographie, sowie deren Vergrößerung.

Tabelle XXXIX.

Textfigur	Wilson	v_2/v_1	x	y	Vergrößerung
45 <i>A</i>	Pl. 6 Fig. 1	1,36	42 mm	25 mm	$\frac{1}{2}$
<i>B</i>	1		34	60	$\frac{1}{2}$
<i>C</i>	1		18,5	28	$\frac{1}{2}$
<i>D</i>	1		21	23	$\frac{1}{2}$
<i>E</i>	1		48	55,5	$\frac{1}{2}$
<i>F</i>	1		47	27	$\frac{1}{2}$
<i>G</i>	1		10,5	51	$\frac{1}{2}$
<i>H</i>	1		38,5	14	$\frac{1}{2}$
46 <i>A</i>	Pl. 6 Fig. 4	1,36	32	41	1
<i>B</i>	4		42	62	1
<i>C</i>	4		30	35,5	1
<i>D</i>	4		36,5	56	1
<i>E</i>	4		30	23	1
<i>F</i>	4		33	22	1
47 <i>A</i>	Pl. 7 Fig. 1	1,33	24	32	6
<i>B</i>	1		61,5	20	6
<i>C</i>	1		76	53	6
<i>D</i>	1		92	31	6
<i>E</i>	1		57	38	6
<i>F</i>	1		56,5	20	6
<i>G</i>	1		30	20,5	6
<i>H</i>	1		25	20,2	6
<i>I</i>	1		80	23	6

Nach Wilson war bei Textfigur 45 und 46 die feuchte Luft durch α -Strahlen, bei Textfigur 47 durch α - und β -Strahlen des Radiums ionisiert. Bei Fig. 45 und 46 stand die Kamera über, bei Fig. 47 seitlich der feuchten Kammer. Die positiv elektrischen Ionen wanderten nach unten, die negativ elektrischen Ionen nach oben. In Fig. 47 kamen die Strahlen von der rechten Seite.

Die Photographien der α - und β -Strahlen, welche teils vor teils nach der Expansion durch die feuchte Luft gegangen

waren (Wilson Pl. 6, Fig. 1—4; Pl. 7, Fig. 1—4; Textfigur 45, 46, 47), zeigen:

a) Weiße Pünktchen, Doppelpünktchen, Kreisflächen von 0,05 bis 0,5 mm Durchmesser; auch Schaumflocken von 1 mm natürlicher Größe mit aneinanderhängenden Kugeln und radialen spitzen oder rückwärtsgebogenen Armen (Textfigur 45 *G H*); gewundenen Fäden mit spitzen Enden (Textfigur 46 *E F*).

b) Schmale scharfbegrenzte weiße radiale Wolkenstreifen, welche in 10 bis 20 mm Entfernung vom Radiumkörnchen beginnen, von 3 bis 65 mm Länge, 0,2 bis 0,4 mm Breite, gerade oder schwach gekrümmt, mit ein oder zwei spitzen Enden, in denen oft einzelne weiße Schaumflocken nebeneinander liegen (Textfigur 45, 46).

Einzelne scharf begrenzte Wolkenstreifen sind 2 mm vom Ende scharf umgebogen, mit einem kurzen Ansatz an der Biegung (Textfigur 47).

c) Von dem Radiumkörnchen gehen 1 bis 3 mm breite weißliche oder diffuse radiale Streifen aus, mit runden, zum Teil hohlen Köpfen und länglichen Anschwellungen (Textfigur 45 *A B C D E F*), von derselben Form, wie die kolbenartigen Enden und Anschwellungen der Vegetationen von MnCl_2 in verdünnter Wasserglaslösung.¹⁾

d) Wurde das Radiumkörnchen einige Tage in der feuchten Kammer gelassen, dann entfernt und die Luft expandiert, so lagen in verschiedener Richtung schmale weiße oder breite diffuse Wolkenstreifen mit spitzen Enden oder runden Köpfen und eingelagerten runden, eckigen oder länglichen Schaumflocken auf kurzen geraden Strecken in einiger Entfernung vom Ausgangspunkt (Textfigur 46 *A B C*), ähnlich wie die gebrochenen gelben und roten Strahlen der elektrischen Staubfiguren auf Harzkuchen, welche auch erst in ähnlicher Entfernung hinter dem Prisma auf kurzen geraden Strecken sichtbar sind (§ 39. Ann. d. Phys. 43. p. 385—6).

