

Werk

Titel: Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen

Jahr: 1903

Kollektion: Mathematica

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN360709532

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN360709532>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=360709532>

LOG Id: LOG_0186

LOG Titel: 13. Die absolute Größe der Atome

LOG Typ: chapter

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN360504019

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN360504019>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=360504019>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

der Theorie der elektrolytischen Dissoziation durch *Arrhenius*⁵⁶⁾ (1887), von welcher ebenfalls in einem folgenden Kapitel ausführlicher die Rede sein wird. Die Einführung des Begriffes der in wässrigen Lösungen enthaltenen freien Ionen drohte anfänglich mit der Atomhypothese nicht recht vereinbar zu sein. Auch diese Schwierigkeit wurde jedoch behoben, als in neuerer Zeit der Begriff des Elektrons in die Physik eingeführt wurde.

Nach dem *Faraday'schen*⁵⁷⁾ Gesetze scheidet derselbe elektrische Strom in Elektrolyten stets äquivalente Mengen ab. *Faraday* selbst folgerte daraus, dass äquivalente Mengen stets mit ein und derselben Elektrizitätsmenge (96 540 Coulomb pro Grammäquivalent) verbunden seien. Die atomistische Auffassung dieses Elementarquantums der Elektrizität durch *H. A. Lorentz*⁵⁸⁾ und *Helmholtz*⁵⁹⁾ führte zu dem heutigen Begriffe des Elektrons als elektrischen Atomes. Die Ionen in wässriger Lösung stellen sich demnach dar gewissermassen als gesättigte Verbindungen von Atom und Elektron. Der verschiedene Grad der Positivität bzw. Negativität ist nicht bedingt durch eine verschiedene Grösse der Ladung, sondern durch die verschiedene Festigkeit, mit der das Elektron von dem Atom gebunden wird, von der Haftintensität, der Elektroaffinität. Da diese Eigenschaft für die anorganischen Verbindungen wesentlich ist, suchten in neuester Zeit *Abegg* und *Bodländer*⁶⁰⁾ auf diesem Prinzip eine neue Klassifikation der unorganischen Verbindungen zu begründen. In der That gelang es ihnen, hierbei eine Reihe gesetzmässiger Beziehungen aufzufinden.

13⁶¹⁾. Die absolute Grösse der Atome⁶²⁾. Wenn auch bei den weitaus meisten physikalischen und chemischen Messungen die *absoluten* Dimensionen der Moleküle und Atome nicht in Betracht kommen, so hat es doch nicht an Spekulationen gefehlt, welche bezweckten, Anhaltspunkte auch für die *absoluten* Grössen und Dimensionen der Moleküle und Atome zu liefern. Die erste darauf hinzielende Be-

56) *Zeitschr. f. physikal. Chemie* 1 (1887), p. 631.

57) *Ostwald's Klassiker* Nr. 81, 86, 87, Leipzig.

58) Vgl. *G. C. Schmidt*, *Die Kathodenstrahlen*, Braunschweig 1904; *H. A. Lorentz*, *Sichtbare u. unsichtbare Bewegungen*, Braunschweig 1902.

59) *J. chem. Soc.* June 1881; *Vorträge u. Reden* 2, p. 275.

60) *Zeitschr. f. anorg. Chem.* 20 (1899), p. 453.

61) Diese Nr. ist von *Hrn. L. Boltzmann* gütigst durchgesehen und wesentlich vervollständigt worden.

62) *Nernst*, *Theoretische Chemie*, 2. Aufl. 1898, p. 390; *J. Traube*, *Grundriss d. physikal. Chemie*, Stuttgart 1904, p. 96; *Maxwell*, *Scientific papers* 2, p. 460, Art. „Atom“.

rechnung stammt wohl aus dem Jahre 1805 von *Young*⁶³). Dieser fand für den Durchmesser d der Wirkungssphäre der Molekularkräfte den Wert $3H/K$, wobei K und H die beiden Konstanten der *Laplace*-schen Kapillartheorie sind, von denen die erste der von der Krümmung unabhängige Teil des Kapillardruckes ist. Durch die letztere ist der der Krümmung proportionale Anteil dieses Druckes charakterisiert. Indem *Young* H aus der Steighöhe des Wassers in Kapillarröhren berechnet, K aber ohne Angabe des Grundes für Wasser auf 23000 Atmosphären schätzt, findet er für Wasser d gleich dem 250millionten Teile eines englischen Zolls (d. i. etwa 10^{-8} cm). K kann aus der Verdampfungswärme des Wassers⁶⁴) oder aus der Konstanten a der *van der Waals*'schen Formel⁶⁵) berechnet oder schätzungsweise gleich der Zerreihsfestigkeit fester Substanzen gesetzt werden⁶⁶).

