

Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft.

1930, Nr. 1.

— Abteilung A (Vereinsnachrichten) —

8. Januar.

Dr. Heinz Chomse
BERLIN-FRIEDENAU
Bornstr. 28**SVANTE ARRHENIUS**

(1859–1927).

Es gibt nicht viele Wissenschaftler, die so tief wie der Schöpfer der Lehre von der elektrolytischen Dissoziation die Grundlagen ihrer Wissenschaft erschüttert und die Wege für ihre künftige Entwicklung so weithin vorgezeichnet haben. Svante Arrhenius stammte väterlicher- und mütterlicherseits aus einem Bauern-Geschlecht, das seit Anfang des 17. Jahrhunderts in der südschwedischen Landschaft Småland ansässig war. Dort liegt noch heute das Dorf Arena, nach dem sich einer seiner Vorfahren Arenius nannte.

Im Anfang des 18. Jahrhunderts erfreute sich ein Psalmen-Dichter namens Jakob Arrhenius, der aus der gleichen Gegend stammte, einer großen Popularität in Schweden. Der Stammbaum von Jakob Arrhenius führt auf ein am Schlusse des 16. Jahrhunderts aus Bayern eingewandertes Adelsgeschlecht von Kapfelman zurück. Eine Verwandtschaft zwischen den beiden Geschlechtern Arenius und Arrhenius ist nicht nachweisbar und scheint auch nicht zu bestehen. Es war wohl nur die Erinnerung an den bekannten Dichter ähnlichen Namens, die am Ende des 18. Jahrhunderts die Vorfahren des Gelehrten veranlaßte, die Schreibweise ihres Namens Arenius in Arrhenius zu verändern. Daher besteht auch keine nachweisbare Verwandtschaft zwischen Svante Arrhenius und dem Entdecker der seltenen Erden, der auch Jakob Arrhenius hieß und von dem Psalmen-dichter abstammte. Dieser zweite Jakob Arrhenius lebte um die Jahrhundertwende 1800, war von Hause aus Artillerie-Offizier, beschäftigte sich aber gern mit naturwissenschaftlichen Fragen und zeichnete sich besonders durch seine großen chemischen und mineralogischen Kenntnisse aus. Nach diesem Jakob Arrhenius, der bei Ytterby in Schweden den Ytterit, das zuerst gefundene Ausgangsmaterial zur Gewinnung seltener Erden entdeckte, wurde ein dem Ytterit verwandtes Mineral später Arrhenit genannt.

Es ist somit nicht bekannt, daß sich einer der Vorfahren von Svante Arrhenius mit Wissenschaften beschäftigt hätte. Sie waren im Hauptberuf alle Ackerbauern. Der Großvater von Svante Arrhenius, Gustaf, war jung gestorben und hatte zwei unmündige Söhne hinterlassen. Die Erziehung der beiden Kinder überwachte der Urgroßvater des Gelehrten. Er verließ sein urväterliches Gut in Klövdala und zog nach Linköping, wo die beiden Knaben zunächst das Gymnasium absolvierten. Dann besuchten beide die Universität Upsala. Der Ältere, Johan, studierte Botanik, wurde in Upsala Privatdozent und später Professor und Rektor der Landwirtschaftlichen Hochschule in Ultuna. Schließlich wurde er als ständiger Sekretär der Akademie der Landwirtschaft nach Stockholm berufen.



Svante Arrhenius

Der jüngere und begabtere, Sven, der Vater des Gelehrten, mußte aus Mangel an Mitteln auf ein längeres Studium verzichten. Er ging nach Stockholm, machte dort einen Landmesser-Kursus durch, bestand das Ingenieur-Examen und war zunächst als Landmesser tätig. Er verheiratete sich mit seiner Base, geborenen Thunberg, die wie er in Klövåla geboren war und ebenfalls väterlicher- und mütterlicherseits aus smäländischem Bauern-Geschlecht stammte. Vater und Mutter des Gelehrten waren also sehr nahe miteinander verwandt. Sven Arrhenius war nicht nur ein sehr begabter, sondern auch ein sehr betriebsamer Mann. Er begnügte sich nicht mit seiner Landmesser-Tätigkeit, sondern suchte nach Nebenbeschäftigungen. Als sich ihm die Möglichkeit bot, übernahm er das Amt eines Akademie-Vogtes der Universität Upsala, was ungefähr unserem Quästor entspricht. Als solchem lag ihm hauptsächlich das Einziehen und die Verwaltung der Pachtgelder ob, welche die Landgüter einbrachten, die zum größten Teil Gustaf Adolf aus dem alten Besitz der Vasas der Universität Upsala geschenkt hatte. Infolge seiner Rechtlichkeit und Güte war dieser Akademie-Vogt bei den Bauern sehr beliebt. Nicht genug mit dieser Tätigkeit, pachtete Sven Arrhenius außerdem noch selbst ein in der Nähe von Upsala gelegenes Gut Vik, das damals dem Baron von Essen gehörte. Im Verwalter-Hause dieses Gutes wurde Svante August Arrhenius am 19. Februar 1859 geboren. Etwa zehn Jahre später gab der Vater die Gutsverwaltung auf und zog mit seiner Familie nach Upsala, wo er indessen mehrere Anwesen erworben hatte. Durch seine Sparsamkeit und geschäftliche Tüchtigkeit brachte er schließlich ein hinreichendes Vermögen zusammen, so daß nach seinem Ableben seine Frau und seine drei Kinder sorgenfrei leben konnten. Svante war das mittlere Kind. Der ältere Bruder, der keinen Beruf ergriffen hat, und die jüngere Schwester, beide unverheiratet, bewohnen zusammen noch heute das väterliche Haus in Upsala.

Svante lenkte schon als Kind durch seine ungewöhnliche Begabung die Aufmerksamkeit seiner Umgebung auf sich. Er kletterte als kleiner Knabe auf seines Vaters Knie, wenn dieser an seinem Schreibtisch saß und die langen Kolonnen zusammenrechnete, die die Pachtsummen der „Universitäts-Bauern“ enthielten. Hierbei lernte er, des Vaters Arbeit folgend, von selbst das Addieren, in dem er es später zu einer geradezu künstlerischen Fertigkeit brachte. Er wurde zusammen mit seinem um zwei Jahre älteren Bruder erzogen und faßte spielend das auf, was dem Älteren noch einige Schwierigkeit bereitete. So lernte er schon mit drei Jahren lesen und noch vor seinem Eintritt in die Schule rechnen, besonders mehrstellige Zahlen im Kopfe addieren. Er sah, wie er selbst sagte, die ihm genannten Zahlen immer wie auf einer Rechentafel aufgezeichnet vor sich stehen, so daß ihm das Zusammenzählen selbst nicht die geringsten Schwierigkeiten bereitete.

Seinen ersten Unterricht erhielt er durch einen Hauslehrer, einen Theologie-Studenten namens Meuller, der das Hauptgewicht auf Religion legte und durch seine strenge und nüchterne Art dem Knaben von vornherein einen Widerwillen gegen alles Theologische einflößte. Im Herbst 1867 wurde er in die 2. Klasse der Kathedralschule in Upsala aufgenommen. Da die Eltern noch auf Vik wohnten, verlebte er die ersten Schuljahre in der Stadt mit seinem Bruder und seinem Hauslehrer zusammen in einem kleinen Haushalt. Dem strengen Meuller war inzwischen der milde Theologie-Student Wahlström gefolgt, der die ganze Schulzeit über und noch später, bis der

junge Student das Kandidaten-Examen abgelegt hatte, als Informator im Haus blieb.

Obwohl dem Knaben das Lernen nicht schwer fiel, so hatte er doch keine schöne Erinnerung an seine Schulzeit. Die Lehrer gebrauchten oft und unnach-sichtig den Stock, und es kam mehrfach vor, daß Kameraden durch unbedacht ausgeteilte Schläge für lange Zeit, ja sogar für ihr ganzes Leben geschädigt wurden. Da auch der Schulunterricht, dem frühreifen Knaben zu wenig Anregung bot, so stellte er sich von Anfang an in einen gewissen Gegensatz zu seinen Lehrern und behielt eine Abneigung gegen Schulen und Schullehrer sein ganzes Leben lang bei. Der Widerwille gegen einen üblen Stock-Pädagogen war auch die Ursache, daß der Knabe seinen Vater bat, ihn nicht den humanistischen, sondern den realgymnasialen Zweig der Schule verfolgen zu lassen, was zu damaliger Zeit ungewöhnlich war. Außer ihm wählten nur noch einige wenige, die Offiziere werden wollten, die reale Fortbildung. Sein Lieblingsfach blieb die Mathematik. Daneben interessierte ihn sehr die Physik, in die er durch den Rektor der Schule Floderus eingeführt wurde. Dieser war ein in seinem Fache sehr kundiger Mann, der auch ein vielbenutztes Schullehrbuch der Physik geschrieben hat, aber ein wenig sympathischer Mensch, mit dem der Knabe nicht recht in Kontakt kommen konnte. Eine gewisse Abwechslung in die Eintönigkeit der Schulzeit brachte das Kriegsjahr 1870/71. Der größte Teil der Kameraden, wie überhaupt des schwedischen Volkes, stand auf französischer Seite. Nur der junge Svante hielt es, ohne eine rechte Ursache für seine gefühlsmäßige Einstellung angeben zu können, mit den Deutschen und war von Anfang an überzeugt, daß Deutschland siegen würde.

1876 bestand Arrhenius das Abiturium und konnte sich nun ganz den Freuden des freien Studenten-Lebens hingeben, die er in seinen letzten Schuljahren mit Interesse und Bewunderung von fern beobachtet hatte. Spielten doch damals die Studenten in der kleinen Provinzialstadt, ähnlich wie an den kleinen deutschen Universitäten, die Hauptrolle. Das schwedische Studentenkörps ist nach Nationen (Landsmannschaften) eingeteilt, in denen sich die Studenten je nach der Gegend, aus der sie stammen, zusammenfinden. Arrhenius gehörte zur Upplands Nation und wurde in dieser sehr bald zum zweiten Kurator (Chargierten) und nach einigen Jahren zum Klubmeister (ersten Chargierten) gewählt. Übersäumend von jugendlicher Fröhlichkeit, genoß er im Kreise seiner Kommilitonen die Studienzeit im „frohen Upsala“, in dem die Studenten durch ihre ulkigen, bisweilen recht tollen Streiche die Philister zugleich amüsierten und erschreckten. Wenn Arrhenius in späteren Jahren auf seine Studentenzeit zu sprechen kam, so schien er fast unerschöpflich im Vorbringen lustiger Episoden, die er in seiner humorvollen Art geradezu virtuos erzählte.

Bei alledem aber vergaß er sein Studium nicht, sondern legte das Kandidaten-Examen, für das eigentlich vier Semester erforderlich sind, schon nach drei Semestern (im Januar 1878) ab. Die Examensfächer waren Latein, Geschichte, Mathematik, Physik, Chemie und Mineralogie. Zur Belohnung bewilligte ihm sein Vater eine Reise nach Paris.

Dann begannen die Vorbereitungen zum Lizentiaten-Examen. Er wählte Physik als Hauptfach, studierte aber in den ersten Semestern, um seinem Wissen eine breitere Grundlage zu geben, hauptsächlich die beiden Nebenfächer, nämlich Mathematik bei Daug und Chemie bei Cleve. Im

Cleveschen Laboratorium absolvierte er die erforderlichen praktischen Übungen, das Abschluß-Examen in den beiden Nebenfächern legte er 1881 ab. Nun war es an der Zeit, das physikalische Praktikum durchzumachen und mit der Anfertigung der für die Promotion erforderlichen Experimentaluntersuchung zu beginnen. Aber der Experimentalphysiker Thalén, der Nachfolger von Anders Jöns Ångström, weigerte sich, in seinem Institut Gelegenheit zu einer Experimentaluntersuchung außerhalb des von ihm kultivierten Gebietes der Spektralanalyse zu geben. So blieb ihm nichts übrig, als im Herbst 1881 von seinen Kommilitonen Abschied zu nehmen und nach Stockholm zu gehen, wo er im Laboratorium des alten Edlund, der Physiker an der Akademie der Wissenschaften war, Aufnahme fand. Hier arbeitete er zusammen mit Mebius und Homén und assistierte zunächst Edlund bei seinen Untersuchungen über die zur Funkenbildung erforderlichen Potentiale. Im November 1881 bekam er Gelegenheit, in Idun, einer angesehenen wissenschaftlich-künstlerischen Gesellschaft, seinen ersten öffentlichen Vortrag zu halten. Als Thema wählte er die Beziehung zwischen Sonnenflecken und irdischen Phänomenen. Seine erste selbständige Publikation handelte über Kugelblitze¹⁾. Wie man daraus sieht, hatte er schon damals lebhaftes Interesse für astronomische und meteorologische Fragen.

Sein eigentliches Arbeitsgebiet aber blieben zunächst elektrische Messungen. Als Thema für seine erste Experimentalarbeit wählte er das Abklingen der galvanischen Polarisation. Er hoffte, hierdurch einen Weg zur Bestimmung des Molekulargewichts gelöster Stoffe zu finden, ohne zu wissen, daß Raoult schon einen solchen angegeben hatte. In dieser Arbeit, die im Winter-Semester 1882/83 seine Zeit voll ausfüllte, bestimmte er das Leitvermögen von Elektrolyten bis zur äußersten Verdünnung und erweiterte damit die durch die Untersuchungen von Lenz und Kohlrausch, welche nur konzentrierte Lösungen gemessen hatten, gewonnenen Erkenntnisse. Aber die hierzu verwandte Methodik ließ zu wünschen übrig. Auf Vorschlag Edlunds benutzte er nämlich zur Widerstandsmessung statt der bequemen und exakten Kohlrauschschen Wechselstrom-Methode einen von Edlund konstruierten, mit der Hand bewegten Kommutator (Depolarisator). Zur Aufnahme der zu untersuchenden Lösungen konstruierte er das noch heute viel gebrauchte „Arrheniussche Leitfähigkeits-Gefäß“.

Der Gedanke, das Ergebnis seiner Untersuchungen zur Erklärung des chemischen Verhaltens der Elektrolyte zu benutzen, kam ihm, zunächst noch in etwas verschwommener Form, am 17. Mai 1883. Nachdem er ihn etwas besser durchgedacht hatte, ging er, als er während der Sommerferien zu Hause war, zu Cleve, um diesem seine neue Theorie vorzutragen. Cleve hörte den jungen Studenten nicht lange an, sondern unterbrach ihn mit den ironischen Worten: „Das ist ja eine großartige Theorie!“ Hierdurch nicht entmutigt, wandte sich Arrhenius zunächst an den Physiologen Hammarsten, der ihn geduldig anhörte und zur Fortsetzung seiner Arbeiten ermunterte.

Veröffentlicht wurde das Ergebnis dieser Untersuchung in zwei in französischer Sprache verfaßten Aufsätzen: „Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes. Première partie: La conductibilité des solutions

¹⁾ Öfversigt öfver K. Vetenskapsakademiens Förhandlingar (später kurzweg als „Öfversigt“ angeführt) 1883, Nr. 7. S. 77.

aqueuses extrêmement diluées“²⁾ und „Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes. Seconde Partie: Théorie chimique des électrolytes“³⁾, die beide in deutscher Übersetzung in Ostwalds Klassikern erschienen sind⁴⁾. Dieselben wurden am 6. Juli 1883 von der Schwedischen Akademie der Wissenschaften zur Veröffentlichung angenommen, aber erst im folgenden Jahre gedruckt. Bis in den Dezember hinein hatte der Autor Gelegenheit, im theoretischen Teile kleine Änderungen und Verbesserungen vorzunehmen. Diese Aufsätze, die, wenn auch verschleiert, die Grundlagen der Dissoziations-Theorie enthalten, schrieb also Arrhenius mit 24 Jahren. Das Ergebnis seiner Überlegungen legte er — wie einst Luther — in Form von Thesen nieder.

Die Befunde des ersten, experimentellen Teiles bilden die 13 ersten Thesen. Der zweite, theoretische Teil beginnt mit These 14:

„Das Leitvermögen einer ammoniakalischen Lösung beruht auf der Anwesenheit einer geringen Menge NH_4OH und nimmt mit der Verdünnung zu“

durch die für Ammoniak (NH_3) die Möglichkeit einer elektrolytischen Dissoziation vorbereitet wird. Der Grundgedanke der elektrolytischen Dissoziations-Theorie, zunächst auf Hydrate eingeschränkt, wird in These 15 ausgesprochen:

„Die wäßrige Lösung irgend eines Hydrates setzt sich außer aus dem Wasser aus zwei Bestandteilen zusammen, einem aktiven, elektrolytischen, und einem inaktiven, nicht elektrolytischen. Diese drei Bestandteile, das Wasser, das aktive Hydrat und das inaktive Hydrat, bilden ein chemisches Gleichgewicht in der Weise, daß bei Verdünnung der aktive Teil sich vermehrt und der inaktive Teil sich vermindert.“

Im Anschluß daran wird klar der Aktivitätskoeffizient (Dissoziationsgrad) folgendermaßen definiert:

„Der Aktivitätskoeffizient eines Elektrolyten gibt das Verhältnis der Anzahl Ionen an, die tatsächlich im Elektrolyten vorhanden sind, zu der Anzahl Ionen, die darin wären, wenn der Elektrolyt vollkommen in einfache elektrolytische Molekeln gespalten wäre.“

Durch These 23 wird die folgende wichtige Folgerung der Ionen-Lehre hervorgehoben:

„Sobald die relativen Mengen der Ionen A, B, C, D gegeben sind, ist das Endresultat das gleiche, ob sie nun in der Form der Elektrolyte AB und CD oder in der Form der Elektrolyte AD und CB hinzugefügt worden sind.“

Die Grundlage zur Berechnung des Hydrolysegrades mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes findet sich in These 29:

„Jedes in Wasser gelöste Salz zersetzt sich teilweise in Säure und Base. Die Menge dieser Zersetzungsprodukte ist um so beträchtlicher, je schwächer Säure und Base sind und je größer die Menge des Wassers ist.“

These 34 enthält den jetzt allgemein bekannten Satz:

„Die aktiven Säuren verdrängen die weniger aktiven aus den Lösungen ihrer Salze.“

²⁾ Bihang till K. Vetenskapsakademiens Handlingar (im folgenden kurz als „Bihang“ angeführt) 8, Afd. 1, Nr. 13 [1884].

³⁾ Bihang 8, Afd. 1, Nr. 14 [1884].

⁴⁾ Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Leipzig 1907, Nr. 160: Untersuchungen über die galvanische Leitfähigkeit der Elektrolyte. Übersetzt von Anna Hamburger, herausgeb. von Otto Sackur.

