

39. Svante Arrhenius: Bemerkungen zu Hrn. J. Traube's Kritik der Hypothese der elektrolytischen Dissociation.

(Eingegangen am 15. Januar; mitgetheilt in der Sitzung von Hrn. A. Pinner.)

In seinem Aufsätze über die Dissociationshypothese¹⁾ hat Herr Traube eine solche Menge von Einwänden zusammengehäuft, dass eine eingehende Discussion derselben einen viel grösseren Raum in Anspruch nehmen würde, als ich für eine Antwort in diesen Berichten verlangen dürfte. Ich werde daher nur kurz die verschiedenen Behauptungen Hrn. Traube's durchmustern, um zu zeigen, inwiefern dieselben haltbar sind.

Die Hypothese der elektrolytischen Dissociation verlangt, dass die Moleküle eines Elektrolyten (Salz, Säure oder Base), z. B. Chlornatrium in wässriger Lösung, theilweise in ihre mit positiver resp. negativer Elektrizität geladenen Ionen (Na^+ und Cl^-) zerfallen sind. Wenn also ein Salz in homogener Lösung sich befindet, so sind in jedem Theil der Lösung gleich viele positive und negative Ionen und diese bewegen sich ganz unabhängig von einander, denn durch diese freie Bewegung wird die Homogenität nie gestört werden. Die Ionen treten folglich vollkommen frei auf, genau wie in einem geschlossenen Raume zwei gemischte Gase (z. B. O_2 und H_2). Wenn dagegen die Lösung eines Salzes nicht homogen ist, z. B. eine concentrirte Chlornatriumlösung mit einer verdünnten in Berührung steht, so diffundiren im allgemeinen die Ionen verschieden schnell aus dem concentrirten in den verdünnten Theil hinein. In unserem Beispiel geht das negative Chlor etwas schneller als das positive Natrium aus der concentrirten Lösung heraus. Die Folge davon wird, dass die verdünnte Lösung sich negativ, die concentrirte sich positiv ladet, wie die Erfahrung lehrt. Wenn diese Ladungen nicht weggeführt werden, so üben sie einen Zwang auf die Bewegung der Ionen aus, so dass in unmesstar kurzer Zeit gleich viele Na^+ wie Cl^- in die verdünnte Lösung pro Zeiteinheit hineindiffundiren²⁾. In derselben Weise geht es, wenn man den einen Theil der Ionen aus einer Lösung ausscheiden will, sofern Elektrizität nicht zugeführt wird (Elektrolyse). Die beiden Ionen verhalten sich in diesem Fall wie von einander untrennbar, oder es muss das eine Ion durch ein anderes ersetzt werden. Ganz anders ist das Verhältniss, wenn die gemischten Theile nicht elektrisch geladen sind (z. B. bei der gewöhnlichen Dissociation), in welchem Falle die gemischten Körper durch verschiedene Mittel (z. B. Diffusion), wenigstens theilweise von ein-

¹⁾ Traube, diese Berichte XXIII, 3519.

²⁾ Nernst, Zeitschr. f. phys. Chem. 2, 620 (1888). Planck, Wied. Ann. 39, 161 (1890).

ander gesondert werden können. Hr. Traube hat daher gewissermaassen Recht, wenn er sagt, dass die elektrolytische Dissociation in Wirklichkeit keine gewöhnliche Dissociation ist. Nur in homogener Lösung (Mischung) besitzen die beiden Arten von Dissociation dieselben Eigenschaften. Nun hat man früher hauptsächlich die Producte betrachtet, welche man aus den Lösungen (ohne Zufuhr von Elektrizität) ausscheiden kann, und ist auf diesem Wege zu der Erfahrung gelangt, dass die Salze in Lösung keine gewöhnliche Dissociation erleiden. Aber bisher hat man keine Erfahrung angeführt, welche der Annahme der elektrolytischen Dissociation widerspricht (1.3).¹⁾

Hr. Traube ist auch der Meinung, dass nach unserer Hypothese die Annahme einer besonderen Wirkung der Körper in statu nascendi nicht mehr haltbar ist. Dies würde wohl nicht sehr gegen die Dissociationshypothese sprechen, denn die meisten werden schon ohne Weiteres zugeben, dass die Statusnascendihypothese äusserst wenig befriedigend ist²⁾. Aber, soviel ich übersehen kann, werden diejenigen Fälle, bei welchen die Statusnascendihypothese als provisorischer Ausweg benutzt worden ist, nicht nennenswerth von der Dissociationshypothese berührt (2).