Mittelst der Annahmen, dass die Moleküle im flüssigen Wasser sich berühren und dass die Kondensation des Wasserdampfes beginnt, sobald der Abstand der Mittelpunkte zweier Nachbarmoleküle gleich ihrer Wirkungssphäre wird, wovon die letztere Annahme unseren heutigen Anschauungen wohl nicht mehr entspricht, findet *Young* dann für den Abstand der Mittelpunkte zweier Nachbarmoleküle flüssigen Wassers den 100000millionten Teil eines englischen Zolls (d. i. $2,5 \cdot 10^{-10}$ cm), welche Zahl zwar bei weitem zu klein ist, aber doch nicht gänzlich von der Grössenordnung der jetzt angenommen abweicht.

Eine *obere Grenze* für den Durchmesser der Moleküle liess sich aus der Bestimmung der Schichtdicke dünnster Häutchen ableiten. So fanden *Reinold* und *Rücker*⁶⁷) durch Untersuchungen über den schwarzen Fleck von Seifenblasen den Durchmesser zu 12×10^{-7} cm, während *Drude*⁶⁸) in gleicher Weise den Wert 17×10^{-7} cm erhielt.

*Röntgen*⁶⁹) und unabhängig von ihm *Rayleigh*⁷⁰) stellten Ölhäutchen auf Wasser dar, deren Dicke sie zu $10,6 \times 10^{-8}$ bzw. $5,6 \times 10^{-8}$ cm feststellten.

63) On the cohesion of fluids, London Phil. Trans. 1805; vgl. *Rayleigh*, Phil. Mag. 30 (1890), p. 474.

64) *Dupré*, Théorie mécanique de la chaleur 1869, p. 152.

65) *van der Waals*, Die Kontinuität des flüssigen und gasförmigen Zustandes, 2. Aufl., 1. Teil, 9. Kapitel (über a siehe 10. Kap.). Deutsche Ausgabe, 1. Aufl. Leipzig 1881.

66) *Boltzmann*, Wien. Ber. 66, Juli 1872; *Lord Rayleigh*, Phil. Mag. (5) 30 (1890), p. 473.

67) London Phil. Trans. 2 (1883), p. 645; Rep. Brit. Assoc. 1885, p. 986.

68) Ann. Phys. Chem. 43 (1891), p. 158.

69) Ann. Phys. Chem. 41 (1890), p. 321.

70) London Proc. Roy. Soc. 47 (1890), p. 364

In seiner Abhandlung über die Grösse der Moleküle ⁷¹⁾ hat dann Lord *Kelvin* diese ebenfalls durch Vergleichung der zur Vergrößerung der Wasseroberfläche und zur Verdampfung des Wassers erforderlichen Arbeit also wieder mit Hilfe der Kapillarkonstanten H und K (letztere aus der Verdampfungswärme geschätzt) gefunden ⁷¹⁾.

Die erste genauere Messung der absoluten Grösse der Moleküle wurde von *Loschmidt* (1865) ⁷²⁾ und später von *Stoney* (1868) mit Hilfe der kinetischen Gastheorie ausgeführt. Aus dieser folgt die Gleichung $L = \frac{1}{\pi\sqrt{2}ns^2}$, wobei L die mittlere Weglänge eines Moleküls, s dessen Durchmesser, n die Anzahl der Moleküle in der Volumeneinheit bedeutet. L kann aus dem Reibungs-, Diffusions- und Wärmeleitungskoeffizienten nach *Maxwell*, *Clausius*, *Stefan* u. a. berechnet werden. Eine zweite Gleichung zwischen den beiden Grössen n und s erhält *Loschmidt*, indem er aus den Versuchen *Kopp's* über die Molekularvolumina siedender Flüssigkeiten einen Schluss auf das Volumen des von den Molekülen in der Volumeneinheit wirklich erfüllten Raumes zieht. Da letzterer gleich $4\pi ns^3/3$ ist, so hat man jetzt zwei Gleichungen zwischen n und s , aus denen *Loschmidt* für Luft (Stickstoff) findet $s = 10^{-7}$ cm, $n = 10^{21}$ bezogen auf den ccm flüssigen Stickstoff.