Und die letzte, die 56. These gibt klar die Beziehung zwischen der Neutralisationswärme und der Dissoziationswärme des Wassers:

„Die Neutralisationswärme, die durch die Überführung einer vollkommen aktiven Base oder Säure in Wasser und ein nicht-komplexes Salz entwickelt wird, ist nichts anderes als die Aktivierungswärme des Wassers.“

Auch im Text zerstreut findet man Bemerkungen, die zu viel angewendeten Lehrsätzen der allgemeinen und analytischen Chemie geführt haben. So wird z. B. auf S. 60 (der Originalabhandlung) darauf hingewiesen, daß die Geschwindigkeit der Ester-Bildung der aktiven Masse der katalytisch wirkenden Säure proportional ist, was später Ostwald zu seinen Untersuchungen über den Parallelismus zwischen Leitfähigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit veranlaßte. Aus der Annahme, daß die typischen analytischen Reaktionen Ionen-Reaktionen sind, wird gefolgert, daß diese Reaktionen in Komplexsalz-Lösungen ausbleiben müssen. Dies wird S. 63 am Beispiel des gelben Blutlaugensalzes erörtert. In These 31 findet sich die erste quantitative Angabe über die Stärke der Dissoziation:

„Ein Salz spaltet sich vollständig, wenn die Menge des lösenden Wassers unendlich groß ist.“

Eine allgemeine Methode zur Bestimmung des Dissoziationsgrades konnte freilich Arrhenius in dieser Abhandlung noch nicht angeben. Wohl aber wird die Avidität der Säuren, welche Ostwald aus der Verteilung einer Base zwischen zwei Säuren und Thomson aus thermochemischen Daten erschlossen hatte, aus Leitfähigkeitsmessungen abgeleitet und die hinreichende Übereinstimmung der auf diesen drei Wegen gewonnenen Zahlen gezeigt (S. 78):

„Aviditäten der Säuren.“

Säure	Ostwald	Thomson	Arrhenius
HNO ₃	100	100	100
HCl	98	100	92
HBr	—	89	86
HJ	—	79	92
H ₂ SO ₄	50—90	49	47.6—85
H ₃ PO ₄	—	13	21.7
H(CH ₂ . CO ₂)	1.23	3	8.2“

Das Ergebnis aller dieser theoretischen Betrachtungen faßt Arrhenius zum Schluß in die Worte zusammen (S. 87):

„In der vorliegenden Arbeit habe ich zuerst die Annahme wahrscheinlich gemacht, daß Elektrolyte in zwei verschiedenen Formen auftreten können: in einer aktiven und in einer inaktiven, so daß der aktive Teil unter denselben äußeren Bedingungen (Temperatur und Verdünnung) immer einen gewissen Bruchteil der Gesamtmenge des Elektrolyten ausmacht. Der aktive Teil leitet die Elektrizität und ist mithin tatsächlich elektrolytisch, der inaktive jedoch nicht.“

Im Mai des folgenden Jahres (1884) reichte er diese Arbeiten der philosophischen Fakultät der Universität Upsala ein, um daselbst den Doktorgrad und die *facultas docendi* zu erwerben⁵⁾. Die Fakultät gab sie Thalén und

⁵⁾ Mit dem Prädikat „cum laude“ im Doktor-Examen erhält man in Schweden ohne weiteres die *facultas docendi*. Wer bei der Promotion ein schlechteres Resultat erhält, ist in der Habilitation durchgefallen. Er kann aber später auf einen besonderen Antrag hin durch Fakultäts-Beschluß doch noch zur Habilitation zugelassen werden.

Cleve zur Beurteilung. Auf Grund des Gutachtens dieser beiden wurde der Dissertation das Prädikat „non sine laude“ zuerteilt, während zur Zulassung zur Dozentur das Prädikat „cum laude“ erforderlich gewesen wäre. Trotz der mit „cum laude“ bestandenen mündlichen Prüfung war der Kandidat bei der Habilitation durchgefallen.

Nur von dem Chemie-Professor der Universität Stockholm, Otto Pettersson, ist bekannt, daß er die Bedeutung dieser Arbeit damals schon richtig einschätzte. Er schloß sein Referat über dieselbe⁶⁾ mit den Worten:

„In der Arbeit von Arrhenius finden sich einzelne Kapitel (z. B. die Entdeckung des Zusammenhanges zwischen Leitvermögen und Reaktionsgeschwindigkeit), die an und für sich so wertvoll sind, daß, auch wenn die Fakultät das beste Prädikat erteilt hätte, dasselbe nicht zu hoch gewesen wäre.“

Da Arrhenius seiner Sache sehr sicher war, so ließ er sich durch das abschreckende Urteil der Fakultät in Upsala nicht abschrecken, sondern schickte seine Abhandlung an die ihm zur Beurteilung zuständig erscheinenden ausländischen Autoritäten, nämlich an Clausius in Bonn, an Lothar Meyer in Tübingen, an Ostwald in Riga und an van't Hoff in Amsterdam. Von allen bekam er freundliche Antworten. Aber Ostwald war der einzige, der erkannte, daß diese Arbeit den Keim einer neuen, fruchtbaren Theorie enthielt. Er hat sich hierüber in seinen „Lebenslinien“⁷⁾ folgendermaßen geäußert:

„Ich werde in meinem ganzen Leben den Tag nicht vergessen, an welchem ich zum ersten Male den Namen Svante Arrhenius kennen lernte. Ich hatte damals — es war im Juni 1884 — an jenem einen Tage gleichzeitig ein böses Zahngeschwür, ein niedliches Töchterchen und eine Abhandlung von Svante Arrhenius mit dem Titel „Etudes sur la conductibilité des électrolytes“ bekommen. Das war zu viel, um auf einmal damit fertig zu werden, und ich hatte eine fieberhafte Nacht mit schlechten Träumen davon.

Das Zahngeschwür wurde ich bald los, und das Töchterchen bewirkte keine großen Schwierigkeiten, da es leicht zur Welt gekommen war und die Mutter sich erstaunlich schnell erholte; meine Rolle als Vater brauchte ja erst in späteren Entwicklungsstadien ernsthaft zu werden. Aber die Abhandlung machte mir Kopfschmerzen und mehr als eine unruhige Nacht, was bei mir damals eine große Seltenheit war. Was darin stand, war so abweichend vom Gewohnten und Bekannten, daß ich zunächst geneigt war, das Ganze für Unsinn zu halten. Dann aber entdeckte ich einige Berechnungen des offenbar noch sehr jungen Verfassers, welche ihn bezüglich der Affinitätsgrößen der Säuren zu Ergebnissen führten, die gut mit den Zahlen übereinstimmten, zu denen ich auf ganz anderem Wege gelangt war. Und schließlich konnte ich mich nach eingehendem Studium überzeugen, daß durch diesen jungen Mann das große Problem der Verwandtschaft zwischen Säuren und Basen, dem ich ungefähr mein ganzes Leben zu widmen gedachte, und von dem ich bisher in angestrengter Arbeit erst einige Punkte aufgeklärt hatte — der wesentlichste war das Vorhandensein einer von der Art des Vorganges unabhängigen Verwandtschaftsgröße — in viel umfassenderer Weise als von mir angegriffen und auch teilweise schon gelöst war.“

Um den jungen, vielversprechenden Gelehrten persönlich kennen zu lernen, reiste Ostwald nach kurzem Briefwechsel im August 1884 nach Upsala. Dieses Ereignis war entscheidend für Arrhenius' Zukunft. Er schildert selbst die Erlebnisse jener Tage:

„Am ersten Abend in Upsala tranken wir den bekannten schwedischen Punsch, und Ostwald wurde von den während der Ferien in der Universitätsstadt zurückgebliebenen Studenten in ehrfurchtvoller Entfernung bewundert. — Alle wußten natür-

⁶⁾ Nordisk Revy vom 15. Dez. 1884, abgedruckt in Svensk Kemisk Tidskrift 1903, 208.

⁷⁾ Berlin 1926, S. 216.

sich bald, wer der jugendliche blonde Fremde mit dem intelligenten Gesicht war. Die Café-Musik spielte Studentenlieder, von denen man hoffte, daß sie Ostwalds Beifall finden würden. Als die Abendschatten sich auf die fröhliche Versammlung herunter senkten und die Luft kühl wurde, ließ der aufmerksame Wirt seine Gäste in dicke, rote, wollene Filze einhüllen, damit sie sich nicht erkälten. Der Kontrast mit dem grünen Laub und den schönen Blumenbeeten hob noch mehr die phantastische purpurne Farbenpracht des jugendlichen, fröhlichen Publikums empor. Die Stimmung wurde von den goldenen Wellen des Punsch zum Himmel gehoben. Das Ganze kam mir wie eine Sage aus tausend und eine Nacht vor.“⁸⁾

Selbstverständlich besuchte Ostwald auch die anderen Fachgenossen. Als Arrhenius ihn einmal bei Cleve abholen wollte, kam er mitten in ein Gespräch und hörte Cleve erregt ausrufen: „Ja, aber das ist doch ein Unsinn, mit Arrhenius anzunehmen, daß im gelösten Chlorkalium Chlor und Kalium von einander getrennt sind!“ Durch seinen Eintritt wurde das Gespräch unterbrochen.

Doch der Besuch war nicht ohne Erfolg für Arrhenius, denn unter dem Drucke der öffentlichen Meinung gelang auf ein neues Gesuch hin gegen Ende des Jahres die Habilitation, freilich nicht für Physik, sondern für physikalische Chemie. Die Physik-Professur wurde von Thalén für den Sohn seines berühmten Vorgängers, den jungen Knut Ångström, aufgespart, dem kein Konkurrent großgezogen werden durfte.

Von größerer Bedeutung für Arrhenius und die Zukunft der physikalischen Chemie als die durch Ostwalds Dazwischentreten endlich erreichte Privatdozentur wurde der Freundschaftsbund zwischen ihm und Ostwald, der damals geschlossen wurde. In den Tagen, die Ostwald in Upsala verbrachte, besprachen beide ein Arbeitsprogramm, das sie gemeinsam ausführen wollten und zum größten Teil auch wirklich später ausgeführt haben. Vor ihrem Geiste stand klar die große Entwicklung, welche die physikalische Chemie in den folgenden Jahrzehnten nehmen würde. Arrhenius war schon damals fest davon überzeugt, daß in wenigen Jahren die Grundgedanken seiner Theorie in jedes elementare Lehrbuch der Chemie aufgenommen werden würden. Er war aber unvorsichtig genug, dies gelegentlich bei einem Gespräch mit einem Fachgenossen auch zu äußern. Sofort wurden seine Worte im Lehrer-Kollegium weiter verbreitet und kommentiert. Die hochgelehrten Professoren sahen ihn eben nur als einen Phantasten an, der nicht ernst zu nehmen sei.

Er erkannte bald, daß sich ihm unter solchen Verhältnissen in seiner Heimatstadt Upsala keine weiteren Zukunfts-Aussichten boten. Traurig kehrte er nach Stockholm zu Edlund zurück. Vorher hatte er mit Ostwald zusammen auf dessen Anregung hin die deutsche Naturforscher-Versammlung in Magdeburg besucht. Seit dieser Zeit war Arrhenius ein häufiger Gast der damals alljährlich stattfindenden Naturforscher-Versammlungen geworden. Bald wurde er auf diesen Tagungen eine allgemein bekannte und von seinen zahlreichen deutschen Freunden stets herzlich begrüßte Persönlichkeit.

In seiner äußeren Erscheinung fiel hier Arrhenius nicht als Ausländer auf. Seine Gestalt war mittelgroß, und er neigte schon in jungen Jahren zur Korpulenz. Unter der hohen, schön gewölbten Stirn blickten die tief liegenden, klugen, blauen Augen leuchtend hervor. Schlicht blondes Haar umrahmte

⁸⁾ Aus meiner Jugendzeit, Leipzig 1913, S. 5.

das ovale, stark gerötete Gesicht. Wie weit entfernt von jeder persönlichen Eitelkeit er war, beweist, daß er gern und mit humorvoller Selbstironie von einem Erlebnis erzählte, das sich bei der Naturforscher-Versammlung in Berlin zugetragen hatte. Als er im Zentralhotel, in dem die Abteilung Physik einen geselligen Abend abhielt, die Garderobe abgegeben hatte und die Tür des für die Abteilung reservierten Zimmers öffnen wollte, winkte ihn der Garderobier zurück und rief ihm, auf die Nebentür deutend, zu: „Sie gehen falsch, mein Herr, nebenan tagt die Fleischer-Innung!“

Im Edlundschen Laboratorium studierte er den Einfluß der inneren Reibung auf das elektrolytische Leitvermögen⁹⁾. Diese Untersuchungen wurden dadurch unterbrochen, daß sein Vater schwer erkrankte und am 5. April 1885 verschied. Um die begonnenen Arbeiten seines Vaters zu Ende zu führen, verbrachte er einen großen Teil des folgenden Sommers in Upsala. Die Erbschaft war größer als er erwartet hatte. So kam er in den Besitz genügender Mittel, so daß er auch ohne staatliche Anstellung sein Auskommen hätte finden können.

Durch Vermittlung Edlunds erhielt er gegen Ende des Jahres das Letterstedtsche Reise-Stipendium, um seine physikalisch-chemischen Untersuchungen im Auslande fortsetzen zu können. Die mangelnde Anerkennung der Heimats-Universität einerseits, die lebhaftete Teilnahme andererseits, die schon seine ersten Arbeiten im Auslande gefunden hatten, zusammen mit den soeben geschilderten äußeren Umständen, waren der Anlaß, daß Arrhenius die nächsten Lebensjahre fast ausschließlich auf Studienreisen im Auslande zubrachte.

Seine Wanderschaft führte ihn zuerst zu Ostwald nach Riga, bei dem er das Sommer-Semester 1886 nach dem schon 1884 in Upsala entworfenen Arbeitsplan arbeitete. Die an sich zwar recht primitiven Apparate zur Leitfähigkeitsmessung, die er dort vorfand, die aber im Verhältnis zu den Mitteln, mit denen er sich in Stockholm hatte behelfen müssen, schon einen großen Fortschritt bedeuteten, veranlaßten ihn, seine Leitfähigkeitsmessungen weiter fortzusetzen. Die hierbei erhaltenen Ergebnisse hat er in den Abhandlungen: „Über das Leitungsvermögen von Mischungen aus wäßrigen Säurelösungen“¹⁰⁾ und „Über die Änderung des elektrischen Leitungsvermögens einer Lösung durch Zusatz von kleinen Mengen eines Nichtleiters“¹¹⁾ veröffentlicht. Ferner untersuchte er die Verseifungsgeschwindigkeit von Äthylacetat und fand, daß sie, wie schon in der Dissertation vorausgesagt war, dem Leitvermögen der reagierenden Stoffe proportional geht. Da die zur Untersuchung erforderlichen Lösungen im Ostwaldschen Laboratorium schon zur Benutzung fertig standen, so ging die Arbeit schnell vorwärts. Die exakte Durchrechnung der gewonnenen Zahlen erfolgte jedoch erst später, so daß die Publikation unter dem Titel: „Einfluß der Neutralsalze auf die Reaktionsgeschwindigkeit der Verseifung von Äthylacetat“¹²⁾ erst Anfang 1887 erschien. Sie bildet den ersten Beitrag von Arrhenius in der soeben von Ostwald und van't Hoff gegründeten und herausgegebenen „Zeitschrift für physikalische Chemie“.

Im Winter-Semester 1886/87 finden wir ihn bei dem großen Meister der Widerstandsmessungen Kohlrausch in Würzburg. In seinem Institut

⁹⁾ Öfversigt 1885 Nr. 6, S. 121.

¹⁰⁾ Wied. Ann. 30, 51 [1887].

¹¹⁾ Bihang 18, Afd. 1, Nr. 5 [1892] und Ztschr. physikal. Chem. 9, 487 [1892].

¹²⁾ Bihang 13, Afd. 2, Nr. 2 [1887] und Ztschr. physikal. Chem. 1, 110 [1887].

vollendete er zunächst eine schon in Riga begonnene Arbeit „Über die innere Reibung verdünnter wäßriger Lösungen“¹³⁾. Ferner begann er hier eine Serie von Untersuchungen über die Leitfähigkeit von Gasen mit einer Veröffentlichung: „Über das Leitungsvermögen der phosphoreszierenden Luft“¹⁴⁾. Die wichtigste der in Würzburg ausgeführten Untersuchungen ist die „Über die Einwirkung des Lichtes auf das elektrische Leitungsvermögen der Haloidsalze des Silbers“¹⁵⁾. Diesen Effekt, den man heute als den inneren lichtelektrischen Effekt bezeichnen würde, setzte Arrhenius schon ganz richtig in Verbindung mit dem photochemischen Effekt der Silberhalogenide. Er schuf damit eine der experimentellen Grundlagen zu der heute allseitig anerkannten Theorie über die Entstehung des latenten Bildes durch Verschiebung eines Elektrons.

Von ausschlaggebendem Einfluß auf den Entwicklungsgang der physikalischen Chemie war das zufällige Ereignis, daß gleichzeitig auch Nernst am Kohlrauschschen Institut arbeitete, und daß sich die beiden, so außergewöhnlich befähigten und für die Wissenschaft begeisterten jungen Forscher in Freundschaft zusammenschlossen und sich durch gegenseitige Anregung in ihren Arbeiten unterstützten.

In die gleiche Zeit fiel auch das Erscheinen einer Arbeit van't Hoff's, durch die der weitere Ausbau der elektrolytischen Dissoziations-Theorie ungemein gefördert wurde. Diese „Lois de l'équilibre chimique dans l'état dilus gazeux ou dissous“ betitelte Abhandlung¹⁶⁾ erschien im Dezember 1886 in der schwedischen Akademie der Wissenschaften, an die sie van't Hoff geschickt hatte, „weil deren Inhalt in sehr naheem Zusammenhang steht mit den schwedischen Arbeiten von Guldberg und Waage¹⁷⁾, Pettersson und Ihnen selbst“, wie van't Hoff in einem Briefe an Arrhenius am 4. August 1885 geschrieben hatte. In dieser Abhandlung werden unter anderem die Abweichungen besprochen, welche die Elektrolyte bei der Molekulargewichts-Bestimmung von in Wasser gelösten Stoffen zeigen.

Als Arrhenius im März 1887 diese Arbeit las, erkannte er sofort, daß damit eine von seinen eigenen Berechnungen vollkommen unabhängige Bestätigung seiner Annahme einer Dissoziation der im Wasser gelösten Stoffe gegeben wird, und daß dadurch aus der bisher von ihm geäußerten Hypothese eine exakt begründbare Theorie geworden sei. Er selbst erzählt über seine Eindrücke beim Lesen dieser Arbeit folgendes¹⁸⁾:

„Ich verschlang sie mit einem Male am selben Abend, nachdem ich die Tagesarbeit im Institut geschlossen hatte. Sogleich war es mir klar, daß man aus der Abweichung der Elektrolyte in wäßriger Lösung vom van't Hoff-Raoult'schen Gesetz der Gefrierpunkts-Erniedrigung den kräftigsten Beweis für ihren Zerfall in Ionen erhält. Jetzt hatte ich zwei verschiedene Wege, um den Dissoziationsgrad zu berechnen, teils mit Hilfe der Gefrierpunkts-Erniedrigung, teils auch aus der Leitfähigkeit. Sie gaben alle

¹³⁾ Bihang 13, Afd. I, Nr. 5 [1887] und Ztschr. physikal. Chem. 1, 285 [1887].

¹⁴⁾ Bihang 13, Afd. I, Nr. 7 [1888] und Wied. Ann. 32, 545 [1887].

¹⁵⁾ Ztschr. d. Wiener Akad. d. Wissensch. 96, 813 [1887]; Eders Jahrb. f. Photographie 9, 201 [1895] und Fotografisk Tidskrift 1895, 212.

¹⁶⁾ Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 21, 217 [1886]. — Schon vorher in ähnlicher Form gedruckt in den Archives Néerland. Sciences exactes naturelles 20, 239 [1885]; später auch in deutscher Sprache erschienen unter dem Titel: Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen, Ztschr. physikal. Chem. 1, 481 [1887].

¹⁷⁾ Diese hielt van't Hoff irrträglich für Schweden.