e) Stark gebogene Wolkenstreifen mit einzelnen weißen Schaumflocken periodisch wechselnder Größe und breiten, aus aneinanderhängenden runden Schaumkammern bestehenden

1) G. Quincke, Ann. d. Phys. 7. p. 667. Fig. 33 *ga*. 1902.

runden Köpfen, entstanden durch Ionisation mit α - und β -Strahlen (Wilson Pl. 7, Fig. 2).

f) Hohlkugeln, Kreisbogen, Kreise, Ellipsen, Spiralen, gebildet von unsichtbaren Schaumwänden, in welchen Schaumflocken hängen (Textfigur 45, 46, 47).

Nach Wilson (1912, p. 282) sind die scharfbegrenzten oder die diffusen Wolkenstreifen b) oder c) entstanden, je nachdem die Ionen sich *nach* oder *vor* der Expansion voneinander getrennt haben. In letzterem Falle konnten die Ionen sich durch Diffusion ausbreiten, ehe sie aus übersättigtem Wasserdampf flüssiges Wasser kondensierten. Die Ionen der Radiumstrahlen sollen nur aus übersättigtem Wasserdampf, nach der Expansion der feuchten Luft, flüssiges Wasser kondensieren, weil die diffusen Wolkenstreifen fehlen (Wilson Pl. 6, Fig. 2), wenn die Radiumstrahlen durch eine 2 mm dicke Glasplatte abgefangen und erst im Augenblick der Expansion durch einen Schlitz in der Glasplatte der feuchten Luft zugeführt wurden. Die weißen scharfbegrenzten Wolkenstreifen sind unterbrochen (Textfigur 46) und unsichtbar, wenn die Ionen der Radiumstrahlen auf diffuse Wolkenstreifen treffen, und hier der für die Kondensation notwendige übersättigte Wasserdampf nicht mehr vorhanden ist, wegen des älteren Ionenweges.

Die Ionen der Radiumstrahlen würden hiernach nicht hygroskopisch sein, wie die elektrischen Emanationen und Ionen der Röntgenstrahlen (§ 70). Die Diffusion der Ionen vor der Expansion der Luft genügt aber nur zur Erklärung der größeren Breite und des matteren Weiß der diffusen Wolkenstreifen c) und Nebelstreifen d). Die geringere Länge, die runden Köpfe, die Hohlräume und die Anschwellungen der diffusen Wolkenstreifen c) bleiben ebenso unerklärt, wie die Anordnung der weißen Schaumflocken auf Kreisen, Ellipsen und Kreisbogen (Textfigur 45, 46, 47).

Man muß meines Erachtens wieder annehmen, wie bei den Wasserwolken der Röntgenstrahlen (§ 70), daß in das von den Ionen der Radiumstrahlen kondensierte flüssige Wasser mit kleiner Geschwindigkeit die nachfolgenden Ionen und Emanationen mit größerer Geschwindigkeit eindringen, Luft mitreißen, einen langgestreckten Schaumfaden bilden aus flüssigem Wasser, Gasionen und Luft mit aneinanderhängenden oder durch Luft-

lamellen getrennten kleinen Schaumkammern, welche mit Ionen oder Luft gefüllt sind. Die Oberfläche dieses Schaumfadens wird von einer dünnen Haut ölarziger Flüssigkeit F_1 , wässriger Emanationslösung bedeckt, welche um so größere Viskosität hat, je konzentrierter sie ist. Bei großer Konzentration ist diese Haut fest, hindert die Diffusion nach dem Inneren und das Aufquellen des Schaumfadens. Es entsteht ein scharf begrenzter Wolkenstreifen c) oder d).