Nach Hrn. Traube kann die Auffassung Ostwald's, dass das Salz $2\text{KCN} + \text{Ni}(\text{CN})_2$ oder richtiger $\text{K}_2\text{Ni}(\text{CN})_4$ die Ionen 2K und $\text{Ni}(\text{CN})_4$ besitzt, nicht allgemein angenommen werden. Irgend ein Grund gegen diese Annahme ist weder von Hrn. Traube noch von Anderen, soviel mir bekannt, angeführt, mehrere aber sowohl von Ostwald³⁾ (Farbe, Reactionen), wie von Kistiakowsky⁴⁾ (Leitungsvermögen, Gefrierpunkt) dafür (4).

Einige Versuche von Raoult und Rüdorff über den Gefrierpunkt von Gemischen von Lösungen stehen nach Hrn. Traube nicht mit der Dissociationshypothese im Einklang. Diese Behauptung ist mir völlig unverständlich (5).

Nach der Dissociationshypothese bedingt jedes Ion im Allgemeinen eine bestimmte charakteristische Färbung der Lösungen, in welchen es vorkommt. Es wäre daher nach Hrn. Traube unverständlich, dass dasselbe Eisenatom (nicht Eisenion) in den allerverdünntesten

¹⁾ Die Ziffern (1. 3.) deuten auf die entsprechenden Nummern der von Hrn. Traube aufgezählten 15 Einwände.

²⁾ Berthelot sagt (Essai de mécanique chimique T. 2, p. 457, 1879) die Statusnascendihypothese betreffend: »Dans l'immense majorité des cas, de tels états (états naissants) sont purement fictifs, et il est inutile de les invoquer dans l'explication des phénomènes«.

³⁾ Ostwald, Zeitschr. f. phys. Chem. 3, 901 (1889).

⁴⁾ Kistiakowsky, Zeitschr. f. phys. Chem. 6, 100 u. 110 (1890).

Lösungen von Schwefelcyaneisen roth, von Berlinerblau blau, von Eisenvitriol grün und von Eisenchlorid gelb gefärbt ist«. Hr. Traube hat hier ein recht gutes Beispiel der Anwendbarkeit der Dissociationstheorie gefunden. Die farbenbedingenden Ionen sind nämlich in den vier Fällen vollkommen verschieden, nämlich im sogenannten Rhodaneisen — $K_3Fe(CNS)_{12}$ — $^1) Fe(CNS)_{12}$ mit der negativen Elektrizitätsmenge 9 geladen, in löslichem Berlinerblau — $KFe_2(CN)_6$ — $Fe_2(CN)_6$ mit der negativen Menge 1, in Eisenvitriol — $FeSO_4$ — Fe mit der positiven Menge 2 und in Eisenchlorid — $FeCl_3$ — Fe mit der positiven Menge 3 (6).

Nach Hrn. Traube verlangt die Dissociationshypothese, dass sämtliche Eigenschaften der verdünnten Lösungen additiver Natur seien. Dies ist nicht richtig. Zur Erläuterung mögen zwei Beispiele dienen. Das specifische Leitungsvermögen des Wassers ändert sich mit einer bestimmten Grösse, wenn eine bestimmte, geringe Menge Salz zugesetzt wird. Wenn die doppelte Menge zugesetzt wird, so ist die Aenderung doppelt so gross. Dagegen ändert sich der specifische Widerstand des Wassers nicht mit dem doppelten Werth für die doppelte Menge, als für die einfache Menge Salz. Von den Eigenschaften erster Art verlangt unsere Hypothese, dass sie additiver Natur seien, von den anderen aber nicht. Keine einzige Ausnahme von dieser Regel ist mir bisher bekannt, und Hr. Traube führt keine an (7).