¹⁸⁾ Aus meiner Jugendzeit, Leipzig 1913, S. 12.

beide in der überaus vorwiegenden Anzahl von Fällen dasselbe Resultat, und ich konnte offen die Dissoziation der Elektrolyte aussprechen. Man kann sich mein enormes Glück vorstellen.“

Der erste, der etwas von der neuen Lehre erfuhr, war der damalige Ordinarius für Chemie an der Universität Würzburg, Emil Fischer. Bei einem gemeinsamen Spaziergang im Hofgarten erzählte ihm Arrhenius an einem schönen Vorfrühlingsmorgen von van't Hoff's und seinen Entdeckungen. Die Arbeitsmethoden der beiden Gelehrten lagen einander zu fern, als daß sie sich durch Zustimmung oder Kritik hätten gegenseitig fördern können. Aber die beiden feinen und hochstehenden Menschen, die sich in ihrer Weltanschauung und ihren politischen Ansichten nahe standen, behielten seit der Würzburger Zeit die hohe gegenseitige Wertschätzung bei und blieben sich bis zum Schlusse ihres Lebens in treuer Freundschaft zugetan.

Ferner teilte Arrhenius seine neuen theoretischen Ansichten bald Oliver Lodge mit, dem Sekretär der von der British Association zur Aufklärung der Elektrolyse-Frage eingesetzten Kommission, mit dem er schon von früher her in Briefwechsel stand¹⁹⁾. Endlich schrieb er nach einigen Tagen an Ostwald, der später erzählte, er habe nicht viel von dem Inhalt des Briefes verstanden, und an van't Hoff. Aus letzterem Schreiben sei der Hauptpassus hier angeführt:

„Würzburg, den 30. März 1887.

Hochverehrter Herr Professor!

..... Die Abhandlung hat mir nämlich in unerhörtem Grade Klarheit geschafft über die Konstitution der Lösungen. Wenn z. B. Chlornatrium sich normal verhalten würde, d. h. aus einfachen Molekülen bestehen würde, so würde sein Koeffizient $i = 1$ sein. Da i aber viel größer ist, so ist der natürliche Ausweg, dies zu erklären, zu sagen, daß NaCl teilweise dissoziiert ist, ganz so, wie man sagt, daß bei höherer Temperatur J_2 dissoziiert ist. Jetzt würde man wohl diese Annahme für sehr gewagt halten, man ist aber aus anderen Gründen dazu gekommen, die Elektrolyte für teilweise dissoziiert zu erklären, indem man annimmt, daß sie in ihre Ionen zerfallen. Da aber die Ionen mit sehr großen und entgegengesetzten Elektrizitäts-Quantitäten geladen sind, so entstehen dadurch Bedingungen, die es machen, daß man eine in dieser Weise dissoziierte NaCl-Lösung nicht als aus Na und Cl einfach bestehend behandeln kann (in allen Fällen). Der Druck auf den Wänden kann aber dann nicht merkbar beeinträchtigt werden, sondern in diesem Falle verhält sich die Lösung so, als ob Na und Cl frei sein würden. Auch wenn man nachsieht, welche Körper abnorm sind (nach Raoult), so sind es nicht die unorganischen (z. B. nicht $HgCl_2$, CO_2 , H_2S usw.), sondern die Elektrolyte (d. h. die Körper, die Leiter von derselben Ordnung wie die Salze sind) auch wenn sie organisch sind, z. B. Oxalsäure. Trichlor-essigsäure und Sulfonsäuren müssen dies noch deutlicher zeigen als Oxalsäure, wenn sie untersucht werden. Da jetzt nach voriger Annahme die Elektrolyte in ihre Ionen zerfallen, so muß der Koeffizient i zwischen 1 und der Anzahl der Ionen liegen. Dies trifft faktisch zu z. B. für NaCl, KCl, KNO_3 , NaOH usw., die zwei Ionen haben, steigt der Koeffizient beinahe zu 2; für $Ba(OH)_2$, $CaCl_2$, K_2SO_4 usw., die drei Ionen haben, geht er beinahe zu 3 hinauf, usw. $HgCl_2$, CO_2 , H_2S , NH_3 , $C_6H_5-NH_2$ usw., deren Koeffizient nahe $= 1$ ist, sind bekanntlich außerordentlich schlechte Elektrolyte. Aus der vorigen Annahme kann man sogar den Wert von i aus der Leitfähigkeit berechnen, und dies werde ich wahrscheinlich bald durchzusetzen versuchen; bis jetzt hat mir die nötige Zeit gefehlt. Was ich in meiner Arbeit „Sur la conductibilité“ aktive Molekel genannt habe, ist also dasselbe, wie dissoziierte Moleküle. Einer von den Sätzen, die ich da ausgesprochen habe, würde also umgeschrieben heißen: Nach aller Wahrscheinlichkeit sind alle Elektrolyte in äußerster Verdünnung vollkommen dissoziiert.....“

¹⁹⁾ Report of the British Associat. 1886, 310, 315, 344, 384 und Brit. Associat. Committee on electrolysis circulars Okt. 1886, May 1887.

Die erste, klare Formulierung der Dissoziations-Theorie und der Beweis für die Übereinstimmung der durch Leitfähigkeits- und Gefrierpunkts-Messungen gewonnenen Dissoziationswerte findet sich in den beiden zunächst in Schweden erschienenen Abhandlungen „Versuch zur Berechnung der Dissoziation (Aktivitätskoeffizienten) von in Wasser gelösten Stoffen“²⁰⁾ und „Über additive Eigenschaften der verdünnten Salzlösungen“²¹⁾, deren Zusammenfassung in deutscher Sprache unter dem Titel „Über die Dissoziation der im Wasser gelösten Stoffe“²²⁾ erschienen ist. In diesen sind die bekannten Grundformeln der Dissoziationslehre abgeleitet. Es heißt auf S. 632 der letztgenannten Arbeit wörtlich:

„In einer früheren Arbeit „Sur la conductibilité galvanique des électrolytes“ habe ich solche Moleküle, deren Ionen in ihren Bewegungen voneinander unabhängig sind, aktiv, die übrigen Moleküle, deren Ionen miteinander fest verbunden sind, inaktiv genannt. Ebenso habe ich die Wahrscheinlichkeit hervorgehoben, daß in äußerster Verdünnung alle inaktiven Moleküle eines Elektrolyten in aktive verwandelt werden. Diese Annahme will ich für die unten ausgeführten Berechnungen zugrunde legen. Mit Aktivitätskoeffizient habe ich das Verhältnis zwischen der Anzahl der aktiven und der Summe aktiver und inaktiver Moleküle bezeichnet. Der Aktivitätskoeffizient eines Elektrolytes in unendlicher Verdünnung wird also gleich eins angenommen. Für geringere Verdünnung ist er kleiner als eins und kann, nach den in meiner angeführten Arbeit zugrunde gelegten Prinzipien für nicht allzu konzentrierte Lösungen (d. h. Lösungen, in welchen störende Umstände wie innere Reibung usw. vernachlässigt werden können) dem Verhältnis zwischen dem tatsächlichen molekularen Leitvermögen der Lösung und dem oberen Grenzwerte, welchem das molekulare Leitvermögen derselben Lösung mit zunehmender Verdünnung sich nähert, gleichgesetzt werden.“

Es ist also $\alpha = \lambda_v / \lambda_\infty$, wenn man mit α den Aktivitätskoeffizienten, mit λ_v das tatsächliche molekulare Leitvermögen der Lösung und mit λ_∞ deren oberen Grenzwert bezeichnet.

„Wenn dieser Aktivitätskoeffizient (α) bekannt ist, kann man also den Wert des von van't Hoff tabellierten Koeffizienten i , d. h. das Verhältnis zwischen dem von einem Körper tatsächlich ausgeübten osmotischen Drucke und dem osmotischen Drucke, den er ausüben würde, wenn er aus lauter inaktiven (nicht dissoziierenden) Molekülen bestände, in folgender Weise berechnen.“

Es ist:

$$i = 1 + (n - 1) \alpha,$$

worin n die Zahl der Ionen angibt, in die eine Molekel des Elektrolyten bei vollkommener Dissoziation zerfallen ist.

Für das Sommer-Semester 1887 bestimmte Nernst seinen Freund Arrhenius, mit ihm zusammen an die Universität Graz zu gehen, an der damals Boltzmann den Lehrstuhl für Physik inne hatte. Um diese beiden als Krystallisationspunkt versammelte sich eine Anzahl in der gleichen Richtung arbeitender, wissensdurstiger und lebensfreudiger junger Männer. Sie genossen zusammen die Anregungen, die von dem genialen Lehrer Boltzmann ausgingen, und die landschaftlichen Schönheiten dieser südlichsten deutschen Universitätsstadt. Von diesen „Zwölf aus der Steiermark“ seien nur Klemençič, Streintz, v. Ettinghausen, Czermak und Hausmaninger genannt.

²⁰⁾ Öfversigt 1887, Nr. 6, S. 405.

²¹⁾ Öfversigt 1887, Nr. 9, S. 561.

²²⁾ Ztschr. physikal. Chem. 1, 631 [1887].

Nernst arbeitete damals auf rein physikalischem Gebiet im Institut des Experimentalphysikers von Ettinghausen. Im Laufe des Sommers traf auf einer Studienreise auch Ostwald in Graz ein, der gerade eine Berufung nach Leipzig in Aussicht hatte. Er lernte dort durch Arrhenius den jungen Nernst kennen, den er, als er die Leipziger Professur angenommen hatte, auf Arrhenius' Empfehlung hin, als Assistenten gewann. Dadurch wurde Nernst veranlaßt, seine Aufmerksamkeit physikalisch-chemischen Problemen zuzuwenden, mit welchem außerordentlichen Erfolge für den Fortschritt dieser Wissenschaft, ist bekannt.

Nach Semester-Schluß kehrte Arrhenius in seine Heimat zurück und arbeitete den Winter über bei Edlund an Untersuchungen: „Über das Leitungsvermögen beleuchteter Luft“²³⁾. Im Frühjahr 1888 machte er sich von neuem auf die Wanderschaft. Er reiste über Kiel, wo er Planck aufsuchte. Dieser besprach mit ihm die Anwendung des Massenwirkungsgesetzes auf die elektrolytische Dissoziation und machte ihn darauf aufmerksam, daß dieses Gesetz bei starken Elektrolyten versage. Als Arrhenius wenige Tage später in Amsterdam eintraf, war van't Hoff's erste Frage, ob Arrhenius denn bekannt sei, daß das Massenwirkungsgesetz bei seiner Anwendung auf starke Elektrolyte nicht stimme. Er sei gerade damit beschäftigt, dasselbe experimentell zu prüfen, und finde einen so starken Gang der Konstante, daß er an der Richtigkeit der Dissoziations-Theorie überhaupt zweifeln müsse. Arrhenius wies ihn darauf hin, daß sich bei starken Elektrolyten der Dissoziationsgrad nur im Verhältnis 4:5, bei schwachen aber im Verhältnis 1:20 ändere. Infolgedessen böten die schwachen Elektrolyte ein viel günstigeres Objekt zum Studium dieser Gesetzmäßigkeit. Daraufhin nahm van't Hoff zusammen mit seinem Schüler Reicher Leitfähigkeitsmessungen an organischen Säuren auf und fand an diesen eine vortreffliche Bestätigung des Massenwirkungsgesetzes. Inzwischen hatte im Januar 1888 Ostwald ohne experimentelle Belege in einer kurzen Notiz²⁴⁾ diese Anwendbarkeit des Massenwirkungsgesetzes veröffentlicht und dasselbe „Verdünnungsgesetz“ genannt. Ohne zu erwähnen, daß er unabhängig von Ostwald zur Aufstellung der gleichen Gesetzmäßigkeit gekommen sei, schließt van't Hoff seine Abhandlung²⁵⁾ mit den Worten:

„Es ist wohl überflüssig, auf die treffliche Bestätigung hinzuweisen, welche hiermit das Ostwaldsche Verdünnungsgesetz erfahren hat; kein einziger Fall von gewöhnlicher Dissoziation ist innerhalb so weiter Grenzen geprüft worden.“

Damit hatte die Dissoziations-Theorie ihre erste, sichere Bestätigung von unparteiischer Seite gefunden²⁶⁾.

Arrhenius führte in Amsterdam zur Stützung seiner Dissoziations-Theorie Gefrierpunktsbestimmungen an verdünnten, wäßrigen Lösungen aus²⁷⁾, die er jedoch erst später veröffentlichte. Hier schrieb er seine bekannte Abhandlung über die „Theorie der isohydrischen Lösungen“²⁸⁾. In dieser

²³⁾ Öfversigt 1888, Nr. 1, S. 31 und Wied. Ann. 33, 638 [1888].

²⁴⁾ Ztschr. physikal. Chem. 2, 36 [1888].

²⁵⁾ Ztschr. physikal. Chem. 2, 777 [1888].

²⁶⁾ In der Zwischenzeit hatte auch Ostwald zur Bestätigung seines Verdünnungsgesetzes Messungen an organischen Säuren vorgenommen und dieselben noch vor van't Hoff veröffentlicht, nämlich Ztschr. physikal. Chem. 2, 270 [1888].

²⁷⁾ Bihang 14, Nr. 9 und Ztschr. physikal. Chem. 2, 491 [1888].

²⁸⁾ Öfversigt 1888, Nr. 4, S. 233 und Ztschr. physikal. Chem. 2, 284 [1888].

Arbeit wird der Satz abgeleitet, daß beim Vermischen der Lösungen zweier Elektrolyte mit einem gemeinsamen Ion keine Änderung der beiderseitigen Dissoziationsgrade eintritt, wenn die Konzentrationen der gemeinsamen Ionen vor der Vermischung in beiden Lösungen gleich sind.

Von Amsterdam reiste Arrhenius zu Ostwald nach Leipzig, wo er das Sommer-Semester über in dessen Institut arbeitete. Dasselbe war in den alten Räumen des früheren Landwirtschaftlichen Instituts notdürftig untergebracht. Aber in diesen kleinen, altertümlichen Räumen entfaltete sich ein wissenschaftliches Leben, wie es nur zu Zeiten möglich ist, wenn ein neuer Wissenszweig plötzlich aufblüht. Ein Kreis junger Leute, die sich später einen großen Namen erworben haben, arbeitete hier mit Feuereifer an der Fortentwicklung der physikalischen Chemie. Neben Ostwald und Nernst waren es vor allem Beckmann, Walcker, Neuß, Meyerhofer, die in schneller Folge die schönsten Früchte auf dem bis dahin noch ganz un bebauten Gebiete ernten konnten. Zu diesen kamen noch Tammann aus Dorpat, Julius Wagner und Bredig hinzu. In dieser Zeit veröffentlichte Nernst seine Arbeiten über die Theorie der Diffusion und über die elektromotorische Wirksamkeit der Ionen, Beckmann baute die nach ihm benannten Apparate zur Bestimmung der Gefrierpunkts-Erniedrigung, u. s. f.

Arrhenius beschäftigte sich mit Untersuchungen, welche den weiteren Ausbau der Dissoziations-Theorie zum Ziele hatten. Aus dieser Zeit stammt die Ableitung der Beziehung zwischen osmotischem Druck und Erniedrigung der Dampfspannung²⁹⁾, die später in jedes Lehrbuch der physikalischen Chemie überging. Die seinerzeit am meisten beachtete Abhandlung ist die „Über die Dissoziationswärme und den Einfluß der Temperatur auf den Dissoziationsgrad der Elektrolyte“³⁰⁾. Er teilte in dieser die Beobachtung mit, daß der Temperaturkoeffizient der Leitfähigkeit mittelstarker und schwacher Säuren wesentlich kleiner als der von Salzen ist und sich auch mit der Konzentration stark ändert. Diese Änderung ist ein Zeichen für die Veränderung des Dissoziationsgrades. Aus der Änderung der Leitfähigkeit mit der Temperatur kann er zum ersten Male die Dissoziationswärme berechnen. Die Abnahme der Dissoziationswärme mit steigender Temperatur deutet daraufhin, daß die spezifische Wärme der nicht-dissoziierten Stoffe im allgemeinen größer ist als diejenige der dissoziierten. Das wichtigste Ergebnis dieser Abhandlung ist der exakte Nachweis, daß, wie es die Dissoziations-Theorie verlangt, die Neutralisationswärme aller starken Säuren mit starken Basen gleich groß, nämlich bei $20^{\circ} = 13800$ cal ist. Die Tatsache, daß schwache Säuren oft eine größere Neutralisationswärme zeigen, erklärt sich ohne weiteres aus der negativen Dissoziationswärme derselben.

Erst in neuerer Zeit haben die Ergebnisse der Untersuchung „Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren“³¹⁾ die gebührende Würdigung gefunden. Arrhenius stellt darin eine Theorie der Reaktionsgeschwindigkeit auf. Er nimmt aktive Rohrzucker-Moleküle an, deren Konzentration mit der Temperatur auf Kosten der inaktiven Rohrzucker-Moleküle zunimmt, und die sich unter Verbrauch der Aktivierungswärme aus den inaktiven Molekülen bilden. Hier wird

²⁹⁾ Ztschr. physikal. Chem. 3, 115 [1889].

³⁰⁾ Ztschr. physikal. Chem. 4, 96 [1889] und 9, 339 [1892].

³¹⁾ Ztschr. physikal. Chem. 4, 226 [1889].

also zum ersten Mal der Begriff der Aktivierungswärme eingeführt, der heute in den modernen Theorien der Reaktionsgeschwindigkeit eine große Bedeutung gewonnen hat.

Bezeichnet man die Konzentration der aktiven Moleküle mit c_a , die der inaktiven mit c_i und die Gleichgewichtskonstante zwischen den beiden Molekülarten mit K , so ist

$$K = c_a/c_i,$$

und es folgt aus der Reaktionsisochore

$$d \ln K/dT = q/RT^2 \text{ oder } K = \text{konst } e^{-q/RT},$$

wo q die Aktivierungswärme ist.

Diese Gleichung wird oft kurzweg als „Arrheniussche Gleichung“ bezeichnet. Ferner beobachtete Arrhenius, daß ein Zusatz geringer Mengen eines Nichtleiters die Reaktionsgeschwindigkeit kaum, der Zusatz von Neutralsalzen aber dieselbe merklich beeinflusst. Auf diese später genauer untersuchte Neutralsalz-Wirkung wird hier zum ersten Male hingewiesen. Durch sie erklärt sich z. B. der Mangel an Proportionalität zwischen der Wasserstoff-Ionen-Konzentration und der Inversionsgeschwindigkeit.

In einer Untersuchung „Über die Gleichgewichtsverhältnisse zwischen Elektrolyten“³²⁾ wird die Zurückdrängung der Dissoziation von schwachen Säuren durch Zusatz ihrer Neutralsalze nachgewiesen. Ferner wird die Verteilung einer Base zwischen zwei Säuren unter Anwendung des Massenwirkungsgesetzes und der Dissoziations-Theorie abgehandelt, und endlich auf den gleichen Grundlagen die Theorie der Hydrolyse aufgestellt. In allen diesen Gleichgewichts-Erscheinungen gibt die Dissoziations-Theorie eine mit der Erfahrung quantitativ übereinstimmende Erklärung.

Obwohl man meinen sollte, daß durch diese Untersuchungen und die vielen anderen gleichzeitig aus dem Ostwaldschen Institut hervorgegangenen Abhandlungen, die sich auf der Dissoziations-Theorie aufbauen, dieselbe in ihren Grundlagen hinreichend bewiesen sei, so mehrten sich doch die Angriffe von seiten der Chemiker. Den Physikern war die Theorie infolge der mathematischen Formulierung, die sie von Arrhenius selbst, besonders aber von Planck erhalten hatte, eher annehmbar. Gegen diese Angriffe auf das „wilde Heer der Ionier“ (Horstmanns Ausdrucksweise) wußte sich besonders Ostwald in schlagfertiger und überzeugender Weise zu verteidigen. Aber auch von Arrhenius erschienen zahlreiche Abwehrschriften, auf die hier nur kurz hingewiesen sei³³⁾.