Haben sich die Ionen vor der Expansion durch Diffusion in der Luft ausgebreitet, ist das kondensierte flüssige Wasser auf einen größeren Raum verteilt, so sind die wässrigen Wände der kleinen Schaumkammern dünner, die Emanationslösung F_2 auf der Außenfläche des Schaumfadens hat geringere Konzentration und geringere Viskosität, es entsteht eine ölarzige Haut oder Röhre mit dünnen Wänden, welche sich durch Oberflächenspannung verkürzt und einen runden Kopf, Anschwellungen und Einschnürungen zeigt. Gleichzeitig kann durch diese flüssige Haut und die dünnen Wände der kleinen Schaumkammern Luft schnell nach dem Innern der Schaumkammern diffundieren, in denen der partielle Druck der Luft kleiner ist. Die Schaumkammern und der ganze Schaumfaden quellen auf, es entstehen die diffusen Wolkenstreifen c) (Textfigur 45 A—E).

Die kleinen Schaumflocken mit spitzen Armen und aneinanderhängenden weißen runden Blasen (Textfigur 45 G H) enthalten Schaumkammern I. und II. Art mit Wänden aus ölarziger Flüssigkeit F_1 und F_2 von großer und kleiner Viskosität. Im Innern der lufthaltigen Schaummassen finden sich also gleichzeitig zwei wässrige Emanationslösungen F_1 und F_2 von verschiedener Konzentration oder von verschiedenartigen Emanationen.

Möglicherweise sind auch die spitzen Enden der scharf begrenzten Wolkenstreifen in Textfigur 45 und 46 von einer unsichtbaren erstarrten kegelförmigen Schaumwand aus Flüssigkeit F_1 bedeckt.

Daß durch sehr dünne Wände der Schaumkammern die Diffusion und damit die Volumenvermehrung der Schaumkammern und die Quellung der Schaummassen gehemmt wird, sobald die Wände erstarren, ist von mir früher nachgewiesen

worden beim Aufquellen von Leimtannat in Wasser ohne und mit Methylenblau.¹⁾

Die Emanationslösung F_1 hat eine kleinere Oberflächenspannung an der Grenzfläche mit Luft, als reines Wasser und breitet sich unter Verringerung der Oberflächenspannung auf der Oberfläche der von den Ionen frisch kondensierten Wassertropfen und -blasen aus, und befördert deren Vereinigung zu größeren Schaummassen (vgl. § 69).

Die geraden diffusen Nebelstreifen d) haben unbedeutende oder keine Anschwellungen, aber noch runde Köpfe, wenn die Ölhaut F_1 auf der Außenfläche sehr dünn ist (Textfigur 46 *A B*). Fehlt die Emanationslösung außen, so fehlt sie auch im Innern. Der Nebelstreifen hat verwaschene Enden und in ihm schweben viele Wasserbläschen und -tröpfchen einzeln nebeneinander.

Die schnellbewegten Ionen und Emanationen werden durch die Wirbelbewegungen der Luft in einzelnen Gruppen angehäuft²⁾, welche nach der Kondensation des flüssigen Wassers eine Reihe weißer Schaumflocken bilden, die in den scharfbegrenzten und den diffusen Wolkenstreifen sichtbar werden an den Stellen, wo die Wolke weniger dicht ist (Textfigur 46 *D E* und *A B C*).

In den geraden diffusen Nebelstreifen Textfigur 46 *B* liegen weiße Kugelschalen mit einem weißen Kern. Ich halte sie für aufgequollene Schaumkammern II. Art.

β -Strahlen des Radiums bilden weniger weiße Schaummassen als α -Strahlen. Die Ölhaut an der Oberfläche des langen Schaumfadens bleibt länger flüssig, krümmt sich und wird konkav an den Stellen mit größerer Oberflächenspannung, bildet Anschwellungen und Einschnürungen und zerfällt in einzelne Blasen periodisch wechselnder Größe (Wilson, Pl. 7 Fig. 1—4, Textfigur 47 *B*). Auf geraden oder gekrümmten Strecken liegen einzelne oder mehrere kleine und kleinste Tröpfchen oder Blasen zwischen größeren Tropfen von 0,2 bis 0,1 mm. Diese gekrümmten Wolkenstreifen der Radiumstrahlen sind sehr ähnlich den gekrümmten Wolkenstreifen der Röntgen-

1) G. Quincke, *Drudes Ann.* 11. p. 60, 87. 1903.

2) G. Quincke, *Verh. Ges. D. Naturf. u. Ärzte. Düsseldorf II*, 1. p. 27. 1898.

strahlen (Wilson, Pl. 8 Fig. 1—3, Pl. 9 Fig. 1—3; Textfigur 40 *A*).