Die Hydrattheorie steht nach Hrn. Traube im Widerspruch mit der Dissociationshypothese. Einige Vertreter der Hydrattheorie haben wirklich Speculationen über die Eigenschaften von Lösungen veröffentlicht, welche mit der Dissociationshypothese im Widerspruch stehen. So versuchte Mendelejew, der vornehmste Anhänger der Hydrattheorie, im »Journal der russischen physikalisch-chemischen Gesellschaft« einige Einwände gegen die Dissociationshypothese geltend zu machen. In einer Antwort darauf zeigte ich, dass die von Mendelejew als Stütze für die Hydrattheorie angeführten Curven in keiner Weise den Beobachtungen entsprechen ²⁾, eine Thatsache, welche später von dem eifrigsten Vertheidiger der Hydrattheorie, Pickering, in der deutlichsten Weise constatirt wurde ³⁾. Die später erschienenen Versuche von Hrn. Pickering ⁴⁾ und Trötsch ⁵⁾ die Eigenschaften von

¹⁾ Krüss und Morath, Ann. Chem. Pharm. 260, 193 (1890).

²⁾ Arrhenius, Phil. Mag. April 1889, 33.

³⁾ Pickering, Zeitsch. für phys. Chem. 4, 16 (1890): »Wir können also nur schliessen, dass Mendelejeff, indem er dem ersten aus ihnen abgeleiteten Differentialquotienten einen geradlinigen Charakter zuertheilte, einen Irrthum begangen hat.

⁴⁾ Pickering, Nature Bd. 42, 626 (Oct. 23, 1890). Gleichzeitig in Chem. News erschienen.

⁵⁾ Trötsch, Wied. Ann. 41, 284 (1890).

einigen Lösungen mit Hilfe der Hydrattheorie zu erklären, dürften wohl als die überzeugendsten Beweise für die Unanwendbarkeit dieser sogenannten Theorie auf den behandelten Gebieten dienen können (8).

Verschiedene Umstände scheinen darauf hinzudeuten, dass in homogenen Flüssigkeiten und in concentrirten Lösungen Verbindungen von gleichen Molekülen, sogenannte Molecularcomplexe vorkommen. Hr. Traube meint nun, dass die Dissociationshypothese gegen die Annahme von Molecularcomplexen in diesen Fällen auftrete. Dies ist keineswegs der Fall, wie aus der folgenden Aeusserung hervorgeht: »Damit sei nicht die Möglichkeit geleugnet, dass solche Molecularcomplexe auch in den Lösungen von anderen Salzen (als den Sulfaten der Magnesiumgruppe) und besonders in concentrirten Lösungen existiren¹⁾.« Ueber concentrirte Lösungen äussert sich die Dissociationshypothese nur mit grosser Reservation, erst nachdem mehr Material auf diesem Gebiete vorliegt, dürfte man die Geltung der für verdünnte Lösungen gefundenen Gesetze (mit geeigneten Modificationen) auf die nicht verdünnten Lösungen übertragen. Für verdünnte Lösungen sind die Gasgesetze (von van't Hoff) mit Zuhilfenahme der Dissociationshypothese ohne Ausnahme bisher als gültig erwiesen (genau wie für die Gase). Bei höheren Concentrationen treten (anfangs kleine) Abweichungen ein, über deren Ursache man zum Theil noch nicht die ausreichenden Vorstellungen ausgebildet hat (ebenso bei den Gasen). Die Hilfshypothesen, von welchen Hr. Traube sagt, dass sie aufeinander folgen, betreffen gerade diese Abweichungen. Die Gesetze für verdünnte Lösungen (worunter die Dissociationshypothese) sind ebenso unabhängig von den Ansichten, welche man über die Ursache der Abweichungen bei höheren Concentrationen annimmt, wie die einfachen Gasgesetze (von Boyle, Gay-Lussac und Avogadro) von den Annahmen über Anziehung zwischen den Molekülen und über das Eigenvolumen der Moleküle u. s. w., welche zur Erklärung des Verhaltens der Gase bei grösseren Concentrationen gefunden sind (9).

Es ist wohlbekannt, dass die von der Gastheorie geliehene Formel $\mu_{\infty} - \mu_v = \text{konst. } \mu_v^2$, welche nach Ostwald's und van't Hoff's und Reicher's Untersuchungen über die Säuren eine äusserst glänzende Bestätigung gefunden hat, die Leitungsfähigkeit der Salzlösungen zu berechnen nicht ausreicht. Wenn man die Gelegenheit gehabt hätte, die binären Salze (vom Typus Chlorcalcium) auf einem grösseren Gebiete der Veränderlichkeit des Dissociationsgrades zu untersuchen, als dasjenige, welches zur Berechnung benutzt werden kann und worauf der Dissociationsgrad nur etwa im Verhältniss 0.75 zu 1 variiert, so würde man ohne Zweifel längst die störenden Umstände gefunden