³²⁾ Öfversigt 1889, Nr. 10, S. 619 und Ztschr. physikal. Chem. 5, 1 [1890].

³³⁾ Über die Gültigkeit der Clausius-Williamsonschen Hypothese. Beleuchtung einiger von Hrn. Dr. Hans Jahn gemachten Einwüfe. B. 15, 49 [1884]. — Reply to Prof. Armstrongs criticisms regarding the dissociation theory of electrolysis. The Electrician 1888, 7, Sept., S. 6. — Bemerkungen zu Hrn. I. Traubes „Kritik der Hypothese der elektrolytischen Dissoziation“. B. 24, 224 [1891]. — Hydration versus electrolytic Dissociation. Phil. Mag. [5] 28, 30 [1889]. — Bemerkungen über einige gegen die Hypothese der elektrolytischen Dissoziation erhobenen Einwände. B. 24, 2255 [1891]. — Bemerkungen zu Hrn. E. Wiedemanns Aufsatz „Über Neutralisationswärme“. Ztschr. physikal. Chem. 8, 419 [1891]. — Erwiderung auf eine Bemerkung des Hrn. H. Ebert. Wied. Ann. 44, 383 [1891]. — Verhandlungen über die Theorie der Lösungen. Ztschr. physikal. Chem. 7, 396 [1891]. — Die Elektrolyse von Alkalisalzen. Öfversigt 1893. Nr. 2, S. 95 und Ztschr. physikal. Chem. 11, 805 [1893]. — Über die Hydrolyse von Salzen schwacher Säuren und schwacher Basen. Ztschr. physikal. Chem. 13, 407 [1894]. — Über die Proportionalität zwischen Gefrierpunkts-Erniedrigung und osmotischem Druck. Wied. Ann. 51, 493 [1894].

Nach den Sommer-Ferien 1888 arbeitete er wieder im Edlundschen Laboratorium in Stockholm. Der alte Edlund hatte den übrigens mißglückten Versuch gemacht, die atmosphärische Elektrizität als eine Folge der sogenannten unipolaren Induktion der Erde zu erklären, die durch die tägliche Drehung der magnetischen Erdachse verursacht sein sollte. Durch ihn wurde Arrhenius veranlaßt, sich ebenfalls mit diesem Problem zu beschäftigen. Hierbei kam er zu Ansichten, die von denen Edlunds stark abwichen, und schrieb darüber einen Aufsatz, den Edlund der Akademie einreichen sollte. Dieser weigerte sich, gab aber das Manuskript nicht zurück. Dadurch wurde Arrhenius gezwungen, die Arbeit nochmals zu schreiben und im Ausland zu publizieren. Dies geschah unter dem Titel: „Über den Einfluß der Sonnenstrahlen auf die elektrischen Erscheinungen der Erdatmosphäre“³⁴⁾. Hierin stellt Arrhenius die Theorie auf, daß die elektrischen Ladungen durch die Ionisation der Luft entstehen, die durch die Bestrahlung mit ultravioletem Licht (Sonnenlicht) hervorgerufen wird. Ähnliche Ansichten hatte kurz vorher der Berliner Meteorologe von Bezold geäußert. Die Theorie lebt unter dem Namen „von Bezold-Arrheniussche Theorie“ in der Meteorologie fort.

Die soeben genannte Abhandlung erschien kurze Zeit nach dem am 19. August 1888 erfolgten Ableben Edlunds. Nun war die Edlundsche Professur frei. Arrhenius hatte gute Aussichten, dieselbe zu bekommen, denn Edlund hatte früher öfters geäußert, Arrhenius solle sein Nachfolger werden. In den letzten Monaten vor seinem Tode freilich war, infolge der verschiedenen Auffassung über den Ursprung der elektrischen Spannungen in der Atmosphäre, auch die Atmosphäre zwischen den beiden recht gespannt. Daher wünschte er jetzt Mebius zu seinem Nachfolger. Von Thalén aber, der auch in der Stockholmer Akademie großen Einfluß hatte, wurde sein „Schoßkind“, wie Arrhenius sich auszudrücken pflegte, Knut Ångström lanciert. Die Folge war, daß keiner von den dreien die Stelle bekam, sondern ein Vierter, nämlich Hasselberg.

Nach dieser neuen Enttäuschung ging Arrhenius wieder nach Deutschland, das ihm in diesen Jahren eine zweite Heimat geworden war. Er hat die gastliche Aufnahme, die er hier fand, und die Anerkennung, die ihm in diesem Lande von allen Seiten zuteil wurde, nie vergessen. Zunächst arbeitete er wieder in Leipzig, wo er im folgenden Jahre sogar eine Assistenten-Stelle am Ostwaldschen Institut inne hatte. Im Herbst 1889 kehrte er für einige Monate nach Upsala zurück und hielt daselbst Vorlesungen über die elektrolytische Dissoziations-Theorie, in denen die Ergebnisse der neuen Forschungen zum ersten Male zusammengefaßt wurden. Bei den jungen Studenten fand er mehr Verständnis für die neue Lehre als bei den alten Professoren, die Vorlesungen waren gut besucht und brachten ihm lebhaften Beifall.

Die lange Zeit der akademischen Sommer-Ferien in Schweden nützte er wieder zu einer Auslandsreise aus. Er ging nach Graz und setzte dort die in Würzburg und Stockholm begonnenen Untersuchungen über das Leitvermögen von Gasen fort. Er hoffte, die bei der Untersuchung wäßriger Lösungen gemachten Erfahrungen auf die Dissoziation der Gase übertragen zu können. Daher maß er nach dem Vorgange Hittorfs die Leitfähigkeit

³⁴⁾ Meteorolog. Ztschr. 5, 297 und 348 [1888].

von Salzdämpfen in Bunsen-Flammen³⁵⁾. Auch in der Folgezeit liebte er es, die Sommer-Ferien zu Studienreisen nach dem Kontinente auszunutzen. So kehrte er noch einmal — nämlich im Sommer 1904 — nach seinem geliebten Graz zurück, um am Physikalischen Institut bei Pfaunder zu arbeiten. Er untersuchte dort die Ausströmung der positiven und negativen Elektrizität aus Spitzen, fand aber nicht die gesuchten einfachen Beziehungen zwischen beiden Erscheinungen³⁶⁾. Dies bewies ihm von neuem, daß die Elektrizitätsleitung in Gasen der in Flüssigkeiten durchaus nicht analog ist. Zur völligen Aufklärung der Frage, wie die Leitfähigkeit von Gasen zu Stande kommt, war die Zeit noch nicht reif. Als erster Vorstoß in dieses noch ganz unerforschte Gebiet werden diese Untersuchungen ihre grundsätzliche Bedeutung behalten.

Zu Semester-Beginn kehrte er nach Upsala zurück und versuchte im Cleveschen Laboratorium einen Arbeitsplatz zu erhalten, was ihm aber nicht gelang. Dagegen wurde er bereitwillig von Hammarsten im Physiologischen Institut aufgenommen. Die Messungen, die er dort ausführte, erschienen unter dem Titel „Untersuchungen über Diffusion von in Wasser gelösten Stoffen“³⁷⁾. In dieser Abhandlung wird die Diffusion von Elektrolyten in reinem Wasser und in Salzlösungen untersucht, und es wird gezeigt, daß dieselbe in der durch die Dissoziations-Theorie vorausberechenbaren Weise erfolgt.

In Deutschland war Arrhenius eine bekannte wissenschaftliche Persönlichkeit, in seinem Heimatlande aber fand er immer noch wenig Anerkennung und hatte kaum Aussichten, eine feste Anstellung zu finden. Dies änderte sich erst, als er im Sommer 1891 einen Ruf nach Gießen erhielt. Der dortige Experimentalphysiker Himstedt hatte ihn für ein neu zu errichtendes Extraordinariat für physikalische Chemie vorgeschlagen. Um ihn nicht aus Schweden zu verlieren, bot ihm der Mathematiker Mittag-Leffler, der damalige Rektor³⁸⁾ an Stockholms Hochschule, die an dieser gerade frei gewordene Dozentur für Physik an, die Arrhenius gern annahm. Stockholms Hochschule, wie die offizielle Bezeichnung für die Universität Stockholm noch heute heißt, war damals eine reine Privathochschule. Sie war lediglich auf freiwillige Spenden angewiesen, und diese reichten nur knapp zu ihrer Fortführung aus. Es schien daher einigermaßen zweifelhaft, ob sich die Hochschule auf die Dauer würde halten können. Im Laufe der folgenden Jahre aber flossen ihr reiche Dotationen zu, so daß auch die Stellung der Dozenten an dieser Anstalt eine sichere wurde. So konnte sich Arrhenius im Jahre 1894 entschließen, ein eigenes Heim zu gründen. Er

³⁵⁾ Über das elektrische Leitvermögen von Salzdämpfen in der Bunsen-Flamme. Sitz. Ber. Wien. Akad. **19**, Abt. 2, S. 731 [1890]. — Über die Leitung von Elektrizität durch heiße Salzdämpfe. Bihang **16**, Afd. 1, Nr. 9 [1891] und Wied. Ann. **42**, 18 [1891]. — La conductibilité des sels vaporisés dans la flamme d'un bec Bunsen, Lumière électr. **39**, 501 [1891]. — Note on the electric conductivity of hot gases. Phil. Mag. [5] **31**, 315 [1891] und Lumière électr. **40**, 593 [1891].

³⁶⁾ Versuche über elektrische Spitzenwirkung. Wied. Ann. **63**, 305 [1897].

³⁷⁾ Bihang **18**, Afd. 1, Nr. 8, S. 52 [1892] und Ztschr. physikal. Chem. **10**, 51 [1892].

³⁸⁾ Der Rektor an den schwedischen Universitäten ist zwar ebenfalls nur der von seinen Kollegen gewählte primus inter pares. Aber das Rektorat wechselt normalerweise nicht, sondern der einmal Gewählte bleibt im Amte, wenn nicht infolge irgend welcher Mißhelligkeiten oder dergl. ein Wechsel im Rektorat wünschenswert erscheint. Daher hat er auch einen viel größeren Einfluß auf die Besetzung der Lehrstellen als bei uns.

vermählte sich mit seiner besten Schülerin und Assistentin, der schönen und geistig bedeutenden Sophia von Rudbeck, Tochter des Oberstleutnants von Rudbeck, eines alten Bekannten seines Vaters aus der Zeit, da beide als Landmesser tätig waren. Im folgenden Jahre wurde sein Sohn Olof geboren. Die Ehe war nicht glücklich und wurde kurz nach der Geburt des Sohnes gelöst. Olof Arrhenius studierte später Botanik und promovierte in diesem Fache. Er hat sich als Agrikulturchemiker einen guten wissenschaftlichen Namen gemacht.

Indessen hatte sich die Dissoziations-Lehre mehr und mehr Anhänger verschafft. Es blieb auch die Anerkennung für den Schöpfer dieser Lehre nicht aus. Eine der ersten Ehrungen, die Arrhenius erhielt, war die im Juni 1895 erfolgte Ernennung zum Ehrenmitglied der „Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft“, die später den Namen „Deutsche Bunsen-Gesellschaft“ annahm. Im gleichen Jahre sollte die Dozentur für Physik an der Stockholmer Hochschule in ein Ordinariat verwandelt werden. Selbstverständlich hätte Arrhenius ohne weiteres in diese Stelle aufrücken müssen, denn es gab in Schweden keinen prominenteren Kandidaten als ihn. Aber nun setzten wieder die Intrigen seiner alten Gegner ein, die alle gebührenden Rücksichten auf Sachlichkeit vergaßen. Zu diesen gesellte sich jetzt auch Mittag-Leffler, der inzwischen das Rektorat hatte aufgeben müssen. Seiner Despoten-Natur war es zu unbequem, einen so selbständigen Menschen wie Arrhenius, der sich zudem von vornherein in einen gewissen Gegensatz zu ihm gestellt hatte, neben sich zu bekommen. Er veranlaßte daher Lord Kelvin, sich in einem Privatbriefe gegen Arrhenius' Berufung auszusprechen. Ebenso gab der neue Physiker der Akademie der Wissenschaften Hasselberg ein Gutachten ab, in welchem er Arrhenius für „als Physiker inkompetent“ bezeichnete. Schließlich gelang es dem damaligen Rektor der Hochschule Otto Pettersson doch noch, seine Wahl gegen alle diese Machenschaften durchzusetzen. Bald nach seiner Aufnahme in das Lehrer-Kollegium gewann er dort solchen Einfluß, daß er, als im folgenden Jahre durch Petterssons Abgang das Rektorat vakant wurde, zum Rektor gewählt wurde. Diesen Posten bekleidete er bis zu seinem Abgang von der Hochschule im Jahre 1905.

Veranlaßt durch die Anregungen, die er von seinem Freunde, dem Meteorologen Ekholm, empfang, wardte Arrhenius in dieser Zeit seine Aufmerksamkeit hauptsächlich geophysikalischen Fragen zu³⁹⁾. Die wichtigste der von ihm auf diesem Gebiete ausgeführten Untersuchungen ist die „Über den Einfluß des atmosphärischen Kohlensäure-Gehaltes auf die Temperatur der Erdoberfläche“⁴⁰⁾. In derselben nimmt er an, daß die starken Schwankungen in der Wärme der Erdoberfläche neben dem damals schon bekannten Einfluß der Feuchtigkeit (Luigi de Marchi) vom wechselnden Kohlensäure-Gehalt der Atmosphäre herrühren. Diese Schwankungen sind bekanntlich so groß, daß Eiszeiten und solche, in denen bis hoch in den Norden nahezu tropischer Pflanzenwuchs herrschte, miteinander abwechselten.

³⁹⁾ Gemeinsam mit Ekholm: Über den Einfluß des Mondes auf den elektrischen Zustand der Erde. Bihang 20, Afd. 1, Nr. 1, S. 102 [1895]. — Über den Einfluß des Mondes auf die Polarlichter und die Gewitter. Bihang 31, Nr. 2, S. 7 [1898]. — Über die nahezu 26-tägige Periode der Polarlichter und der Gewitter. Bihang 31, Nr. 3, S. 45 [1898].

⁴⁰⁾ Bihang 22, Afd. 1, Nr. 1, S. 102 [1896] und Phil. Mag. [5] 41, 237 [1896].

Da die Kohlensäure eine starke Absorptionsbande im Ultrarot besitzt, wird durch hohen Kohlensäure-Gehalt der Luft die Ausstrahlung der Wärme von der Erdoberfläche in den Weltenraum vermindert. Infolgedessen steigt die Temperatur und hierdurch wiederum nimmt das Pflanzen-Wachstum zu. Da die Pflanzen beim Wachsen Kohlensäure aus der Atmosphäre aufnehmen, so hat die Zunahme des Pflanzen-Wachstums eine allmähliche Verringerung des Kohlensäure-Gehaltes der Atmosphäre zur Folge. Dadurch wächst dann die Wärme-Ausstrahlung, und infolgedessen nimmt die Oberflächen-Temperatur der Erde und damit auch das Pflanzen-Wachstum wieder ab. Zur Eiszeit muß die mittlere Jahres-Temperatur etwa 5° niedriger gewesen sein. Hierzu genügt nach Arrhenius eine Verminderung des Kohlensäure-Gehaltes auf die Hälfte des jetzigen Wertes. Um die Widersprüche, die diese neue Theorie bei Physikern (K. Ångström) und Geologen (D. Kreichgauer) fand, besser widerlegen zu können, nahm Arrhenius im Sommer 1900 bei Rubens am Physikalischen Institut der Technischen Hochschule in Berlin eine Neubestimmung der Wärme-Absorption der Kohlensäure vor⁴¹⁾. Auch heute kann es nicht als sichergestellt gelten, ob die Schwankungen im Kohlensäure-Gehalt der Atmosphäre ausreichen, die großen Temperatur-Unterschiede an der Erdoberfläche zu erklären. Andererseits ist aber die Arrheniussche Theorie bis heute durch keine bessere verdrängt, denn die Annahme, daß die Strahlungs-Intensität der Sonne periodischen Schwankungen unterlegen habe, ist eine völlig ad hoc gemachte Hypothese⁴²⁾.

Es hätte nicht viel gefehlt, und sein Interesse für geophysikalische Fragen hätte ihm das Leben gekostet. Der bekannte Luftschiffer S. A. Andrée, der schon mehrere erfolgreiche Fahrten im Freiballon über die Ostsee unternommen hatte, plante im Sommer 1896, sich bei günstigen meteorologischen Verhältnissen von Spitzbergen aus über den Nordpol nach Nord-sibirien treiben zu lassen. Der Gedanke, im Luftballon den Nordpol zu erreichen, war damals durchaus originell und erschien nicht völlig unmöglich. N. Strindberg, ein Schüler von Arrhenius, entschloß sich, mitzufahren, und auch Arrhenius dachte daran, sich an der Luftreise zu beteiligen. Er traf sich mit der Expedition in Spitzbergen, wo von Andrée alle Vorbereitungen zum Aufstieg getroffen waren. Aber das Wetter war so ungünstig, daß Arrhenius abriet. Infolgedessen unterblieb in diesem Jahre der Aufstieg⁴³⁾. Von Spitzbergen aus unternahm er zum Studium ozeanographischer Fragen eine Forschungsreise ins nördliche Eismeer. Das Wetter war sehr stürmisch, und das kleine Expeditionsschiff, die „Virgo“, kämpfte schwer gegen die hohe See. Der meistens betrunkene Kapitän, der den Nutzen der Reise nicht einsah, drängte, zumal die Punschvorräte zur Neige gingen, zur Umkehr und erklärte schließlich, der Professor könne nun selbst

⁴¹⁾ Über die Wärme-Absorption durch Kohlensäure. Öfversigt 1901, Nr. 1, S. 25 und Drud. Ann. 4, 689 [1901].

⁴²⁾ Die vermutliche Ursache der Klima-Schwankungen. Meddelanden från K. Vetenskapsakademiens Nobel-Institut (im folgenden kurz als „Meddelanden“ angeführt) 1, Nr. 2 [1906]. — Die physikalischen Grundlagen der Kohlensäure-Theorie der Klima-Veränderungen. Zentralbl. Mineralogie 1909, 481. — Widerlegung der physikalischen Einwände gegen die Kohlensäure-Theorie. Zentralbl. Mineralogie 1913, 381.

⁴³⁾ Im folgenden Jahre nahm Arrhenius nicht mehr an der Expedition teil. Andrée stieg am 11. Juli mit zwei Gefährten, Strindberg und Fränkel, mit dem gleichen Freiballon von Spitzbergen aus auf und ist seitdem verschollen.

die Verantwortung übernehmen. Darauf verließ er die Kommandobrücke und lag über 24 Stunden total betrunken in seiner Kabine. Während dieser Zeit leitete Arrhenius die Navigation.

Das Amt des Rektors machte ihm naturgemäß viel Mühe und Arbeit. Die Institutsräume waren klein, der Etat sehr beschränkt, und sein Gehalt immer noch niedriger als das der Professoren an den Staats-Universitäten. Als im Jahre 1897 der Physiker der Universität Lund Holmgren starb, bestand daher für die Universität Stockholm die Gefahr, Arrhenius nach Lund zu verlieren. Der Verwaltungsrat beugte jedoch dadurch vor, daß er das Gehalt des Gelehrten so weit erhöhte, daß es dem eines Professors an den Staats-Universitäten gleich kam. Das war das erste Anzeichen dafür, daß man die Bedeutung von Arrhenius auch in seiner Heimat richtig einzuschätzen begann. Dies zeigte sich noch deutlicher bei dem im Jahre 1898 gefeierten 50. Todestage von Berzelius. In seiner Festrede sagte Cleve, Arrhenius habe den gefallenen Mantel von Berzelius wieder aufgenommen. Dies war sozusagen die offizielle Bekanntgabe, daß er den zähen Kampf gegen Arrhenius endlich aufgegeben hatte.