Aus dem übersättigten Wasserdampf wird am Kopf der Radiumstrahlen oder des scharfbegrenzten Schaumfadens das flüssige Wasser zuerst, also viel reichlicher kondensiert. Hier entsteht also auch Emanationslösung mit kleinster Konzentration und kleinster Viskosität, finden sich mehr Schaumwände II. Art und die von ihnen umhüllten Schaummassen sind stärker gequollen (Wilson, Pl. 7 Fig. 1, 3).

Vor der Erstarrung der Oberfläche haben sich auch im Innern des scharfbegrenzten Wolkenstreifens *JK* Textfigur 47 periodisch dünne Lamellen sehr klebriger Emanationslösung ausgeschieden und zu kegelförmigen Röhren zusammengerollt, den Wänden geschlossener Schaumkammern, welche durch Diffusion gequollen und seitlich aus der Oberfläche herausgewachsen sind (Textfigur 47 *FGHJ*), ähnlich wie die radialen Arme der aufgequollenen Schaumflocken der Röntgenstrahlen (§ 70). Einzelne seitliche Auswüchse haben noch Anschwellungen gebildet.

Auch die scharfbegrenzten Wolkenstreifen der α -Strahlen (Wilson, Pl. 6 Fig. 2, 3) zeigen solche Seitenarme.

Am Kopf *K* des langen Schaumfadens, Textfigur 47, mit Emanationslösung von geringerer Viskosität, bildet die weiße Schaummasse eine gewundene Spirale, ist von einer Lamelle umhüllt, die sich infolge der Oberflächenspannung wie ein Hobelspahn zusammengerollt hat. Daß die Oberfläche des scharfbegrenzten Wolkenstreifens *JK* erstarrt ist, beweist auch die hohle Halbkugel mit dem eingelagerten Schaumflocken (Textfigur 47 *B*), welche die Oberfläche des Wolkenstreifens unter einem rechten Winkel trifft.

In Textfigur 47 liegen weiße Schaumflocken nebeneinander auf Spiralen, Kreisen, Ellipsen; auch auf drei Ellipsen in Form eines Kleeblattes (Textfigur 47 *A*), als ob sie in unsichtbaren Schaumwänden I. und II. Art hingen. Ganz ähnliche Gebilde habe ich an Ölschäumen¹⁾ und Niederschlagmembranen von Leimtannat²⁾ in Wasser beobachtet.

1) G. Quineke, Wied. Ann. 53. p. 593. Taf. VIII, Fig. 2, 14—16, 20. 1894.

2) G. Quineke, Drudes Ann. 11. p. 72, 75, 76, 81. Fig. 136, 138, 139, 146, 148. 1903.

Wieviele Ionen, Elektronen oder andere Emanationen die einzelnen weißen Pünktchen, Doppelpünktchen, kleinen und großen Kreisflächen oder Schaumflocken in dem aus Schaum von Wasser und Luft bestehenden Wolkenstreifen der Wilsonschen Photographien Pl. 6 u. 7 (Textfigur 45, 46, 47) enthalten, ist nicht festzustellen, bleibt unbestimmt. Mit Rücksicht auf die ölartigen Emanationslösungen in diesen Schaummassen kann man nur sagen — *sehr viele*.

§ 74. *Elektrische Staubfiguren*. Die Ähnlichkeit der durch Röntgenstrahlen kondensierten Wasserwolken mit den + und – Staubfiguren auf Harzkuchen usw. in gewöhnlicher Luft macht es wahrscheinlich¹⁾, daß diese Staubfiguren zum Teil aus Schaumflocken einer Lösung der elektrischen Emanationen des Radiators in flüssigem, aus der Luft kondensierten, Wasser bestehen, welche von der Harzoberfläche angezogen und festgehalten werden.

§ 75. *Elektrische Ladung der Ionen*.