Die zweite Gleichung zwischen n und s erhält Lord *Kelvin* ⁷³⁾, indem er Argon zu Grunde legt und annimmt, dass das Volumen des flüssigen Argons gleich dem Volumen q^3s^3n wäre, welches dessen Moleküle einnähme, wenn ihre Mittelpunkte in Würfeln von der Seitenlänge qs angeordnet wären. Unter q ist eine von der Einheit wenig verschiedene Zahl zu verstehen. L resp. ns^2 wird dabei durch Schätzung des Koeffizienten der Diffusion in sich selbst berechnet. Es ergibt sich für flüssiges Argon pro cm³ $n = 8,9 \cdot 10^{19}$, wenn q gleich eins gesetzt wird.

Die zweite Gleichung zwischen n und s erhält *van der Waals* aus seiner Theorie. In der *van der Waals'schen* Zustandsgleichung der Gase

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

bedeutet b das Vierfache des von den Molekülen eines Mols wirklich eingenommenen Volumens. Es ist also $b = 16\pi ns^3/3$. Zur Bestimmung

71) *Nature*, März 1870; *Thomson and Tait*, Treatise on natural philosophy appendix F, p. 499; *Phil. Mag.* (6) 4 (1902), p. 182.

72) *Wien. Ber.* 52 (1865), p. 395.

73) *Kelvin*, *Phil. Mag.* (6) 4 (1892), p. 197.

von b sind eine Reihe von Methoden anwendbar, z. B. die Messung der Abweichungen eines Gases von den Gasgesetzen. Am meisten experimentelle Bearbeitung hat die Bestimmung aus kritischem Druck π_0 und kritischer Temperatur ϑ_0 erfahren:

$$b = \frac{1}{8} \cdot \frac{\vartheta_0}{273 \cdot \pi_0}.$$

Van der Waals findet für Luft $s = 2,7 \cdot 10^{-8}$ cm.⁷⁴⁾

Über Bestimmung der Grösse der Moleküle aus Betrachtungen über Gastheorie oder Kapillarität vergleiche ferner *Jäger*⁷⁵⁾, *Mache*⁷⁶⁾, *Müller-Erbach*⁷⁷⁾, *Galitzine*⁷⁸⁾, *Wilson*⁷⁹⁾.

Aus den alten *Volta*'schen Anschauungen über die Kontaktelektrizität folgerte Lord *Kelvin*⁸⁰⁾, dass der Abstand zweier benachbarter Moleküle für Kupfer und Zink zwischen 10^{-8} und 10^{-9} cm liegen müsse.

Die Grösse der Moleküle wurde bestimmt unter Zuziehung der *Clausius-Mosotti*'schen Formel für die Dielektrizitätskonstante von *Franz Exner*⁸¹⁾, aus Betrachtungen über die elektromotorische Kraft sehr dünner Gasschichten auf Metallen von *H. Kohlbrausch*⁸²⁾, über kapillar-elektrische Versuche von *J. Bernstein*⁸³⁾, durch Vergleich der Lösungswärme von Zuckerstaub und massivem Zucker von *Gerstmann*⁸⁴⁾.

*Rayleigh*⁸⁵⁾ hat auf Grund seiner Theorie der blauen Farbe des Himmels aus der Beziehung zwischen Grösse der kleinsten in der Luft befindlichen Teilchen und deren Brechungsvermögen ebenfalls derartige Schlüsse gezogen. Aus den Beobachtungen von *Zettwuch*⁸⁶⁾, *Majorana*⁸⁷⁾ u. a. lassen sich folgende Werte erhalten: Es beträgt das Gewicht eines Atomes Wasserstoff (flüssig): $0,45 \times 10^{-24}$ g, Sauer-

74) Die Continuität etc., 2. Aufl., 1. Teil, p. 115.