Arrhenius arbeitete indessen weiter an der Abrundung seiner Theorie. Hierbei richtete er naturgemäß seine Aufmerksamkeit vor allem auf die Anomalie der starken Elektrolyte. Daß das Massenwirkungsgesetz bei diesen versagt, hat er schon im Jahre 1893 klar ausgesprochen⁴⁴⁾. Ebenso war ihm bekannt, daß die Abweichungen nicht etwa erst in konzentrierten Lösungen auftreten, sondern schon in beliebig verdünnten deutlich vorhanden sind⁴⁵⁾, ein Punkt, an den später bekanntlich Debye anknüpfte. Daß sich das Verhalten der starken Elektrolyte durch die klassische Dissoziations-Theorie in keiner Weise beschreiben lasse, und daß die Weiterentwicklung dieser Lehre an diesem Punkte ansetzen müsse, hatte Arrhenius zwar erkannt, das Warum und Wie konnte er aber trotz aller Bemühungen⁴⁶⁾ nicht finden. Diese Klärung kam erst durch Bjerrum⁴⁷⁾ und Debye⁴⁸⁾.

Mehr noch als durch seine eigene Tätigkeit wurde durch die seiner Schüler die Dissoziations-Theorie vertieft und erweitert. Es sei nur an die folgenreiche Beobachtung von J. Sjöquist, daß sich Eiweiß wie ein amphoterer Elektrolyt verhält, an die H. v. Eulerschen Untersuchungen über die Beziehung zwischen der Erhöhung der inneren Reibung und dem Molekulargewicht und über Löslichkeits-Erniedrigung durch Zusatz organischer Stoffe, an die von W. Palmaer näher studierte Proportionalität zwischen der H-Konzentration und Inversionsgeschwindigkeit des Rohrzuckers u. s. f. erinnert. Zum ersten Male seit den Zeiten von Berzelius kam eine Anzahl ausländischer Forscher und Lehrer der Chemie nach Schweden, um unter Arrhenius' Leitung zu arbeiten. Von diesen seien nur die bekanntesten

⁴⁴⁾ Über die Bestimmung der elektrolytischen Dissoziation von Salzen mittels Löslichkeitsversuchen. Öfversigt 1892, Nr. 10, S. 481 und Ztschr. physikal. Chem. 11, 391 [1893].

⁴⁵⁾ Zur Theorie der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit. Bihang 24, Afd. 1, Nr. 2 [1898] und Ztschr. physikal. Chem. 28, 317 [1899].

⁴⁶⁾ Über die Änderung der Stärke schwacher Säuren durch Salzzusatz. Ztschr. physikal. Chem. 31, 197 [1899]. — Zur Berechnung des Dissoziationsgrades starker Elektrolyte. Ztschr. physikal. Chem. 36, 28 [1901].

⁴⁷⁾ s. z. B. Ztschr. Elektrochem. 24, 321 [1918].

⁴⁸⁾ s. z. B. Hückel. Ergebn. exakt. Naturwiss. 3, 199 [1924].

genannt, nämlich: die Deutschen R. Abegg, G. Bredig, V. Kohlschütter, W. I. Müller, E. Marx, M. Reinganum und V. Rothmund; die Engländer E. Walker und W. Tate; der Amerikaner H. C. Jones; der Holländer E. Cohen; der Däne Th. Madsen; der Finne W. Öholm und die Russen J. K. Fanjung und D. Gardner. Es würde zu weit führen, wenn man auf die einzelnen Untersuchungen, von denen viele für die weitere Entwicklung der physikalischen Chemie richtunggebend wirkten, eingehen wollte.

Ein besonderes Freundschafts-Verhältnis entwickelte sich zwischen Arrhenius und Hans von Euler, der bis zu seiner Verheiratung bei ihm wohnte. Euler wurde erst sein Assistent, leitete als solcher die physikalisch-chemischen Übungen und unterstützte ihn z. B. bei der Abfassung seines Lehrbuches über Elektrochemie. Schließlich wurde er Dozent und später Professor der Chemie. Auch als Arrhenius die Hochschule verließ, wurden die freundschaftlichen Beziehungen zwischen diesen beiden nicht unterbrochen.

In dem Maße wie das alte Arbeitsgebiet ihm keine genügende Anregung mehr bot, wandte sich Arrhenius neuen Fragen zu. Hierin war es sein Hauptbestreben, die Lehren der physikalischen Chemie auf die Nachbarwissenschaften zu übertragen. Von seiner Beschäftigung mit meteorologischen Fragen war schon die Rede. Nun ging er zur kosmischen Physik über. Besonders interessierte ihn der Ursprung des Nordlichtes, das zu beobachten er oft Gelegenheit hatte. Hierüber berichtete er zum ersten Male auf der Versammlung nordischer Naturforscher in Stockholm 1897⁴⁹⁾. Arrhenius führte die Hypothese ein, daß die bei den vulkanischen Eruptionen der Sonne, die durch Sonnenflecken-Bildung direkt beobachtbar sind, ausgeschleuderten Gasmassen sich in den äußerst verdünnten Schichten der Korona zum Teil kondensieren. Bei den kleinsten dieser Teilchen überwiegt die abstoßende Kraft des Lichtdrucks die Anziehung durch die Schwerkraft. Sie werden daher in den Weltenraum hinausgeschleudert. Da sie negativ geladen sind, so erteilen sie bei ihrem Auftreffen auf die äußersten Schichten unserer Atmosphäre diesen eine elektrische Ladung. Die Entladungen, durch die sich die so gebildeten Elektrizitätsmengen wieder ausgleichen, weisen in den verdünnten Gasschichten, wie von den Nordlichtern bekannt ist, die Eigentümlichkeiten der Kathodenstrahlung auf. So erklärt sich der Zusammenhang zwischen Sonnenflecken und Polarlichtern. Später ist Arrhenius noch mehrmals auf diese Frage zurückgekommen und wies auf die Bestätigungen hin, die seine Theorie durch neuere Messungen gefunden hat⁵⁰⁾. Er berechnete ferner, daß sich die Bildung der Sonnen-Korona und die abstoßende Wirkung der Sonne auf die Kometen-Schweife ebenfalls durch die Wirkung des Lichtdrucks erklären lasse.

Endlich schuf er damals seine neue Theorie des Vulkanismus. Dieser beruht seiner Meinung nach darauf, daß das Wasser durch den Meeresboden in das Magma eindringt. Der Meeresboden verhält sich hierbei wie eine

⁴⁹⁾ Über zwei Perioden kosmischen Ursprungs bei Nordlicht und Gewitter. Ber. über die Naturforscher-Versammlung Stockholm 1897. — Über die Ursache der Nordlichter. Öfversigt 1900, 545 und Physikal. Ztschr. 2, 81 und 97 [1900].

⁵⁰⁾ Die Nordlichter in Island und Grönland. Meddelanden 1, Nr. 6 [1906]. — Nordlicht und Gewitter. Meddelanden 2, Nr. 4 [1909]. — Neuere Untersuchungen über Nordlichter. Vetenskapen och lifvet 4, 371 [1918].

halbdurchlässige Membran, die die Salze zurückhält und nur das reine Wasser hindurchläßt. Wasser ist bei Zimmer-Temperatur bekanntlich eine Säure, etwa von der Stärke der Kieselsäure. Bei 1000° wird es eine 80-mal so starke, bei 2000° eine 300-mal so starke Säure wie die Kieselsäure. Es zersetzt daher bei den hohen, im Erdinnern herrschenden Temperaturen die Silicate unter Bildung von Hydroxyden und freier Kieselsäure. Dadurch wird das Magma aufgebläht. Es dringt durch die Spalten der Erdkruste in höhere und kühlere Schichten empor. Unter der Einwirkung des verminderten Drucks beginnt hier das Wasser zu siedeln. Das hat vulkanische Eruptionen zur Folge. Deshalb liegen die Vulkane stets in der Nähe des Meeres, längs den Bruchkanten der Erdrinde⁵¹⁾. Auch andere Probleme der kosmischen Physik nahmen in der Folge öfters seine Aufmerksamkeit in Anspruch und regten ihn zu physikalisch-chemischen Betrachtungen über dieselben an⁵²⁾.

Viel weniger als seine Forscher- befriedigte ihn seine Lehrtätigkeit. Seine Vorlesungen waren gut ausgearbeitet und klar vorgetragen, jedoch nur wenig durch Experimente illustriert, und im Grunde viel weniger anregend als die persönliche Unterhaltung und die wissenschaftliche Diskussion mit ihm. Außerdem war an der damals noch schwach besuchten Universität naturgemäß die Zahl der Schüler nicht groß. Um auf einen weiteren Kreis wirken zu können, beschloß er seine Vorlesungen in Buchform herauszugeben, und machte den Anfang mit der über Elektrochemie, die als „Lehrbuch der Elektrochemie“⁵³⁾ im Jahre 1900 erschien. Dieses Buch war Jahrzehnte hindurch das führende Lehrbuch seines Gebietes, und wenn es auch heute veraltet ist, da keine neue Auflage herauskam, sondern nur Neudrucke der ersten veranstaltet wurden, so gibt es noch immer kein Lehrbuch, welches das Arrheniussche völlig ersetzen könnte.

Arrhenius war mittlerweile Mitglied der Norwegischen Akademie der Wissenschaften, wurde jedoch — dafür sorgten seine Gegner — nicht in die Schwedische Wissenschafts-Akademie gewählt. Eine Einwahl in diese kam zum ersten Male ernstlich in Frage, als im Jahre 1899 durch den Tod Blomstrands ein Platz in der Klasse Chemie frei wurde. Als ihm dieser angeboten wurde, lehnte er ab, weil er sich, obwohl er meist auf dem Grenzgebiet arbeitete und viele seiner Arbeiten eine größere chemische als physikalische Bedeutung hatten, doch immer als Physiker fühlte. Hinzu kam, daß er fürchtete, eine Einwahl in die Chemiker-Klasse könne ungünstig auf seine schwer errungene Stellung als Professor der Physik an der Hochschule wirken.

Zwei Jahre später wurde ein Platz in der Klasse Physik der Akademie frei. Um die Einwahl von Arrhenius zu verhindern, stellten Thalén, Hasselberg usw., da sie keinen geeigneteren fanden, die Kandidatur eines alten norwegischen Meteorologen namens Mohn auf. Die Gesamtakademie ging aber auf den Vorschlag der Klasse nicht ein, sondern setzte die Wahl von Arrhenius durch. So kam er, trotz des heftigen Widerspruchs seiner nächsten Kollegen, im Jahre 1901 doch noch in die Akademie.

⁵¹⁾ Zur Physik des Vulkanismus. Geol. Fören. Förh. Nr. 201, 22, H. 5 [1901].

⁵²⁾ Die Verteilung der Himmelskörper. Meddelanden 2, Nr. 20 [1912]. — Neuere Untersuchungen über die Nebulosen. Vetenskapen och lifvet 1, 98, 239 und 342 [1917].

⁵³⁾ Lärobok i teoretisk elektrokemi. Stockholm 1900. Deutsche Übersetzung von H. von Euler, Leipzig 1901; Englische Übersetzung von McCrae, London 1902.

Seine Tätigkeit dehnte er in diesen Jahren gleichzeitig auf zwei neue Gebiete aus. Die großen technischen Erfolge, die der Ausbau der Niagara-fälle im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts mit sich brachte, lenkten die Aufmerksamkeit des schwedischen Staates auf die Naturschätze, die auch diesem Lande in Form von ausnutzbaren Wasserfällen zur Verfügung stehen. Nun handelte es sich um die Frage, wie der Ausbau technisch und wirtschaftlich in der für das Land günstigsten Weise erfolgen könne. Arrhenius erhielt den Auftrag, an der Spitze eines aus verschiedenen Fachleuten gebildeten Komitees die elektrischen Anlagen besonders der Schweiz und Italiens zu besuchen. Hierdurch wurde sein Interesse für die Fragen der Kraftversorgung erweckt. Seine Untersuchungen hierüber hat er in dem „Bericht über eine Auslandsreise für das Wasserfall-Komitee“⁵⁴⁾ niedergelegt. Die Anregungen, die er damals gab, sind im wesentlichen befolgt worden und haben mit dazu geführt, daß Schweden heute von einem ganzen Netze von Kraftleitungen durchzogen ist, deren Energie-Bedarf durch die Wasserkraft-Anlagen von Trollhättan, Porjus usw. gedeckt wird. Die hierdurch angeregten Gedankengänge verfolgte er weiter und beschäftigte sich mit der Frage, wie lange der Erdöl- und Kohle-Vorrat der Erde ausreichen würde, um den durch die zunehmende Zivilisation andauernd steigenden Kraftbedarf der Menschheit zu decken⁵⁵⁾, und welche Energiequellen noch zur Verfügung ständen, wenn diese Vorräte erschöpft sind. Das führte ihn zu den Sonnen-Maschinen und der Untersuchung ihrer Leistungsfähigkeit⁵⁶⁾. Er kam zu der Ansicht, daß in einer fernen Zukunft die Sonnen-Maschinen in den Tropen und die Wind-Maschinen in den nördlichen Teilen der gemäßigten Zone die Hauptkraftquellen der Menschheit sein würden.

Das zweite Gebiet, mit dem er sich neu zu beschäftigen begann, war die physiologische Chemie. Den Anlaß dazu bildete die Anregung, die von dem Serologen Th. Madsen aus Kopenhagen ausging, der in diesen Jahren bei Arrhenius im Physikalischen Institute arbeitete. Madsens Forschungsgebiet waren Fragen der Immunochemie, nämlich das Studium der die Bindung von Toxinen durch Antitoxine beherrschenden Gesetzmäßigkeiten. Zur Zeit, als sich Arrhenius der Serum-Therapie zuwandte, waren die theoretischen Ansichten Paul Ehrlichs maßgebend. Ehrlich hatte zur Erklärung der partiellen Absättigung von Toxinen mit Antitoxinen die sogenannte „Seitenketten-Theorie“ geschaffen. Er machte sich die Vorstellung, daß in den Toxinen Gifteigenschaft und Neutralisationsvermögen verschiedenen Arten von Gruppen zukomme, von denen er die eine Art toxophore, die andere haptophore Gruppen nannte. In dem Molekül der giftigen Substanz liegen die einzelnen Gruppen ziemlich weit voneinander, so daß in der einen Gruppe chemische Veränderungen vor sich gehen können, ohne die Eigenschaften der anderen Gruppe wesentlich zu beeinflussen. Um für diese Vorstellung einen Ausdruck zu finden, nahm

⁵⁴⁾ Meddelanden från K. Jordbruksdep. 1901, Nr. 1, S. 57.

⁵⁵⁾ Energie-Quellen der Zukunft. Vetenskapsakademiens-Årsbok 1920, S. 213; Journ. Franklin Institute 196, 114 [1920]; Chem. and Metallurg. Engineer. 1920, 67; Giorn. chimica industr. 2, 506 [1920] und Revue scientif. 1923, 289.

⁵⁶⁾ Sonnen-Maschinen, Vortrag am Gründungstag der Wissenschafts-Akademie, den 31. März 1915. K. Vetenskapsakademiens-Årsbok 1915, 263.

Ehrlich an, daß die Gruppen an den mittleren Teil des Moleküls in derselben Weise wie die Seitenketten eines Benzol-Derivates gebunden sind. Die rein empirisch gefundenen, zahlenmäßigen Beziehungen zwischen der Menge des angewandten Toxins und der zu seiner Entgiftung erforderlichen Antitoxin-Menge deutete Ehrlich in folgender Weise: Beim Zusatz von Antitoxin werden zunächst diejenigen Toxine gebunden, oder, wie er sagte, „verankert“, welche die größte Affinität zu den Antitoxinen haben. Diese nannte er Prototoxide. Zum Schluß verankert das Toxin auch diejenigen Gruppen, welche die geringste Affinität zum Antitoxin haben, die er Toxone nannte.

Dieser Auffassung Ehrlichs setzte Arrhenius eine neue gegenüber, die darauf basierte, daß sich die Toxine zu den Antitoxinen so verhalten, wie schwache Säuren zu schwachen Basen. Wie diese in wäßriger Lösung durch das hydrolytische Gleichgewicht miteinander verknüpft sind, so soll auch im Serum ein Gleichgewicht bestehen zwischen Toxin, Antitoxin und dem aus diesen beiden gebildeten Additionsprodukt.⁵⁷

Um diese neue Auffassung am Experiment zu prüfen, ging Arrhenius im Jahre 1901 zu Madsen nach Kopenhagen und arbeitete mit ihm gemeinsam am Serum-Institut des dänischen Staates⁵⁷). Auch im folgenden Sommer wurden die gemeinsamen Untersuchungen in Kopenhagen fortgesetzt. In diese Zeit fielen die Einweihungs-Feierlichkeiten des neuen Serum-Instituts, zu dessen Leiter sein Freund und Mitarbeiter Madsen ausersehen war. Zu dieser Feier war auch Ehrlich nach Kopenhagen gereist. Er lernte dort Arrhenius kennen und forderte ihn auf, nach Frankfurt a. M. zu kommen, um an seinem Institut die begonnenen Untersuchungen weiter zu führen. Dieser Aufforderung leistete Arrhenius Folge und verbrachte einen großen Teil des Jahres 1903 und auch noch den Anfang des Jahres 1904 in Frankfurt a. M.

Aus dieser Zeit erzählte er folgende kleine Episode: Der bekannte Ministerialdirektor Althoff hatte sich eines Tages bei Ehrlich angemeldet, um über den Neubau des Instituts zu verhandeln. Ehrlich war zu seinem Empfang an der Bahn erschienen und begrüßte devot den mächtigen Mann. Althoff machte eine verwunderte und ungnädige Miene und fragte den Professor, ob er denn nicht sein Telegramm bekommen hätte, daß er mit einem späteren Zuge ankäme. Ehrlich verneinte, denn das Telegramm war versehentlich nicht rechtzeitig bestellt worden, und verabschiedete sich, da Althoff offenbar allein gelassen sein wollte. Nun ging Althoff direkt in das Ehrlichsche Institut, sprach zunächst mit einem der Hausmeister, den er seit langem kannte, kam dann aufs Zimmer zu Arrhenius und plauderte behaglich mit ihm über den Institutsklatsch, während Ehrlich im Gange nervös auf und ab lief. Auf diese etwas ungewöhnliche Art zog Althoff erst nähere Informationen ein, ehe er mit dem Instituts-Direktor über die damals aktuelle Frage der Instituts-Erweiterung zu verhandeln anfang.

⁵⁷) Physical chemistry applied to toxins and antitoxins. Festschrift v. inv. af Stat. Serum-Inst. 1902, S. 87 und Ztschr. physikal. Chem. 44, 7 [1903]. — The molecular weight of diptheria toxin. Festschrift v. inv. af Stat. Serum-Inst. 1902, S. 7. — Toxines et antitoxines. Le poison diptherique. Öfvers. af K. Danske Vid. Selsk. Forh. 1904, Nr. 4. S. 269.