Ist n die Anzahl der Ionen in der Volumeneinheit Gas, e die elektrische Ladung, v die Geschwindigkeit eines Ions unter der angewandten elektromotorischen Kraft, so ist die durch Messungen bekannte Gesamtstromstärke $i = nev$. Von diesen drei Größen kann v aus den Versuchen von Rutherford²⁾ berechnet werden. J. J. Thomsen³⁾ hat zur Bestimmung von n die von C. T. R. Wilson 1897 gefundene Tatsache benutzt, daß die Ionen bei plötzlicher Ausdehnung der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft wie Kondensationskerne auf den Wasserdampf wirken, unter der fundamentalen Annahme, daß jedes Ion den Kern für ein Wassertröpfchen bildet. In die feuchte Luft der Wolkenkammer wurden durch eine Aluminiumplatte von 0,3 mm Dicke Röntgenstrahlen oder Radiumstrahlen geeigneter Intensität geleitet und die Luft mit passender Volumenvermehrung plötzlich expandiert.

Die Anzahl n der Wassertröpfchen in der Volumeneinheit wurde berechnet aus der Menge kondensierten Wassers und der mittleren Größe eines Wassertröpfchens. Die Tröpfchen-

1) G. Quincke, Verh. d. D. Phys. Ges. 15. p. 100. 1913.

2) E. Rutherford, Phil. Mag. (5) 44. p. 422. 1897.

3) J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) 46. p. 530. 1898; (5) 5. p. 530. 1903.

größe aus der Geschwindigkeit v , mit welcher die von vielen Tröpfchen gebildete Nebelwolke in der klebrigen Luft fiel, mittels der Gleichung

$$(1) \quad v = \frac{2}{9} \frac{g a^2}{\mu},$$

wo g die Schwerkraft, a der Tröpfchenradius und μ den Viskositätskoeffizienten der Luft bedeuten.

J. J. Thomson findet

$$a = 3,39 \times 10^4 \text{ cm}$$

$e = 3,4 \times 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten mit Radiumstrahlen,

$e = 6,5 \times 10^{-10}$ „ „ mit Röntgenstrahlen.

Hatten sich wirklich die großen lufthaltigen Schaumflocken der Wilsonschen Photographien mit Schaumkammern I. Art zu der Zeit in welcher die Fallgeschwindigkeit der Nebelwolke gemessen wurde, in eine Menge kleinster massiver Wasserkugeln verwandelt, deren jede ein positives oder ein negatives Ion enthielt?

Sind die Nebeltröpfchen hohl oder luftfrei?

In starken elektrischen Feldern verlängern sich kleine Luftblasen in einer isolierenden Flüssigkeit in der Richtung der elektrischen Kraftlinien, verkürzen sich senkrecht zu den elektrischen Kraftlinien und werden ebenso wie die von der Flüssigkeit absorbierte Luft nach den Stellen kleinster elektrischer Kraft hingetrieben.¹⁾ Aber die schwachen Feldstärken der Wolkenkammer vermögen nicht die aus dem kondensierten Wasser entstandenen Schaumflocken luftfrei zu machen.

Bei den mit Radiumstrahlen erzeugten Wasserwolken findet J. J. Thomson die Fallzeit des oberen Wolkenrandes für den ersten Zentimeter kleiner, als für den zweiten Zentimeter Fallhöhe; nach seiner Ansicht infolge der Verminderung der Tropfengröße durch Verdampfung.

Ich würde meinen infolge des Aufquellens der lufthaltigen Schaumflocken durch Diffusion, indem die von den Schaumwänden absorbierte Luft nach den Stellen mit kleinerem partiären Druck gewandert ist (vgl. § 71).

1) G. Quincke, Wied. Ann. 19. p. 746. 1883; 59. p. 474. 1896.

Da Luftblasen in Wasser von einem elektrischen Strom zur Anode fortgeführt werden¹⁾, so wird an der Grenzfläche von Wasser und Luft durch die elektromotorische Kraft der Kontaktelektrizität — welche auch J. J. Thomson²⁾ annimmt — das Wasser positiv, die Luft negativ elektrisch sein, sehr bald, nachdem sich das Wasser kondensiert hat. Positive Elektronen werden sich im Wasser, negative Elektronen in der Luft nahe der Tröpfchenoberfläche ansammeln und die Fallgeschwindigkeit der Tröpfchen und Schaumflocken ebenfalls verkleinern. Die Wirkung ist dieselbe, als ob die Viskosität der Luft sich vermehrt hätte.