¹⁾ Arrhenius, Zeitschr. für phys. Chem. 1, 640 (1887).

haben, welche die absolute Anwendbarkeit der genannten Formel verhindern. Aber es ist wohl zu hoffen, dass diese Frage, worauf die Aufmerksamkeit zur Zeit scharf gerichtet ist, nicht lange ihrer Erklärung harren wird. Der Umstand, dass es zur Zeit und hoffentlich in einer weit entfernten Zukunft offene Fragen giebt, zu deren Lösung noch nicht das genügende Material vorliegt, oder mit anderen Worten dass dieses Gebiet noch lange nicht ausgebaut ist, dürfte nicht all zu sonderbar auffallen.

Die Meinung von Hrn. Traube, dass die Formel $\mu_v^2 = \text{konst. } v$ bessere Resultate, als die oben genannte, ergibt, kann nicht eine nähere Prüfung ausbalten, wie leicht aus den Ziffern von z. B. van't Hoff und Reicher¹⁾ zu ersehen ist (10).

Weiter soll die Dissociationshypothese mit den Erscheinungen der Thermochemie in Widerspruch stehen, indem die Trennung der Ionen sehr häufig mit einer (relativ geringen) Wärmeerzeugung verbunden ist. Da aber Hr. Traube den analogen Fall von Wärmeerzeugung bei der Bildung von einer grösseren Anzahl (drei) Sauerstoffmolekülen aus einer geringeren Anzahl (zwei) Sauerstoffmolekülen anführt, welche jedenfalls sicher constatirt ist, brauche ich nicht näher auf diesen Umstand einzugehen.

Hr. Traube hat übrigens sehr grosse Widersprüche zwischen den Ausführungen von Ostwald und mir bezüglich der Neutralisationswärmen gefunden. Diese Widersprüche habe ich vergebens an den angeführten Stellen²⁾ nachgesucht (11).

In den letzten vier Unterabtheilungen seines Aufsatzes kommt Hr. Traube zu den Umständen, welche wahrscheinlich den Ausgangspunkt für seine Kritik bilden und ihn vermuthlich zu der mühsamen Durchmusterung der Literatur für die Auftreibung von weiteren Argumenten veranlasst haben. Aus Hrn. Traube's Aeusserungen scheint hervorzugehen, dass er bisher nicht veröffentlichte eigene Untersuchungen über das Leitungsvermögen und die Capillarität von Lösungen bearbeitet hat, welche ihn zu höchst unerwarteten Schlüssen geleitet haben. Hr. Traube sagt nämlich S. 3525: »Es ist ein Irrthum (mit der Dissociationshypothese) anzunehmen, dass alle organischen indifferenten Stoffe kein eigenes Leitvermögen haben (als indifferent können hier nur Körper bezeichnet werden, welche weder als Salze noch Säuren noch Basen auftreten, denn alle diese besitzen nach der Dissociationshypothese ein eigenes Leitungsvermögen)»; jeder Stoff ist durch ein bestimmtes mit der Concentration abnehmendes³⁾,

¹⁾ van't Hoff und Reicher, Zeitschr. für phys. Chem. 2, 779 (1888).

²⁾ Zeitschr. für phys. Chem. 3, 592 und 4, 105 (1889).

³⁾ Soll wahrscheinlich sein »mit zunehmender Concentration abnehmendes moleculares Leitvermögen.« Die Cursivirung hier wie im folgenden (und auch das Ausrufezeichen) ist von Hrn. Traube.