Mit der physikalisch-chemischen Auffassung, die Arrhenius zur Erklärung der immunochemischen Erscheinungen vorschlug, war Ehrlich durchaus nicht einverstanden. Daher trübte sich bald das anfangs sehr freundschaftliche Verhältnis zwischen beiden, und im Spätsommer 1903 veröffentlichte Ehrlich⁵⁸⁾ die erste heftige Streitschrift gegen Arrhenius und Madsen, in der er besonders das verschiedene Verhalten von Diphtheriegift und Tetanolysin, das den Starrkrampf hervorrufende Gift, betonte, welches diese beiden als gleichartig behandelt hatten. Während Tetanolysin nur eine Art Gift enthält, bestehe das Diphtheriegift aus einer Anzahl Partialgifte und ungiftiger Substanzen. Eine Unterstützung fand Ehrlich bei Nernst⁵⁹⁾, und es kam auf der Hauptversammlung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft in Bonn am 24. Mai 1904 zu einer recht dramatischen Aussprache zwischen Arrhenius einerseits und Nernst und Ehrlich andererseits. Nach der Ehrlichschen Auffassung ist die Bindung zwischen Toxinen und Antitoxinen keine lockere, sondern im Gegenteil unlösbar, worauf der von ihm geprägte Ausdruck „Verankerung“ hinweisen soll. Nernst schloß sich dieser Auffassung an und bestritt die Berechtigung der Arrheniusschen Hypothese, daß die Reaktion zwischen Toxinen und Antitoxinen reversibel sei. Seiner Meinung nach dürften infolgedessen die Formeln der chemischen Gleichgewichtslehre auf diese Erscheinungen nicht angewendet werden. Die Arrheniusschen Formeln hätten im besten Falle den Wert von guten Interpolationsformeln⁶⁰⁾.

Die Bonner Debatte führte zu keiner Klärung der Sachlage. Die Komplikationen rühren nach Arrhenius hauptsächlich daher, daß die untersuchten Toxine und Antitoxine nicht in reiner Form darstellbar und außerordentlich leicht zersetzlich sind. Auch sind die Reaktionsprodukte nicht immer chemisch indifferent, sondern greifen ihrerseits wieder in die Reaktion ein. Deshalb müssen die einfachen, zur Darstellung der Hydrolyse ausreichenden Formeln zur Beschreibung der Immunisierungs-Vorgänge durch die Einführung von Korrektionsgliedern und von Zusatz-Hypothesen kompliziert werden. So muß man in einigen Fällen annehmen, daß sich aus 1 Mol. Toxin und 1 Mol. Antitoxin mehr als 1 Mol. (nämlich bis zu 2 Mol.) der Additionsverbindung bilden. Endlich darf nicht übersehen werden, daß die meisten Reaktionen, mit denen sich die Serum-Therapie beschäftigt, in heterogenen Systemen vor sich gehen. Mit alledem hängt es zusammen, daß die nach Arrhenius anfangs reversibel verlaufenden Erscheinungen schließlich irreversibel werden.

Zur Stützung seiner Theorie führte Arrhenius auch in den folgenden Jahren zahlreiche serum-therapeutische Arbeiten teils selbst aus, teils ließ er sie durch seine Schüler machen. Auch zahlreiche, von anderer Seite gewonnene Versuchs-Ergebnisse legte er seinen Berechnungen zugrunde. Hierbei zeigte sich in ganz besonderem Maße seine Fähigkeit, sogenanntes totes Material der Wissenschaft nutzbar zu machen. So verwandte er zur Stützung seiner Theorie in glücklicher Weise den Danysz-Effekt, der von der Ehrlichschen Schule als Argument gegen die Arrheniussche Auffassung herangezogen worden war. Der Danysz-Effekt besteht darin, daß die Wirkung

⁵⁸⁾ Deutsche Medizinische Wochenschrift.

⁵⁹⁾ Ztschr. Elektrochem. 10, 377 [1904].

⁶⁰⁾ Über die Giftkomponenten des Diphtherie-Toxins. Berl. klin. Wchschr. 40, 793 u. 848 [1903].

des Antitoxins eine verschiedene ist, je nachdem, ob man es auf einmal oder portionsweise dem Gifte zusetzt. Die Untersuchungen ergaben, daß auch die von Danysz aufgefundene Anomalie durch einige der schon vorher genannten Komplikationen verursacht ist⁶¹⁾.

Im Anschluß an seine serum-therapeutischen Untersuchungen beschäftigte er sich mit der Schützschenschen Regel, die in der Physiologie eine gewisse Rolle spielt. Sie besagt, daß die von verschiedenen Mengen Pepsin in einer bestimmten Zeit verdauten Eiweißmengen der Quadratwurzel aus diesen Pepsin-Mengen proportional sind. Arrhenius wies darauf hin, daß eine nötige und genügende Bedingung für diese Regel, die immer nur für den Anfang einer Reaktion zutrifft, die ist, daß die Reaktionsgeschwindigkeit der umgesetzten Menge umgekehrt proportional ist. Diese Bedingung kann auch bei rein chemischen Reaktionen erfüllt sein. Sie ist es z. B. bei der Verseifung von Äthylacetat mit Ammoniak, bei der das die Reaktionsgeschwindigkeit bestimmende OH' mit dem H' der bei der Verseifung entstehenden freien Essigsäure unter Wasser-Bildung reagiert. Arrhenius konnte zeigen, daß für den ersten Teil dieser Reaktion die Schützschensche Regel gut erfüllt ist⁶²⁾.

Auch mehrere Zusammenfassungen des ganzen Gebietes sind von seiner Hand erschienen, so die „Immunochemie“⁶³⁾, ein kurz gefaßtes Lehrbuch der Immunitätslehre, und ein Jahr später eine Zusammenfassung der neueren Forschungs-Ergebnisse unter dem gleichen Titel⁶⁴⁾. Während des Krieges veröffentlichte er nochmals eine Monographie über dieses Gebiet⁶⁵⁾, und in den letzten Lebensjahren trug er sich mit dem Gedanken, das Interesse für seine Betrachtungsweise serum-therapeutischer Prozesse durch eine völlige Umarbeitung der „Immunochemie“ neu zu beleben.

⁶¹⁾ Zur physikalischen Chemie der Agglutinine. Ztschr. physikal. Chem. **46**, 415 [1903]. — Die physikalische Chemie der Serum-Therapie. Svensk Kemisk Tidskrift **1903**, 151; Arbb. Kaiserl. Gesundh.-Amts **20**, 16 [1903]; Chem. Weekblad **1904**, Nr. 38; Boltzmann-Festschrift **1904**, 860; Bull. Inst. Pasteur, Conférence 20. mai **1904**; Bull. Soc. chim. Paris **1905**. — Zur Theorie der Bindung von Toxin und Antitoxin. Berl. Klin. Wochenschr. **1904**, Nr. 9. — Versuche über die Hämolyse. Meddelanden **1**, Nr. 10 [1908]. — Versuch über Agglutination und Koagulation. Festband d. Hygiea **1908**, Nr. 4, und Journ. Amer. chem. Soc. **30**, 1382 [1908]. — On the nature of precipitine reaction. Zusammen mit H. J. Hamburger. Proceed. K. Akad. Weetensch. Amsterdam **1906**, 26. Mai. — Anwendung der physikalischen Chemie auf die Immunitätslehre. Svensk Kemisk Tidskrift **1906**, Nr. 7. — Hämolytische Versuche. Biochem. Ztschr. **11**, 161 [1908]. — Versuche über Fällung von Eiweißkörpern und Agglutinationen von Erythrocyten. Meddelanden **1**, Nr. 13 [1909]. — Die Reaktionen des Vibriolysins nach Versuchen von Dr. Th. Madsen und Dr. V. Terunchi. Meddelanden **2**, Nr. 39 [1913]. — Verteilung, Hemmung und Beschleunigung bei der Hämolyse. Zusammen mit Fr. Bubanovic. Meddelanden **2**, Nr. 32 [1913]. — Anwendungen der physikalischen Chemie in der Immunitätslehre. Ztschr. Chemotherapie u. verwandt. Gebiete **1914**, 157. — L'effet de Danysz. Gemeinsam mit Dr. Th. Madsen. Meddelanden **1**, Nr. 3 [1906]. — On the Danysz Effect. Journ. Hygiene **8**, 1 [1908]. — Die Serum-Therapie vom physikalisch-chemischen Gesichtspunkte. Ztschr. Elektrochem. **10**, 661 [1904].

⁶²⁾ Über die Schützschensche Regel bei Reaktionsgeschwindigkeiten. Meddelanden **1**, Nr. 9 [1908].

⁶³⁾ Das Werk ist in englischer Sprache geschrieben. Immunochemistry. New York 1907. Deutsche Übersetzung von Alexis Finkelstein, Leipzig 1907.

⁶⁴⁾ Ergebn. d. Physiol., Wiesbaden **1908**, S. 480.

⁶⁵⁾ Quantitative laws in biological chemistry. New York und London 1915.

Allmählich reiften die Früchte seiner Forschungsarbeit, und es häuften sich die Ehrungen, die ihm zuteil wurden. Im Jahre 1902 hatte er von der Royal Society in London die Davy-Medaille erhalten, die als eine besonders hohe Auszeichnung angesehen wird; in dem darauffolgenden Jahre empfing er als erster Schwede den Nobel-Preis, und zwar für Chemie, eine Ehrung, an der das ganze schwedische Volk teilnahm. Chemie-Preise hatten vorher nur van't Hoff (1901) und Emil Fischer (1902) erhalten. Sein Nobel-Vortrag behandelt die Entwicklung der Dissoziations-Theorie⁶⁶⁾.

Um diese Zeit machte er sich daran, das bisher nur ganz verstreute Material über die physikalische Erklärung der irdischen und himmlischen Erscheinungen zusammenzustellen. Er schuf damit das erste „Lehrbuch der kosmischen Physik“, das er, um dem Buche eine größere Verbreitung zu geben, von vornherein in deutscher Sprache schrieb. Damit wurde die kosmische Physik als eine selbständige Wissenschaft begründet. Der große Aufschwung, den diese Wissenschaft in unserem Jahrhundert genommen hat, geht nicht zum wenigsten auf die Untersuchungen von Arrhenius und die Abfassung des ersten Lehrbuches für diese Disziplin zurück⁶⁷⁾.

Nun begann auch Amerika sich um den berühmten Mann zu bemühen. Er wurde aufgefordert, im Sommer 1904 Vorlesungen an der Universität Berkeley (Kalifornien) zu halten. Er sprach dort über Immunochemie und über Molekulartheorien. Die erste Vortragsreihe erschien in erweiterter Form als „Lehrbuch der Immunochemie“, das schon erwähnt wurde. In der zweiten gab er einen Überblick über die Geschichte der Molekular- und Ionen-Theorie. Später wurden auch diese Vorlesungen gedruckt: zunächst in deutscher Sprache, übersetzt von seinem Freunde Alexis Finkelstein, dann auch in englischer und russischer Übersetzung⁶⁸⁾. In dieser historischen Darstellung führte er aus, daß jede neue Theorie nur Gedankengänge verfolgt, die von früheren Forschern schon angedeutet wurden, und daß dadurch der Gesamtbau der Wissenschaft, trotz der Vielheit der zu seiner Errichtung angewandten Stile, einen einheitlichen Eindruck macht. Diese Schrift gehört zu den besten historischen Darstellungen der theoretischen Forschungen des 19. Jahrhunderts und wird als solche ihren Wert dauernd behalten.

Auf dem Rückwege von Kalifornien leistete er der Aufforderung Folge, am „Elektriker-Kongreß“ teilzunehmen, der anlässlich der Weltausstellung in St. Louis tagte. Von diesem Besuche war er sehr enttäuscht. Zu den beiden Vorlesungen, die er auf Wunsch der Kongreßleitung hielt, hatte sich ein wenig zahlreiches und uninteressiertes Publikum eingefunden, und außerdem spielte im Nebenzimmer ein Riesenorchestrier, so daß er sich kaum verständlich machen konnte.

Vorher hatte er die berühmte Lick-Sternwarte besucht. Dort stellte er Berechnungen über die Masse der Sonnen-Korona an. Er kam dabei zu dem verwunderlichen Resultat, daß dieselbe nicht größer als etwa 50000 t ist, also etwa so groß wie ein moderner Ozeandampfer, z. B. die „Bremen“⁶⁹⁾.

⁶⁶⁾ The development of the Theory of Electrolytic dissociation. Proc. Roy. Inst. 17, part 3 [1904] und Les Prix Nobel 1903 [1906].

⁶⁷⁾ Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig 1903.

⁶⁸⁾ Theorien der Chemie. Leipzig 1906. Englische Übersetzung von T. Slater Price, London 1907; russische Übersetzung 1907.

⁶⁹⁾ On the physical nature of the solar corona. Lick Observatory Bulletin 1904, Nr. 58, S. 188. — Über die Korona der Sonne. Nordisk Tidskrift 1905, 1.

Sein Interesse für die Fragen der kosmischen Physik wurde durch diesen Besuch neu erweckt. Ihn beschäftigte jetzt die Frage nach der Entstehung des Lebens auf der Erde, und er berechnete, daß Sporen durch den Lichtdruck von einem Himmelskörper zum anderen transportiert werden können. Damit entfällt die Notwendigkeit anzunehmen, daß das Leben auf der Erde entstanden ist: es kann durch Sporen von einem anderen Planeten durch den Weltenraum auf die Erde übertragen sein. So kam er zu der Theorie der Panspermie, d. h. zu der Annahme, daß es immer Lebewesen gegeben habe, und daß nur der Himmelskörper, auf dem sich die Lebewesen zu höherer Vollendung entwickeln konnten, im Laufe der Zeiten wechselte. Hieraus würde folgern, daß alle Lebewesen der Welt miteinander verwandt sind⁷⁰). In seiner letzten wissenschaftlichen Arbeit, die er kurz vor seinem Tode zur Veröffentlichung gab, konnte er auf eine Erscheinung hinweisen, die seine Ansicht bestätigte. Auf der Erde finden sich in vulkanischen Gebieten sogenannte thermophile Bakterien, die zwar vorübergehend sehr tiefe Temperaturen vertragen, dauernd aber nur bei Temperaturen zwischen 40° und 80° existieren können. Da sich die Oberflächen-Temperatur der Venus auf etwa 50° berechnet, so besteht die Möglichkeit, daß diese Bakterien von der Venus durch den Weltenraum zur Erde gekommen sind⁷¹).

Das Jahr 1905 war, wie er selbst sagt, für ihn ein besonderes glückliches. Es fing damit an, daß er zum Ehrenmitglied der Deutschen Chemischen Gesellschaft gewählt wurde und bei seiner Anwesenheit in Berlin in der Sitzung am 23. Januar das Ehrendiplom aus der Hand seines Freundes van 't Hoff entgegennehmen konnte.

Um die gleiche Zeit knüpfte Althoff mit ihm Verhandlungen an, um ihn für die elektrochemische Professur an der Technischen Hochschule in Charlottenburg zu gewinnen. Als die schwedische Regierung durch Arrhenius von diesem Angebot der preußischen Regierung erfuhr, tat sie alles, um den berühmten Gelehrten im Lande zu behalten. Es war nicht leicht, einen gangbaren Weg zu finden, da die schwedischen Hochschul-Verhältnisse nicht die gleiche Beweglichkeit wie die deutschen haben. So war es von vornherein ausgeschlossen, einen besonderen Platz für Arrhenius entweder in Stockholm oder an einer der beiden anderen Landes-Universitäten zu schaffen. Schließlich griff der König persönlich ein, und es wurde folgender Ausweg gefunden: Nach dem Statut der Nobel-Stiftung sollte je ein Nobel-Institut für Chemie und eines für Physik geschaffen werden, welche die Aufgabe haben sollten, die Fortschritte der Wissenschaft auf diesen Gebieten zu beobachten, und in denen auch wissenschaftliche Untersuchungen ausgeführt werden sollten. Um die hierfür erforderlichen Geldmittel zu schaffen, wurden kleine Summen vom Zinsertrag der Nobel-Stiftung, deren größter Teil als Preise verteilt wird, abgezweigt. Die dadurch aufgelaufenen Fonds waren damals, im siebenten Jahre nach Errichtung der Stiftung, noch so klein, daß an den Bau auch nur eines der beiden Institute nicht gedacht werden konnte. Es wurde daher zunächst ein kleines Nobel-Institut für physikalische Chemie geschaffen, und Arrhenius zu dessen Direktor bestimmt.

⁷⁰) Ausbreitung des Lebens im Weltenraum. Nordisk Tidskrift 1906, 189. — On the electric charge of the Sun. Terr. Magnetism 10 [1905]; Proc. Roy. Soc. 78, 496 [1904]; Electrical Congress St. Louis 1904, I, 274.

⁷¹) Die thermophilen Bakterien und der Strahlungsdruck der Sonne. Ztschr. physikal. Chem. 130, 516 [1927].

Am 25. März erfolgte seine Verlobung mit der reizvollen und lebenswürdigen Maria (Maja) Johansson. Er hatte seine Braut im Hause ihres Bruders, des Stockholmer Physiologie-Professors Johan (Jöns) E. Johansson, kennen gelernt, mit dem er seit der Leipziger Zeit (Johansson arbeitete damals bei dem berühmten Physiologen Ludwig) eng befreundet war.

Im Sommer dieses Jahres trat eine totale Sonnen-Finsternis ein, die man von der pyrenäischen Halbinsel aus beobachten konnte. Die seltene Gelegenheit, selbst Beobachtungen über die Erscheinungen machen zu können, welche ihn seit Jahren intensiv beschäftigten, wollte er sich nicht entgehen lassen. Zusammen mit seinem guten Freunde, dem Mathematiker an der Technischen Hochschule Gustav Kobb, reiste er nach Spanien und schloß sich der von der Lick-Sternwarte ausgerüsteten und von dem berühmten Astronomen Campbell geführten Expedition an, die als Beobachtungsplatz den kleinen Ort Alhama de Aragon gewählt hatte. Gerade über diesem Neste war während der Verfinsterung wolkenloser Himmel, während viele andere Expeditionen, zum Teil nur wenige Meilen entfernt, wegen Bewölkung nichts beobachten konnten.

Kurz nach seiner Rückkehr von der spanischen Reise fand die Verheiratung statt. Die Ehe wurde sehr glücklich. Seine Frau verstand es, ihm ein schönes und behagliches Heim einzurichten. Von Jahr zu Jahr stieg die Zahl der Gelehrten aller Länder, die zu Arrhenius kamen. Sie alle aufzunehmen, war keine leichte Aufgabe für die Wirtin. Aber die Gastlichkeit des Arrheniusschen Hauses kannte keine Grenzen. Im Jahre 1909 erhielt er einen Sohn, Sven, der zurzeit an der Universität Stockholm Chemie studiert, und in den Jahren 1913 und 1914 zwei Töchter, Ester und Anna-Lisa, die bei seinem Ableben noch die Schule besuchten.

Etwa gleichzeitig mit seiner Verheiratung verließ Arrhenius die Hochschule, deren Geschicke er bis dahin als Rektor geleitet hatte, und ging an die Einrichtung des neuen Instituts. Dazu mietete er in dem Hause Bergsgatan 18, in welchem er die dritte Etage bewohnte, in der fünften eine Wohnung, bestehend aus drei Zimmern und Küche. Diese bildete von 1905 bis 1909 die Räume des Instituts. Als Assistenten nahm er seinen alten Assistenten von der Hochschule Harald Lundén mit, und als Diener (Wachtmeister) stellte er Elof Lindby an, der ihn bis zu seinem Tode ein treuer Gehilfe geblieben ist. Es wurden nur wenige, sehr einfache Instrumente angeschafft, wie überhaupt Arrhenius zeitlebens seine Untersuchungen mit den allereinfachsten experimentellen Hilfsmitteln durchzuführen pflegte. Selten benutzte er mehr als Büretten, Pipetten, Thermometer, ein Ostwaldsches Viscosimeter, eine Kohlrauschsche Meßbrücken-Anordnung, eine Zentrifuge und einen Thermostaten. Gleichzeitig mit dem Institut gründete er auch eine Zeitschrift „Meddelanden från K. Vetenskapsakademiens Nobel-Institut“, in der alle im Institut ausgeführten Untersuchungen veröffentlicht wurden. Sechs Bände lagen bei seinem Ableben vor. Die Zeitschrift ist seitdem nicht weitergeführt worden.