Störungen der vertikalen Bahnen der Nebeltröpfchen. Bei Umwandlung der Schaumwände I. Art in solche II. Art können aus den großen lufthaltigen Schaumflocken nur kleinere lufthaltige Schaumflocken und Blasen entstehen; durch Platzen einzelner Schaumwände einzelne massive Tröpfchen. Diese kleineren Schaumflocken, Blasen und Tropfen fallen aber auch nicht in vertikalen Bahnen mit konstanter Geschwindigkeit, wegen der Flüssigkeitswirbel und der Belichtung, wie ich früher gezeigt habe.³⁾

Sägespäähne, Staubeilchen oder Luftblasen, welche in Wasser nebeneinander zu Boden fallen oder aufsteigen, sammeln sich auf Kreisbogen oder Kugelflächen, welche durch Räume klarer Flüssigkeit getrennt sind, und um so kleineren Durchmesser haben, je kleiner die in Wasser schwebenden Teilchen sind. Ich habe diese Anordnung durch Wirbelbewegungen des Wassers erklärt.⁴⁾

Regentropfen auf Kreisbogen. Bei windstillem Wetter fallen zuweilen aus dunklen Wolken einzelne Regentropfen nebeneinander herab, welche auf trockenen Steinplatten des Straßepflasters in einzelnen flachen Tropfen von 7 bis 8 mm Durchmesser liegen bleiben. Dabei liegen diese flachen Tropfen auf

1) G. Quincke, Pogg. Ann. 113. p. 574. 1861.

2) W. B. Hardy, Proc. Roy. Soc. 66. p. 124. 1900.

3) G. Quincke, Verh. Naturhist. Med.-Ver. Heidelberg (N. F.) 4. p. 468. 1890; 5. p. 226. 1894; Wied. Ann. 52. p. 607. 1894; Rep. Brit. Assoc. p. 60. Glasgow 1901; Ann. d. Phys. 7. p. 57. 1902.

4) G. Quincke, Verh. Ges. D. Naturf. u. Ärzte. Düsseldorf II, 1. p. 28. 1898.

Kreisbogen von 7 bis 8 cm Durchmesser, vier bis acht Tropfen auf demselben Kreisbogen in nahezu gleichem Abstand voneinander. Möglicherweise rührt auch diese Anordnung der Regentropfen auf Kreisbogen von Wirbelbewegungen der Luft her.

Ähnlich wie die großen Regentropfen können sich auch die kleinen Nebeltröpfchen von 0,007 mm Durchmesser in der Wolkenkammer mit ionisierter Luft gruppieren.

Nach Vergleich mit den eben aufgeführten Erscheinungen halte ich es für sehr unwahrscheinlich, daß die lufthaltigen Schaumflocken der Ionenwolken der Wilsonschen Photographien in viele einzelne Wasserkugeln gleicher Größe zerfallen und eine Nebelwolke bilden; daß man berechtigt ist den Radius der Kugeln aus der Fallgeschwindigkeit der Nebelwolke mit Gleichung (1) zu berechnen und anzunehmen, daß jede einzelne Wasserkugel *ein* positives oder negatives Ion enthält.

Hiergegen ist freilich einzuwenden, daß verschiedene Messungen, teilweise sogar mit veränderten Methoden, für e ähnliche Werte oder doch Werte gleicher Größenordnung ergeben haben, und daß e für Röntgenstrahlen nahezu doppelt so groß gefunden wird, wie für Radiumstrahlen.

Die Bedenken gegen die Messungen von a , n , e werden, wenn nicht ganz gehoben, so doch gemindert, wenn zwischen den großen elektrischen Schaumkammern I. Art in den Wilsonschen Photographien und den kleinen Tröpfchen oder elektrischen Schaumkammern II. Art in den sinkenden Nebelwolken unterschieden wird.