75) Wien. Ber. 99, p. 679, 860; 100, p. 245, 493, 1122, 1233; 108 (1891), p. 54; Wien. Monatsh. 3, p. 235.

76) Wien. Ber. 111 (1902), p. 381.

77) Wien. Ber. 109 (1900), p. 9; Ann. Phys. Chem. 67 (1899), p. 899.

78) Ztschr. f. phys. Chemie 4 (1889), p. 417.

79) Chem. News 73 (1896), p. 63.

80) Lord *Kelvin*, Proc. Manchester literary and phil. soc., Januar 1862; Lord *Kelvin* and *Tait*, Treatise on natural philosophy, 2, App. F, 1895, p. 494.

81) Wien. Ber. 91 (1885), p. 850

82) Gött. Nachr. 25. Sept. 1872, p. 453.

83) Ann. Phys. 14 (1904), p. 172.

84) Verh. d. deutsch. phys. Ges. 28. Okt. 1899.

85) *Rayleigh*, Collected papers 1, p. 87.

86) Ricerche sul Bleu del Cielo, Dissertation Rom 1901; Phil. Mag. (4) 6 (1902), p. 199.

87) Phil. Mag. 1901; vgl. Lord *Kelvin* l. c.

stoff (flüssig) $7,15 \times 10^{-24}$ g, Stickstoff $6,29 \times 10^{-24}$ g, Gold: $88,52 \times 10^{-24}$ g. Diese Grössen stimmen mit den Berechnungen Lord Kelvin's vorzüglich überein.

Mit Hülfe einer elektrischen Methode gelangte *Ridout*⁸⁸⁾ auf nicht näher angegebenem Wege für den Durchmesser des Wasserstoffatoms zu dem gleichen Werte.

In jüngster Zeit endlich hat *Planck*⁸⁹⁾ aus der Theorie der elektromagnetischen Strahlung abgeleitet, dass die Masse einer Molekel das $1,62 \times 10^{-24}$ -fache der Masse des gr-Moleküles beträgt. Diese Ableitung mag noch Hypothetisches enthalten; sie ist aber bisher die einzige, die nicht nur die Grössenordnung, sondern auch einen numerisch ziemlich exakten Wert zu liefern im Stande ist.

14. Bedeutung der chemischen Atomistik in erkenntnistheoretischer und systematischer Beziehung. In erkenntnistheoretischer Hinsicht sind gegen die Atomhypothese einige Einwände zu erheben. Zunächst ist die Annahme von über 70 Elementen dem monistischen Gefühl zuwider. Der alte Wunsch, sämtliche chemischen Grundstoffe auf ein einziges Urelement zu beziehen, ist wohl auch heute noch nach der Widerlegung der *Prout'schen* Hypothese durch *Stas* in jedem Chemiker lebendig. Dieses Problem erscheint in jüngster Zeit in neuem Lichte. Man nimmt vielfach an, dass die Elektronen, die Quelle der optischen und elektrischen Erscheinungen, gleichzeitig die lange gesuchte Urmaterie selbst darstellen.

Schwierig ist ferner die Vorstellung, warum die Materie nur bis zu einer bestimmten Grenze teilbar sein sollte. Auch wenn sich die angedeutete elektrische Auffassung der Materie bewähren sollte, würde damit das Problem doch nur auf das elektrische Gebiet hinausgeschoben, aber noch keineswegs gelöst sein.

Noch grösseren Schwierigkeiten begegnet man, wenn man sich überlegt, wie es möglich ist, dass in einer Verbindung durch die blosse Nebeneinanderlagerung der Atome deren Eigenschaften vollständig verschwinden und durchaus neuen Platz machen können. Zudem ist nicht recht zu verstehen, was denn überhaupt von einem Atome übrig bleibt, wenn man ihm seine Eigenschaften nimmt, da diese doch das einzige sind, woran wir ein Element erkennen und von anderen trennen können. Auf diese und ähnliche Überlegungen gestützt wird in neuerer Zeit vornehmlich von *Ostwald*⁹⁰⁾ versucht,

88) Nature 67 (1902), p. 45.

89) Ann. Phys. (4) 9 (1902), p. 629.

90) Grundlinien der anorg. Chemie, Leipzig 1900.