Von auswärtigen Gelehrten arbeiteten bei ihm in der Dachwohnung in der Bergsgatan u. a. die Russen Gardner, Jarkowski und Maximoff und der Amerikaner A. E. Taylor aus Berkeley. Daniel Gardner ist auch in der Folge bis in die Kriegszeit hinein fast alljährlich nach Stockholm gekommen und einer seiner liebsten und treuesten Schüler geworden.

Als Direktor des Nobel-Institutes hatte Arrhenius die Aufgabe, die physikalische und chemische wissenschaftliche Literatur zu verfolgen, um auf Ansuchen des Nobel-Komitees Gutachten über die für den Nobel-Preis vorgeschlagenen Kandidaten zu erstatten. Auch gehörte er selbst einem der Nobel-Komitees an, das die motivierten Vorschläge der Akademie der Wissenschaften vorlegt, die ihrerseits die letzte Entscheidung zu fällen hat, nämlich dem Nobel-Komitee für Physik. Daneben blieb ihm genügend Muße für eigene wissenschaftliche Betätigung. Er setzte seine immunochemischen Untersuchungen fort und wurde dadurch zum Studium der Adsorptions-Erscheinungen geführt. Um deren Verlauf in einem weiteren Gebiete zu beschreiben, als es die meist angewandte Freundliche Gleichung gestattet, stellte er ein neues Adsorptions-Gesetz auf. In diesem berücksichtigte er das Bestehen eines Maximums der Adsorption, auf das er etwa gleichzeitig mit G. C. Schmidt⁷²⁾ zum ersten Male hinweist. Dasselbe ist dadurch charakterisiert, daß die adsorbierende Schicht mit adsorbierten Molekülen vollkommen überdeckt ist⁷³⁾. Daß diese Bedeckung nur durch eine einfach molekulare Schicht hervorgerufen wird (Longmuir), das zu erkennen, reichten die damaligen experimentellen Mittel nicht aus.

Eine äußere Veranlassung, nämlich der Bau eines neuen Sitzungssaales der Stockholmer Ärzte-Gesellschaft, führte ihn auf ein neues Gebiet. Da dieser Saal eine sehr schlechte Akustik hatte, trat die Ärzte-Gesellschaft an Arrhenius mit der Bitte heran, dieselbe zu verbessern. Ganz fremd war ihm die Beschäftigung mit diesem Gebiete der Physik nicht. Schon früher einmal hatte er sich auf Veranlassung der Lotsen-Direktion mit dem Eindringen des Schalls in Wasser beschäftigt⁷⁴⁾. Jetzt schuf er eine Formel, in der er den Zusammenhang zwischen der Echozeit, d. h. der Zeit, die der Schall braucht, um bis zu dem Orte seiner Entstehung zurückzukehren, und den für das Zustandekommen des Echos maßgebenden physikalischen Faktoren festlegte⁷⁵⁾.

Gleichzeitig schrieb er die erste seiner kosmologischen Schriften: „Das Werden der Welten“⁷⁶⁾, das eine Auflagenzahl wie kaum ein zweites populärwissenschaftliches Werk erlebte, und in sieben Sprachen übersetzt worden ist. Mit diesem Werke hat Arrhenius etwas ganz Neuartiges geschaffen. Nur Schriftsteller wie Jules Verne hatten bisher so allgemeines Interesse für kosmische Fragen in der ganzen Kulturwelt erwecken können. Selbst Flammarions Schriften haben keine so große Verbreitung gefunden. Weit mehr als durch seine Dissoziations-Theorie, die ja schließlich nur in dem verhältnismäßig kleinen Kreise der Naturwissenschaftler bekannt geworden ist, hat durch dieses Werk der Name Arrhenius Weltgeltung erhalten. Wenige Jahre darauf erschien „Die Vorstellungen vom Weltgebäude im Wandel der Zeit“⁷⁷⁾. Zur Abfassung dieses Buches wurde Arrhenius da-

⁷²⁾ Ztschr. physikal. Chem. **74**, 689 [1910].

⁷³⁾ Das Hauptgesetz der Adsorptions-Erscheinungen. Meddelanden **2**, Nr. 7 [1911].

⁷⁴⁾ Über die Fähigkeit des Schalles, aus Luft in Wasser einzudringen. Lotsstyrelsens berättelse, Stockholm 1899.

⁷⁵⁾ Akustik. Technisk Tidskrift, Afd. för Arkitektur H. 7 [1908].

⁷⁶⁾ Stockholm 1906. Deutsche Ausgabe, Leipzig 1907; finnische Ausgabe, Otava 1907; englische Ausgabe, London 1908; französische Ausgabe, Paris 1909. Im gleichen Jahre erschienen auch eine italienische und eine russische Ausgabe.

⁷⁷⁾ Stockholm 1908. Deutsche Ausgabe, Leipzig 1908; englische Ausgabe, London und New-York 1909.

durch mitbestimmt, daß im Auftrage der amerikanischen Svedenborg-Gesellschaft A. Stroh zu ihm kam, um bei ihm über die Entwicklung der kosmologischen Ideen zu arbeiten. Arrhenius schätzte die kulturelle Bedeutung dieses Teiles seiner Tätigkeit selbst recht hoch ein und widmete ihr viel Zeit. Beim Erscheinen neuer Auflagen scheute er niemals die Mühe, dieselben durch Änderungen und Ergänzungen wieder auf den neuesten Stand des Wissens zu bringen.

Der Nobel-Fonds war indessen so weit angewachsen, daß die Nobel-Stiftung an die Errichtung eines eigenen Gebäudes für das Physikalisch-chemische Institut denken konnte. Sie kaufte in Djurgårds-Frescati ein Terrain an, das für den Bau eines Physikalisch-chemischen, eines Physikalischen und eines Chemischen Nobel-Institutes ausreichen sollte. Mit dem Bau des Physikalisch-chemischen Institutes wurde im Jahre 1908 begonnen. Dasselbe liegt mitten im Grünen, auf einem mit alten Eichen bestandenen Hügel, zwischen der Forstakademie und der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt auf der einen und der Akademie der Wissenschaften und dem Reichsmuseum auf der anderen Seite. Das nach Arrhenius' Plänen gebaute Institut war ganz seinen Bedürfnissen angepaßt. Kein großer und prunkvoller Bau, sondern einfach und zweckmäßig. In der Mitte geräumig und doch wohnlich die Bibliothek, der Zentralpunkt des Ganzen; herumgelagert einige wenige kleine Laboratorien. Vom Institut führte ein Gang in Arrhenius' Arbeitszimmer mit dem großen Schreibtisch in der Mitte. Daran anschließend die Wohnung, die ihm seine Frau mit Geschmack behaglich und repräsentativ zugleich eingerichtet hatte. Das blieb die Stätte seines Schaffens und Wirkens bis in seine letzten Tage.

Im August 1909 wurde das neue Institut in Gegenwart vieler inländischer und ausländischer Gelehrten, darunter auch des Nobel-Preis-Trägers dieses Jahres, Wilhelm Ostwald, eingeweiht. Obwohl das neue Institut trotz des bescheidenen Ausmaßes Raum geboten hätte, zahlreiche experimentelle Arbeiten nebeneinander auszuführen, und die große Bibliothek alle Hilfsmittel für theoretische Forschungen aufwies, so hat Arrhenius auch jetzt nicht eine eigentliche Schule begründet. Das lag an der Methodik seiner Arbeitsweise. Für experimentelle Untersuchungen interessierte er sich nur soweit, als sie zur Herbeischaffung des für die theoretische Berechnung erforderlichen Zahlenmaterials unbedingt nötig waren. Er war der Ansicht, daß hierzu die einfachen Apparate und Anordnungen genügen sollten, die in den ersten Jahrzehnten physikalisch-chemischer Forschung ausgereicht hatten. So ließ er erst im Jahre 1914 elektrische Leitungen in das Institut legen. Bis dahin reichten die Strommengen aus, die eine kleine Akkumulatoren-Batterie zu geben imstande war, welche von Zeit zu Zeit zum Laden in die Stadt getragen wurde. Erst in den letzten Jahren seines Lebens wurden im Institut auf Vorschlag des bei ihm arbeitenden Lektors Aurén Röntgen-Einrichtungen aufgestellt. Die Beschaffung der großen Mittel, die hierzu erforderlich waren, hat ihm, der mit einem sehr beschränkten Etat hauszuhalten gewohnt war, manche schlaflose Nacht bereitet.

Daß er auch nicht theoretisch arbeitende Schüler in größerer Zahl hatte, lag in der Eigentümlichkeit seiner eigenen Arbeitsweise begründet. Er machte auch die elementarsten und langweiligsten Rechnungen stets selbst. Ebenso wie er alle seine Werke mit eigener Hand geschrieben und alle Korrekturen selbst erledigt hat. Seine Mitarbeiter ließ er entweder ihre eigenen Ideen selbst

ständig ausführen, oder er gab ihnen, wenn sie es wünschten, ein Thema und sah dann im allgemeinen erst die fertige Ausarbeitung durch. Hatte er an der Rechnung oder Darstellung etwas auszusetzen, so rechnete er die ganze Arbeit selbst durch, oder schrieb sie teilweise oder vollständig um. Es lag ihm viel besser, eine Verrichtung selbst auszuführen, als anderen Anweisungen über die Art der Ausführung zu geben. Aus diesem Grunde war er kein geeigneter Lehrer für Anfänger und Ungeübte. Einen Einblick in die Methodik seiner Forschungsart und somit einen wirklichen Nutzen von der Zusammenarbeit mit ihm hatten nur Fortgeschrittenere, welche die reichen Anregungen ausnutzen konnten, die man bei jedem wissenschaftlichen Gedanken-Austausch mit ihm erhielt. Es war also ganz seiner Persönlichkeit angemessen, daß immer nur wenige wissenschaftliche Arbeiter gleichzeitig in seinem Institute tätig waren. Von den Ausländern, die bis zum Ausbruch des Weltkrieges dort arbeiteten, seien hier nur genannt die Professoren H. S. Taylor von der Princeton-University, U. S. A., A. C. D. Rivett aus Melbourne, Poma aus Parma, Kendall aus Edinburgh, Öholm aus Helsingfors, Bubanovic aus Agram, von Szyskowski aus Kiew, Titoff aus Moskau. Auch der Verfasser gehörte zu diesen.

Mit seiner Stellung als Vorsteher des Nobel-Institutes war eine große Anzahl repräsentativer Aufgaben verknüpft, die ihn zunächst sehr gegen seinen Willen mehr und mehr von der wissenschaftlichen Kleinarbeit abzogen. Arrhenius war jetzt die angesehenste wissenschaftliche Persönlichkeit des europäischen Nordens, und im besonderen Schwedens, und hatte als solche die Verpflichtung, sein Land bei den großen wissenschaftlichen Feiern im In- und Ausland zu vertreten. Diesen Pflichten kam er mit Leichtigkeit nach, da er in vier Sprachen: schwedisch, deutsch, englisch und französisch nahezu mit der gleichen Fertigkeit reden und schreiben konnte. Geselliges Leben hatte er immer geliebt und war selbst ein sehr angenehmer und anregender Gesellschafter. Seine Tischreden zeichneten sich durch einen Humor und eine Originalität aus, die allgemein bekannt war. Essen und Trinken bereiteten ihm eine natürliche Freude. Er konnte es darin mit jedem aufnehmen und war der dankbarste Gast, den man sich wünschen konnte. Wo er auch zu Gaste war, und wen er auch bei sich aufnahm, stets war er bei guter Laune und verbreitete um sich Freude und Behagen. Hierdurch und durch sein einfaches, bescheidenes Wesen hatte er sich, wie in Schweden, so auch in allen anderen europäischen Ländern einen großen Freundeskreis erworben, in dem er als „der Svante“ allgemein beliebt war. Obwohl Arrhenius nach seiner Verheiratung nicht mehr wie früher einen großen Teil des Jahres auf Reisen zubrachte, so ist er doch zeitlebens gern und viel gereist. Er war ein fleißiger Besucher der Bunsen-Gesellschaften und anderer wissenschaftlicher Kongresse im In- und Ausland, besonders aber in Deutschland. Auf seinen Reisen sah er nicht auf Komfort. Wenn zugänglich, wählte er die dritte Klasse. Auch die Überfahrt nach Amerika hat er in der zweiten Klasse zurückgelegt. Niemals benutzte er einen Schlafwagen, und Hotels waren ihm ungemütlich, er wohnte lieber bei Bekannten. Da er Freunde in aller Welt besaß, die ihn gern aufnahmen, so lebte er nur ganz selten, z. B. in Paris, wo die Wohnungen meistens zu klein sind, um Gäste zu beherbergen, in einem Gasthof.

Wie viele andere hervorragende Gelehrte, so erhielt auch er von der Universität New Haven die Aufforderung, dort die Silliman Lectures zu

halten. Gleichzeitig bekam er auch Einladungen von vielen anderen Universitäten Europas und Amerikas. Dies veranlaßte seine zweite Amerika-reise im Frühjahr 1911. Auf der Durchreise wollte er am 1. März 1911 in Berlin seinen alten Freund van 't Hoff besuchen, der schwer krank daniederlag. Er kam jedoch zu spät: van 't Hoff war wenige Stunden vorher verschieden. Unter dem frischen Eindruck vom Ableben seines langjährigen Freundes begann er seine erste Vorlesung, die er in Paris hielt, mit einem Nachruf auf van 't Hoff. Von Paris reiste er nach New Haven, und von dort besuchte er viele andere Universitäten des Ostens und Zentrums Amerikas, wo er je eine Vorlesung hielt. In Chicago wurde ihm nach einem Vortrage das erste Exemplar der Williard-Gibbs-Medaille überreicht. Auf der Rückreise sprach er noch an den Universitäten von Groningen und von London. Die Vorlesungen, die er bei diesen Gelegenheiten gehalten hat, sind später im Druck erschienen⁷⁸⁾.

Indessen war Arrhenius in die Jahre gekommen, in denen erfahrungsgemäß die eigene experimentelle Betätigung mehr zurück- und die spekulative Beschäftigung in den Vordergrund tritt. Seine umfassenden Literatur-Kenntnisse befähigten ihn, in den allerverschiedensten Gebieten tätig zu sein. Zunächst machte er sich daran, ältere Versuche aus dem Pawlowschen Institut in Petersburg nachzurechnen. In diesem wurde von London die Absonderung von Magen- und Pankreas-Saft an Versuchs-Tieren, in deren Magen man bestimmte Mengen Salzsäure künstlich eingeführt hatte, messend bestimmt. Arrhenius erkannte, daß bei der Verdauung von festen, durch den Mund eingenommenen Körpern dieselben schichtenweise verdaut werden, indem die von der Magen-Schleimhaut abgesonderte Säure von außen nach innen den Magen-Inhalt durchtränkt. Diese Vorstellung lieferte die einfache arithmetische Beziehung, daß die in den Dünndarm abgesonderte Menge Pankreas-Saft der Quadratwurzel der in den Magen eingeführten Salzsäure-Menge proportional ist⁷⁹⁾.

Auf ein ganz anderes Gebiet führte ihn die Anregung des Breslauer Geologen Lachmann. Dieser beschäftigte sich mit den deutschen Kalisalz-Lagerstätten. Es galt die Entstehung der für sie charakteristischen Salzaufpressungen, die Lachmann Ekzeme nannte, zu erklären. Arrhenius lehnte die frühere Auffassung, daß dieselben durch normale Gesteins-Faltungen entstanden seien, ab und führte die Annahme ein, daß sie sich durch die auftreibende Kraft der Schwere gebildet haben, also einen Fall von Isostasie darstellen.

Auch in einem zweiten Punkte kam er zu einer neuartigen Auffassung über die Bildungsweise dieser Lagerstätten. Nach den van 't Hoff'schen Untersuchungen kann die als Hartsalz sehr verbreitete Mineralvergesellschaftung von Kieserit und Sylvin nur oberhalb 72° entstanden sein. Man nahm infolgedessen an, daß die Oberflächen-Temperatur bei der Bildung des deutschen Zechenstein-Lagers über 72° betragen habe. Eine so hohe Temperatur erschien Arrhenius höchst unwahrscheinlich. Er erklärte die

⁷⁸⁾ Conférence sur quelques thèmes choisis de la chimie physique pure et appliquée. Paris 1912. — Theories of solutions. Silliman Lectures, New Haven 1912.

⁷⁹⁾ Die Gesetze der Verdauung und Resorption nach Versuchen von Hrn. S. London. Meddelanden 1, Nr. 14 [1909]. — Die Absonderung von Magen- und Pankreas-Saft. Meddelanden 2, Nr. 1 [1909]. — Die Gesetze der Verdauung und Resorption. Ztschr. physiol. Chem. 68, 323 [1909].

Entstehung des Hartsalzes in der Weise, daß die bei gewöhnlicher Außentemperatur durch Eintrocknung gebildeten Steinsalz-Lager im Laufe der Zeiten von jüngeren Sedimenten bis zu 2 km Höhe bedeckt worden sind, wodurch sie der in dieser Tiefe herrschenden Erdwärme, die über 72° beträgt, ausgesetzt waren. Während dieser Zeit ist durch Thermo-Metamorphose das Hartsalz entstanden. Später sind die Sedimente durch Auswaschung zum größten Teil entfernt worden, wodurch die Temperatur wieder entsprechend gesunken ist⁸⁰⁾.

Dieser Erklärungsversuch teilte das Schicksal fast aller Arrheniusschen Theorien. Er stieß zunächst auf heftigen Widerspruch. Auf dem Kali-Tage in Göttingen im Juni 1912 kam es zu einer lebhaften Aussprache, in der Arrhenius seine Hypothesen vor einem Kreise hervorragender Fachleute geschickt verteidigte.

Den Besuch des Kali-Tages vereinigte er mit dem der Jahres-Versammlung des Vereins Deutscher Chemiker in Freiburg. Im Herbst des gleichen Jahres nahm er noch an einem dritten deutschen Kongreß teil, dem Monisten-Kongreß in Hamburg, den er Ostwald zu Liebe besuchte. Er hielt auf diesem einen Vortrag „Über den Ursprung des Gestirnkultus“⁸¹⁾. Arrhenius hatte eine von jeder konfessionellen Gebundenheit losgelöste Weltanschauung. Ebenso wenig aber hat er sich je dem Monisten-Bunde oder einer anderen Gemeinschaft von Freidenkern angeschlossen, sondern in tiefer, wissenschaftlicher Erkenntnis des ignoramus sich seine völlige Freiheit gewahrt.