Das durch Expansion der feuchten Luft kondensierte Wasser kann zu einem kleinen Teile in den Wasserwolken der Wilsonschen Photographien enthalten sein. Der andere größere Teil kann sich auf den positiven und negativen Ionen kondensiert haben zu Tröpfchen, welche für die photographische Platte unsichtbar waren und doch in ungeheurer Anzahl dem bloßen Auge als Nebelwolke sichtbar wurden. Durch das violette Licht der Quecksilberfunken, welche beim Photographieren die Wolkenkammer beleuchteten, mögen auch hygroskopische Kondensationskerne (etwa H_2O_2) in größerer Anzahl und mehr Schaumkammern aus kondensiertem Wasser entstanden sein, als bei dem Lichte,

welches bei der Messung der Fallgeschwindigkeit benutzt wurde und welches arm an chemisch wirksamen Strahlen war.

Die kleinen Nebeltröpfchen, in welchen bei dieser Annahme der größere Teil des durch die Expansion kondensierten Wassers enthalten ist, würden hinter den schneller sinkenden großen Schaumflocken zurückbleiben, aber durch Luftwirbel und Belichtung Störungen ihrer Bahn und Geschwindigkeit erleiden. Dadurch würde die Berechnung der Tröpfchengröße mit Gleichung (1) und der Anzahl Tröpfchen in der Volumeneinheit Luft, also auch des Wertes der elektrischen Ladung e eines Ions unsicher bleiben.

Der Beweis, daß diese kleinen Nebeltröpfchen luftfrei sind und jeder nur *ein* positives oder negatives Ion enthalten, fehlt aber auch bei dieser Annahme.

§ 76. Zusammenfassung.

1. Die Wolken, welche in mit Wasserdampf gesättigter expandierter Luft in einem elektrischen Felde bei Einleiten von Radium- oder Röntgenstrahlen entstehen und von C. T. R. Wilson bei momentaner Beleuchtung mit Quecksilberfunken photographiert worden sind, zeigen dieselben Formen wie Metallsalzvegetationen oder wie die positiv und negativ elektrischen Staubfiguren auf Harzkuchen.

2. Die positiven und negativen Gasionen und andere elektrische Emanationen der Radium- oder Röntgenstrahlen sind hygroskopisch, kondensieren aus der feuchten Luft, auch ohne Expansion, flüssiges Wasser, in welches nachfolgende Gasionen und mitgerissene Luft eindringen, ionenhaltige Luftbläschen und kleine mit ähnlicher Luft gefüllte aneinanderhängende Schaumkammern bilden, mit Wänden aus flüssigem Wasser, lufthaltige langgestreckte Schaummassen.

3. Gasionen und andere elektrische Emanationen lösen sich in flüssigem Wasser zu ölartigen Flüssigkeiten F_1 und F_2 mit großer oder kleiner Viskosität, welche Schaumwände I. und II. Art in dem kondensierten Wasser bilden.

Viskosität und Oberflächenspannung dieser Emanationslösungen hängen von Konzentration und Qualität der gelösten Emanationen ab. Mit steigender Konzentration nimmt die Viskosität der Emanationslösung zu, die Oberflächenspannung ab.

4. Dünne unsichtbare Schichten dieser elektrischen Emanationslösungen überziehen die langgestreckten Wolkenstreifen und die Wände der kleinen luftgefüllten Schaumkammern.

5. Die Emanationslösung an der Oberfläche der Wolkenstreifen ist die dünne unsichtbare Wand einer mit lufthaltigen Schaummassen gefüllten Röhre, welche unter dem Einfluß der Oberflächenspannung sich krümmt, je nach dem kleineren oder größeren Wassergehalt spitze oder runde Köpfe, Anschwellungen und Einschnürungen bildet, und dann weiter in eine Reihe Schaumflocken oder runder Blasen periodisch wechselnder Größe zerfällt.

6. Im Innern der Schaumflocken und Blasen bilden dünne unsichtbare Schichten ölartiger Emanationslösungen F_1 oder F_2 zylinderische oder kugelförmige Schaumwände I. oder II. Art, welche unter verschiedenen Winkeln zusammentreffen, verschiedene Viskosität und verschiedene Oberflächenspannung haben, offene oder geschlossene aneinanderhängende Schaumkammern umhüllen.

Form und Lage der unsichtbaren Schaumwände sind aus den eingelagerten Schaumflocken zu erkennen.

7. Unter dem Einfluß der Oberflächenspannung bilden die kleinen luftgefüllten, aneinanderhängenden Schaumkammern mit kugelförmigen Wänden aus Flüssigkeit F_2 von kleiner Viskosität runde Schaumflocken mit einer Oberfläche wie eine Brombeere.