moleculares Leitvermögen charakterisirt, dessen Grösse von Stoff zu Stoff ausserordentlich variirt und oft dem der Salze nahe kommt.« Er bestreitet die Richtigkeit des Gesetzes von Kohlrausch und fügt zu: »auch handelt es sich nicht nur um Säuren und deren Salze! (Die Basen sind vergessen). Als Beispiele zweier Nichtelektrolyte werden Ameisensäure und Essigsäure angeführt (S. 3529). Von diesen »Nichtelektrolyten« heisst es: »Es erscheint kaum zweifelhaft, dass für die Nichtelektrolyte wesentlich eine andere Leitung in Betracht kommt als für die stark dissociationsfähigen Körper.« Dass die Anwendungen, welche Ostwald und ich von dem Kohlrausch'schen Gesetz gemacht haben, darunter Ostwald's hypothetische (?) Berechnung von μ_{∞} für organische Stoffe mit all ihren wichtigen Folgerungen Hrn. Traube »höchst bedenklich« erscheinen, ist selbstverständlich, da das Gesetz selbst nicht für »Nichtelektrolyte« (nach Hrn. Traube's Nomenclatur) gültig sein soll. Es dürfte erlaubt sein, die Richtigkeit der Schlüsse von Hrn. Traube zu bezweifeln, wenigstens so lange, als seine zu so überraschenden Consequenzen führenden Versuche noch nicht publicirt sind.

Einige Angaben über Thatsachen, welche diese theoretischen Ausführungen unterstützen sollen, sind etwas ungenau und sind deshalb in Folgendem von mir corrigirt. Hr. Traube sagt, dass nach einer Aeusserung von mir »selbst $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{6}$ normale Lösungen von Alkoholen, Fettsäuren, Estern u. s. w. nicht kryoskopisch untersucht werden können«. Die betreffende Aeusserung lautet so, dass ich wegen der Versuchsfehler (0.005°) »im Allgemeinen auf solche Messungen verzichtet habe, welche eine Gefrierpunktserniedrigung von weniger als etwa 0.2° ergeben«¹⁾. 0.2° entspricht nun für die genannten Körper $\frac{2}{19}$ oder rund 0.1 normalen Lösungen, welche ich auch meistens untersucht habe, wie aus den Tabellen hervorgeht.

Aus Raoult's Untersuchungen glaubt Hr. Traube schliessen zu können, dass der »osmotische Coëfficient sämmtlicher organischer Stoffe in hinreichend verdünnten Lösungen gleich oder sehr nahe demjenigen der Salze ist«. Dabei stützt sich Hr. Traube auf vier von Raoult gegebene Curven (moleculare Erniedrigung) für Alkohol, Weinsäure, Rohrzucker und Oxalsäure, welche Curven in der Nähe von der Ordinatenaxe (bei verdünnten Lösungen) gegen die Ordinatenaxe sich hinaufbiegen. Dieses Verhalten ist für die Elektrolyte in quantitativer Uebereinstimmung mit der Dissociationshypothese, wie ich u. A. für Oxalsäure nachgewiesen habe. Zu dieser Gruppe gehört auch die Weinsäure. Dagegen steht dieses Verhalten

¹⁾ Arrhenius, Zeitschr. f. phys. Ch. 2, 493 (1888).

der Nichtelektrolyte, z. R. Rohrzucker und Alkohol, in Streit mit der Dissociationshypothese. Ich habe diese beiden Körper deshalb näher untersucht, besonders Rohrzucker, denn Alkohol weicht nach Raoult's Messungen kaum merkbar von den Forderungen der Dissociationshypothese ab — und dabei Verdünnungen benutzt, welche denjenigen Raoult's gleich kommen oder dieselben übertreffen. Die nach Raoult's Curven stattfindende Anomalie wurde nicht wiedergefunden. Ich habe ausserdem 15 andere Nichtleiter geprüft (bis zu gleichen Verdünnungen), welche alle Resultate ergaben, welche Hrn. Traube's Vermuthung in keiner Weise unterstützen. Diejenigen Stützen für Raoult's diesbezügliche Beobachtungen, welche, nach Hrn. Traube, in den Arbeiten von Klobukow, Magnanini, Paternò, Eykman u. A. zu finden sind, habe ich an den angeführten Stellen vergebens nachgesucht.