8. Andere Schaumflocken der Röntgenstrahlen haben die Struktur von Sphärokristallen mit Schaumwänden I. Art aus ölartiger Emanationslösung F_1 von großer Viskosität, welche konzentrische Kugelschalen und radiale Röhren mit geraden und zurückgebogenen Enden und runden Köpfen bildet. In den Kugelschalen oder im Innern der radialen Röhren liegen einzelne runde Schaumflocken.

9. Durch die Wände der mit Luft und Gasen oder mit Wasser und elektrischen Emanationen gefüllten Schaumkammern diffundieren Luft, Gasen, Wasser und elektrische Emanationen. Die Luft nach den Stellen mit kleinerem Partiardruck. Die kleinen Schaumkammern vergrößern ihr Volumen; die langgestreckten Röhren mit Anschwellungen und runden Köpfen, die runden Schaumflocken und die Sphärokristalle quellen auf;

um so schneller, je dünner die Schaumwände sind, je weniger Wasser sich kondensiert hat.

Die aufgequollenen Röhren, runden Schaumflocken und Sphärokristalle sind daher bei elektrischer Bestrahlung vor der Expansion der feuchten Luft mit wenig kondensiertem Wasser größer, als bei elektrischer Bestrahlung nach Expansion der feuchten Luft mit mehr kondensiertem Wasser.

Die radialen Röhren der Sphärokristalle quellen durch Diffusion am Fuße der Röhren, wachsen über die äußere Kugel-
fläche heraus und krümmen sich infolge der Oberflächen-
spannung.

10. Die Photographien der Wasserwolken mit Röntgenstrahlen zeigen Wolkenpaare von sehr ähnlicher und doch etwas verschiedener Form, als ob dieselbe Wolke in zwei verschiedenen Lagen von zwei aufeinanderfolgenden Quecksilberfunken beleuchtet worden wäre.

11. Die α -Strahlen des Radiums bilden kleine, runde Schaumflocken und gerade, schmale Wolkenstreifen mit spitzen Enden, mit weißen Schaummassen oder Reihen runder Schaumflocken im Innern. Daneben diffuse Wolkenstreifen mit Anschwellungen, Einschnürungen und runden Köpfen.

Die Oberfläche eines weißen, langen Wolkenstreifens von α - und β -Strahlen zeigt ähnliche röhrenförmige Auswüchse mit rundem Kopf wie die Sphärokristalle der Röntgenstrahlen und am Kopf eine gewundene Spirale.

12. Die Wasserwolken der Radiumstrahlen haben etwas andere Formen, enthalten zum Teil mehr Schaumwände I. Art oder elektrische Emanationslösungen größerer Viskosität, als die der Röntgenstrahlen.

Die elektrischen Emanationen der Radium- und Röntgenstrahlen sind also von verschiedener Qualität.

13. Jeder einzelne runde oder anders gestaltete Schaumflocken der Ionenwolken aus feuchter Luft, mit Röntgen- oder Radiumstrahlen erzeugt, enthält mehrere, vielleicht viele, Gas-
ionen und elektrische Emanationen.

14. Unrichtig und nicht in Übereinstimmung mit den Formen und Formänderungen der Ionenwolken ist die Annahme, daß die ganze in der expandierten Luft kondensierte Wassermenge bei Durchstrahlung mit Röntgenstrahlen in den

Nebelwolken der ionisierten Luft enthalten ist, und daß diese Nebelwolken aus massiven Wassertröpfchen gleicher Größe bestehen, welche in jedem Tröpfchen ein positives oder negatives Ion enthalten.

15. Die Tröpfchen fallen nicht mit konstanter Geschwindigkeit auf vertikalen Bahnen, welche durch Luftwirbel und vielleicht auch durch Belichtung gestört werden. Man ist nicht berechtigt, aus der Geschwindigkeit, mit welcher die Nebelwolke sinkt, die Größe der Tröpfchen und deren Anzahl zu berechnen. Dadurch werden auch die Messungen von J. J. Thomson der elektrischen Ladung eines Ions fehlerhaft.

Heidelberg, den 18. März 1914.

(Eingegangen 25. März 1914.)