Hr. Traube sagt weiter, dass ich bei meiner ersten Berechnung des Dissociationsgrades angenommen habe, dass Raoult's Lösungen 1 g im Liter enthalten haben, und dass Raoult meist 1 und $\frac{1}{2}$ normale Lösungen (der Elektrolyte) untersucht hat, was in vielen Fällen zu Fehlern von 20, 30 und noch mehr Procenten geführt haben soll. Damit verhält es sich folgendermassen. Raoult hat bei seinen Untersuchungen eine Grösse (A) tabellirt, welche er nennt »abaissement du point de congélation par gramme de substance dans 100 grammes d'eau«¹⁾. Diese Grösse habe ich aus der Leitfähigkeit der Elektrolyte berechnet und demgemäss angenommen, dass die betreffenden Lösungen 10 g pro Liter gehalten haben²⁾. Raoult hat auch an einer anderen Stelle gesagt: »j'ai employé le plus souvent des dissolutions très diluées et renfermant moins de 1 mol. de matière dans 2 kg d'eau«³⁾. Später hat es sich herausgestellt, dass Raoult die Grösse A aus etwas concentrirteren (etwa 3 Mol.) Lösungen mit Hilfe des Blagden'schen Gesetzes berechnet hat. Da nun das Blagden'sche Gesetz bisweilen beträchtlich von der Erfahrung abweicht, in den meisten Fällen sehr wenig, so müssten, wenn die Dissociationshypothese richtig ist, meine Berechnungen ziemlich beträchtlich von den beobachteten Werthen in den ersteren Fällen abweichen, in den anderen (der Mehrzahl) aber nicht. Dies ist auch der Fall und Raoult sagt: »Diese Abweichungen (zwischen Beobachtung und Be-

¹⁾ Raoult, Ann. d. ch. et d. phys. [6] 2, 69 und 116 (1883), 4, 402, 403, 404, 407, 408 und 411 (1884).

²⁾ In Zeitschr. f. phys. Ch. 1, 633 (1887) steht leider durch einen Fehler 1 g anstatt 10 g. Aus dem Zusammenhang — die Angabe, dass die berechneten Ziffern Raoult's Ziffern entsprechen — ebenso wie aus der Grösse des Dissociationsgrades geht aber hervor, dass die Lösungen, worüber Rechnungen angestellt wurden, als einprocentig angenommen wurden.

³⁾ Raoult, Ann. d. ch. et d. phys. [6], 2, 69 (1883).

rechnung) finden ihre Erklärung darin, dass für diese Verbindungen die Werthe von C/P (welche nach Blagden's Gesetz constant sein sollten) schnell und bedeutend mit zunehmender Verdünnung wachsen¹⁾. Ich habe deshalb 40 Körper (darunter alle diejenigen, welche die genannten Abweichungen zeigten) in verschiedenen Verdünnungen untersucht und die mit den beobachteten verglichenen, berechneten Ziffern für genau dieselben Concentrationen ermittelt. Das Ergebniss dieser Untersuchung war, dass für sehr verdünnte Lösung die Uebereinstimmung ausgezeichnet war. Hr. Traube giebt auch zu, dass die Uebereinstimmung einigermaassen ist. Aber »vorläufig lässt sich über die (17) Nichtelektrolyte nichts aussagen«, weil das Kohlrausch'sche Gesetz für »Nichtelektrolyte« (nach Hrn. Traube's Nomenclatur) nicht giltig ist. Warum, wird man wohl aus Hrn. Traube's ausführlicher künftiger Abhandlung erfahren (12, 13, 14, 15).

Auf die schliesslichen Andeutungen Hrn. Traube's, dass mehrere aufgezählte Arbeiten ihm »manches zu enthalten scheinen, was sich besser mit anderen Annahmen als mit der Dissociationshypothese vertragen würde«, kann ich nicht näher eingehen.

Zuletzt muss ich auf eine die ganze Darstellung Hrn. Traube's durchziehende unrichtige Auffassung aufmerksam machen. Hr. Traube ist immer bemüht, hervorzuheben, wie ungewöhnlich häufig sowohl Theorie und Erfahrung, als auch verschiedene Forscher einander auf diesem Gebiete widersprochen haben. Nichts kann mehr unrichtig sein. Denn es ist wohl bisher von Allen zugegeben worden, theils dass die kühnsten theoretischen Schlüsse auf diesem Gebiete in der ausgiebigsten Weise von der Erfahrung bestätigt worden sind²⁾, theils dass eine seltene Eintracht zwischen den verschiedenen Bearbeitern desselben stattgefunden hat. Und es sind ohne Zweifel diese beiden Umstände, welche vor Allem dazu beigetragen haben, den neuen Ansichten eine so ungewöhnlich schnelle und allgemeine Verbreitung zu verschaffen.

Upsala, im Januar 1891.

¹⁾ Raoult, Zeitschr. f. phys. Ch. 2, 488 (1888).

²⁾ vgl. z. B. Nasmi, Analogia tra la materia allo stato gossoso etc. p. 12 und 108 (1890).