Von seinen populär-wissenschaftlichen Büchern erschienen in dieser Zeit „Das Schicksal der Planeten“⁸²⁾, „Das Weltall“⁸³⁾ und „Das Schicksal der Sterne“⁸⁴⁾. Außerdem schrieb er eine Anzahl Artikel⁸⁵⁾ für populäre Zeitschriften, für die er ebenfalls meist kosmologische Fragen wählte. Die größte Aufmerksamkeit erregte ein Aufsatz über den Planeten Mars⁸⁶⁾. Es wurde damals die Frage diskutiert, ob die sogenannten Kanäle von lebenden Wesen gebaut seien, und ob überhaupt Lebewesen auf dem Mars existieren könnten. Arrhenius wies an der Hand von Berechnungen nach, daß die meteorologischen Bedingungen auf diesem Planeten so ungünstig sind, daß die Existenz von Lebewesen, die unter ähnlichen Bedingungen wie diejenigen der Erde leben, ausgeschlossen ist.

⁸⁰⁾ Zur Physik der Salz-Lagerstätten. *Meddelanden* 2, Nr. 20 [1912] und *Umschau* 16, 777 [1912]. — Über die physikalischen Bedingungen bei den Salz-Ablagerungen zur Zeit ihrer Bildung und Entwicklung. *Kali* 6, 361 [1912]. — Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salz-Lagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. Zusammen mit R. Lachmann. *Geolog. Rundschau* 3, 139 [1912] und *Neues Jahrb. Mineralog.* 1914, 437.

⁸¹⁾ Das monistische Jahrhundert 1912, 41 und 89 und *Riv. di scienza* 9 [1911].

⁸²⁾ Leipzig 1911.

⁸³⁾ Leipzig 1911.

⁸⁴⁾ Stockholm 1915.

⁸⁵⁾ Die Atmosphären der Planeten. *Ann. d. Naturphilosophie* 9, 70 [1910] und *Nordisk Tidsskrift* 1910, 453. — Der Halleysche Komet. *Nordisk Tidsskrift* 1910, 171. — Das Milchstraßen-System. *Nord und Süd* 36, 180 [1912]; *Nordisk Tidsskrift* 1912, 311 und *Prometheus* 24, 33 und 54 [1912]. — Die Entwicklung der Naturwissenschaft und ihre Zukunft. *Nord und Süd* 37, 44 [1913]. — Der gegenwärtige Stand der Mondforschung. *Neue wissenschaftliche Rundschau* 1913, 85.

⁸⁶⁾ Der Planet Mars nach neueren Untersuchungen. *Dtsch. Revue* 35, 310 [1910] und *Nordisk Tidsskrift* 1910, 453.

Sein Interesse für die physikalische Chemie wurde durch die vielseitige Beschäftigung mit Nachbar-Wissenschaften nicht zurückgedrängt. Davon zeugen seine Untersuchungen „Über die Energie-Verhältnisse bei Dampfbildung und elektrolytischer Dissoziation“⁸⁷⁾, über „Die Berechnung des elektrischen Leitvermögens in sehr verdünnten wäßrigen Lösungen“⁸⁸⁾, über „Elektrolytische Dissoziation“⁸⁹⁾ und über „Die Theorie der Moleküle“⁹⁰⁾.

Im Sommer 1914 reiste Arrhenius nach England, hielt dort die Faraday-Lecture⁹¹⁾ und erhielt gleichzeitig die Faraday-Medaille. Ein Passus aus diesem Vortrag ist besonders bemerkenswert. Von mehreren Seiten wurde damals die Behauptung verteidigt, daß in hinreichend verdünnten Lösungen das Massenwirkungsgesetz auch bei starken Elektrolyten gut erfüllt sei. Es war dies für ihn ein süßes Gift, denn das Versagen der Dissoziations-Theorie gerade in den einfachsten Fällen und die Unmöglichkeit, eine quantitative Erklärung dafür geben zu können, wurmte ihn seit Jahrzehnten. So kam es, daß er in seiner Faraday-Lecture, die der früheren besseren Erkenntnis⁹²⁾ widersprechende Behauptung aufstellte, daß für äußerst verdünnte Lösungen typischer binärer Salze das Massenwirkungsgesetz gelte.

Er ahnte nicht, daß diese Vorlesungen der Abschluß seiner wissenschaftlichen Tätigkeit für mehrere Jahre werden sollte. Kurz nach seiner Rückkehr aus London brach der Weltkrieg aus. Der Wirbel der politischen Erregung riß auch die scheinbar unbeteiligten Neutralen mit sich. Auch diese blickten sorgenvoll in die Zukunft. Aber mehr noch als die Furcht davor, daß sein Vaterland in den Kampf hineingezogen werden könne, bedrückte Arrhenius die schwere Enttäuschung, daß ein solches entsetzliches Morden im zivilisierten Europa überhaupt möglich war. Er war zeitlebens ein überzeugter Pazifist und hatte in seinem Idealismus die Vernunft, wie das Ethos der leitenden Staatsmänner überschätzt und die drohenden Anzeichen der Katastrophe unbeachtet gelassen. Daher wurde er durch die sich überstürzenden Ereignisse völlig überrascht und schwer erschüttert. Aber auch nachdem er seine innere Ruhe wiedergewonnen hatte, konnte er die wissenschaftliche Tätigkeit nicht in gewohnter Weise aufnehmen. Die Mitarbeiter aus fremden Ländern, ja auch die aus dem eigenen Lande, blieben fern, so daß das Institut vereinsamt dalag. Die Beschaffung von Chemikalien und Apparaten, in denen Schweden fast vollständig auf Deutschland und England angewiesen ist, machte große Schwierigkeiten und wurde bald nahezu unmöglich. Schließlich blieben auch die ausländischen Zeitschriften aus, und es fehlte jegliche wissenschaftliche Anregung. So war während des Krieges auch in den neutralen Staaten das wissenschaftliche Leben praktisch lahmgelegt.

In humanitärer Beziehung aber entfaltete Arrhenius in diesen Jahren eine sehr segensreiche Tätigkeit. Zahlreiche Gelehrte sowohl der Zentralmächte wie der Alliierten wandten sich an ihn mit der Bitte, die Leiden ihrer gefangenen Angehörigen und Kollegen zu mildern, oder sich für ihren Austausch zu verwenden. Sie alle fanden ihn bis zum äußersten hilfsbereit,

⁸⁷⁾ Meddelanden 2, Nr. 8 [1911].

⁸⁸⁾ Meddelanden 2, Nr. 42 [1913].

⁸⁹⁾ Journ. Amer. chem. Soc. 34, 355 [1912].

⁹⁰⁾ Amer. chem. Journ. 48, 536 [1912].

⁹¹⁾ The theory of the electrolytic dissociation. Faraday Lecture. Journ. chem. Soc. London 105, 1414 [1914].

⁹²⁾ s. S. 20.

denn er blieb auch in den Zeiten schwerster nationaler Verhetzung innerlich objektiv und behielt seine Überzeugung aufrecht, daß es die höchste kulturelle Aufgabe der Naturwissenschaften sei, die Gegensätze auszugleichen, und daß bald wieder die Zeiten kommen werden, in denen die Chemie nicht als höchste Kriegs-, sondern als höchste Friedens-Wissenschaft gelten würde.

Nach mehr als zehnjähriger Zusammenarbeit verließ ihn im zweiten Kriegsjahre sein Assistent Harald Lundén, um sich in der Stickstoff-Industrie zu betätigen. Zunächst trat Oscar Klein an seine Stelle. Als dieser zum Militärdienst einrücken mußte, ersetzte ihn Karl Gustav Dernby; von späteren Assistenten seien aufgeführt: sein Sohn Olof Arrhenius, Fr. Eva Ramstedt, Hans Egnér und Hans Bäckström.

Nur seine eigenen theoretischen Untersuchungen konnte Arrhenius auch in diesen unruhigen Zeiten weiterführen. Kosmologische Fragen ließen es ihm angezeigt erscheinen, das Geltungsbereich der Troutonschen Regel nachzuprüfen. Zur Erklärung der Unveränderlichkeit der Sonnen-Temperatur hatte er nämlich in seinem Lehrbuch der kosmischen Physik die Annahme gemacht, daß, der Troutonschen Regel entsprechend, bei der hohen, im Innern der Sonne herrschenden Temperatur, sich chemische Reaktionen abspielen müßten, die von einer ungeheuren Wärme-Entwicklung begleitet sind. Er wies nun darauf hin, daß die Größe der Troutonschen Konstante im wesentlichen von der Zahl der in die Reaktion eingehenden und der bei derselben entstehenden gasförmigen Moleküle abhängt, und daß für alle Reaktionen, bei denen aus n Molen $n + 1$ Mole entstehen, im Temperatur-Interwall zwischen 0° und 3000° die Troutonsche Konstante in der Nähe von 35 liegt. Auf Grund der bisherigen experimentellen Erfahrungen läßt sich eine Änderung der Konstante mit der Temperatur bei gleichartigen Reaktionen nicht erkennen⁹³⁾.

Des weiteren beschäftigte er sich eingehend mit dem Studium der Viscosität, besonders von kolloidalen Lösungen. In einer seiner ersten Arbeiten hatte er bereits eine Formel aufgestellt, die gestattet, aus der Viscosität reiner Lösungen diejenige von Gemischen zu berechnen. Nun wies er nach, daß diese Formel in etwas modifizierter Form auch für kolloidale Lösungen gilt, und daß man bei ihrer Anwendung auf kolloidal gelöste Eiweißkörper zu der Vorstellung geführt wird, daß die Eiweiß-Moleküle hydratisiert sind, und daß die gebundene Wasser-Menge etwa ebenso groß bis doppelt so groß wie die sie bindende Eiweiß-Menge ist⁹⁴⁾.

Später rechnete er an Hand vorliegender Messungen die Gültigkeit der Einsteinschen Formel⁹⁵⁾ nach, für die er die logarithmische Schreibweise:

$$\log \eta - \log \eta_0 = \varphi \delta$$

bevorzugt. Hierin bedeuten η und η_0 die Viscositäten der Lösung und des reinen Lösungsmittels, φ die Volumkonzentration in Prozenten und δ die theoretisch ableitbare Konstante $109 \cdot 10^{-4}$ ⁹⁶⁾. Für die Viscosität des reinen Lösungsmittels und ihre Änderung mit der Temperatur stellte er eine Anzahl empirischer Beziehungen auf, deren interessanteste die ist, daß für nicht assoziierte Lösungsmittel die einfache Formel:

$$K/T = \text{konst.}$$

⁹³⁾ Ztschr. physikal. Chem. 1, 285 [1887].

⁹⁴⁾ Viscosität und Hydratation kolloidaler Lösungen. Meddelanden 3, Nr. 13 [1916].

⁹⁵⁾ Ann. Phys. [4] 34, 591 [1911].

⁹⁶⁾ Die theoretische Deutung von Viscositäts-Messungen kolloidaler Lösungen. Meddelanden 3, Nr. 21 [1917].

gilt, worin K ein Maß für die Änderung der Viscosität mit der Temperatur und T der Siedepunkt des Lösungsmittels ist⁹⁷⁾. Die weiteren Veröffentlichungen enthalten nur unwesentliche Ergänzungen⁹⁸⁾. Endlich arbeitete er erneut über die Neutralsalz-Wirkung und damit zusammenhängende Fragen⁹⁹⁾.

Nach dem Kriege war es Arrhenius' hauptsächliches Bemühen, die abgerissenen Verbindungen zwischen den Gelehrten der Zentralmächte und der Entente wieder zu knüpfen und die Notlage, in der sich vornehmlich die deutsche Wissenschaft und die deutschen Gelehrten infolge der Inflation befanden, weitmöglichst zu lindern. Die erste Zeit freilich versprachen diese Bemühungen keinen Erfolg, aber allmählich besserte sich die Lage. So konnte er im Jahre 1922 zum ersten Male wieder eine größere Auslandsreise unternehmen. Er besuchte den Solvay-Kongreß in Brüssel und hielt, auf die Einladung der Pariser Universität hin, Vorlesungen über physikalische Chemie¹⁰⁰⁾. In diesen ging er besonders auf diejenigen Untersuchungen ein, die eine Fortbildung der elektrolytischen Dissoziations-Theorie zum Ziele hatten. Hierüber handelt auch eine kritische Betrachtung in der Ztschr. physikal. Chem.¹⁰¹⁾. Er lehnte die neuen Theorien nicht vollständig ab, sondern wies nur darauf hin, wie klein das Konzentrations-Bereich ist, in dem sich ihre Folgerungen mit den experimentellen Ergebnissen decken. Im gleichen Jahre besuchte er auch die Naturforscher-Versammlung in Leipzig, wo das Jahrhundert-Jubiläum zur Erinnerung an die erste Deutsche Naturforscher-Versammlung daselbst abgehalten wurde. Hier hielt er einen Vortrag über „Physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten bei den kosmischen Vorgängen“¹⁰²⁾. Er diskutierte die heute noch strittige Frage nach dem Ursprung der Sonnen-Energie und wies auf die Möglichkeit hin, daß in den gewaltigen Nebelbezirken des Weltalls Vorgänge vor sich gehen könnten, die zu einer Vermehrung der Entropie führen. Durch diese Hypothese wollte er die leidige Vorstellung vernichten, daß die Welt dem Wärmetode entgegengehe, und eine Stütze für die stets von ihm verfochtene Annahme finden, daß sie räumlich wie zeitlich unendlich sei.

Einen beträchtlichen Teil seiner Arbeitszeit füllte wieder die Abfassung populär-wissenschaftlicher Bücher aus. Die große Bedeutung der technischen Chemie, die diese während der Kriegszeit durch Schaffung neuer Angriffs- und Verteidigungsmittel, und in der darauf folgenden Periode wirtschaftlicher Erschöpfung durch Auffindung von Ersatzstoffen aller Art bewiesen hatte, regte ihn dazu an, eine allgemeinverständliche Darstellung chemisch-technischer Probleme zu geben. So entstand das in schwedischer Sprache

⁹⁷⁾ The viscosity of pure liquids. *Meddelanden* 3, Nr. 20 [1916].

⁹⁸⁾ The viscosity of solutions. *Biochem. Journ.* 11, 112 [1917]. — Beitrag zur Frage der physiologischen Bedeutung der Viscosität. *Sv. Läkaresällsk. förhandlingar* 1917, 329.

⁹⁹⁾ Berechnung der Neutralsalz-Wirkung aus den Gefrierpunkts-Erniedrigungen wäßriger Lösungen. Gemeinsam mit E. Andersson. *Meddelanden* 3, Nr. 25 [1917]. — On the solubility of naphthalene in aqueous solutions of alcohols and fatty acids. Some remarks regarding the proceeding memoir of Dr. med. I. C. Christianssen. *Meddelanden* 4, Nr. 2 [1918].

¹⁰⁰⁾ Conférence sur quelques problèmes actuelles de la physique chimique et cosmique, faites à l'université de Paris 1922. Paris 1923.

¹⁰¹⁾ Einige Bemerkungen zur Goshschen Theorie der Elektrolyt-Lösungen. *Ztschr. physikal. Chem.* 100, 9 [1922].

¹⁰²⁾ *Ztschr. Elektrochem.* 28, 405 [1922].

geschriebene Buch „Die Chemie und das moderne Leben“¹⁰³). Seit Faraday besaß kein Chemiker in dem Maße wie Arrhenius die Gabe, wissenschaftliche Dinge in leicht faßlicher Form und dabei doch naturwahr und spannend darzustellen, so daß das große Publikum die Problem-Stellung verstehen und ihrer Lösung folgen konnte. Das beweisen auch seine beiden bekannten Bücher kosmischen Inhalts „Der Lebenslauf der Planeten“¹⁰⁴) und „Erde und Weltall“¹⁰⁵), sowie seine populär-wissenschaftlichen Abhandlungen¹⁰⁶).

Im Nobel-Institut arbeitete in dieser Zeit Knaffl-Lenz aus Wien über Enzym-Reaktionen. Bei der Durchrechnung seiner Versuchs-Ergebnisse fand Arrhenius, daß bei diesen Reaktionen die umgesetzte Menge des Substrats meist der Einwirkungszeit proportional ist. Enzym-Reaktionen sind also nullmolekular. Diese Gesetzmäßigkeit beruht darauf, daß das Substrat meist in sehr großem Überschuß zum Enzym vorhanden ist. Die Nicht-erfüllung dieser einfachen Reaktionsbedingungen in gewissen Fällen rührt von Neben-erscheinungen her¹⁰⁷).

In diesen letzten Jahren wurde naturgemäß seine Zeit mehr und mehr durch Verwaltungsgeschäfte in Anspruch genommen. Er besuchte regelmäßig die Sitzungen der Akademie der Wissenschaften und beteiligte sich lebhaft an den Debatten. Dabei bewährte er sich noch in alten Tagen als der gleiche temperamentvolle und überzeugende Redner wie früher. Durch seine offenen, bisweilen scharfen Angriffe zog er sich manche Gegnerschaft zu. In der Verwaltung der Nobel-Stiftung war er eifrig bemüht, das Erbe Alfred Nobels zu erhalten und im Sinne des Testators zu verwenden. Wenn die finanziellen Verheerungen des Weltkrieges und der darauf folgenden Krisenzeit, die sich auch in Schweden stark auswirkte, die Mittel der Nobel-Stiftung nicht vermindert haben, so ist dies mit sein Verdienst. Jahrelang hat er sich zusammen mit Emanuel Nobel und anderen zunächst vergeblich bemüht, eine Herabsetzung der hohen Steuerbeträge zu erwirken, die die Stiftung an den Staat zu zahlen hatte. In seinem letzten Lebensjahre endlich gelang es, dies durchzusetzen. Dadurch stieg die Preissumme, die bis auf weniger als $\frac{4}{5}$ des ursprünglichen Betrages gesunken war, so hoch an, daß sie im Jahre 1928 eine nie erreichte Höhe erklomm. Leider hat er diesen Erfolg nicht mehr erlebt.

Zu seinen vielen Neben-beschäftigungen gehörte auch die des Vorsitzenden im Aufsichtsrate der Papierfabrik Örebro. Infolgedessen wurde seine Aufmerksamkeit auf den Reaktionsverlauf bei der Aufarbeitung des Holzes hingelenkt, und er stellte mehrere Berechnungen hierüber an, durch die er die Kinetik dieser Reaktion klarlegte¹⁰⁸). Sowohl die Auflösung der

¹⁰³) Stockholm 1919. Deutsche Übersetzung, Leipzig 1922; englische Übersetzung, New York 1925.

¹⁰⁴) Stockholm 1915. Deutsche Übersetzung, Leipzig 1919; französische Übersetzung, Paris 1921; englische Übersetzung, New York 1918. ¹⁰⁵) Leipzig 1925.

¹⁰⁶) Die Unendlichkeit des Sternerraumes. Die Umschau **24**, 557 u. 575 [1920] und Vetenskapen och livet **5**, 130 [1920]. — Das größte bekannte Erdbeben in neuerer Zeit. Populär-astronom. Ztschr. **4**, 75 [1923].

¹⁰⁷) Zur Kinetik der Ljåpase-Reaktion nach Versuchen von Prof. E. Knaffl-Lenz. Meddelanden **6**, Nr. 4 [1923]. — Verlauf der Enzym-Reaktionen. Ztschr. angew. Chem. **36**, 455 [1923].

¹⁰⁸) Die physikalische Chemie der Holz-cellulose-Darstellung. Meddelanden **6**, Nr. 10 [1924]. — Die physikalische Chemie der Cellulose-Gewinnung. Svensk Papperstidning **1924**, 189. — Kinetik der Cellulose. Ztschr. Elektrochem. **30**, 375 [1924].

Cellulose wie die der Inkrusten folgt der Gleichung der monomolekularen Reaktion und ist der Konzentration der angewandten Natronlauge proportional. Der Temperatur-Koeffizient der Geschwindigkeit bei der Auflösung der Cellulose ist größer als bei den Inkrusten, so daß es günstig ist, bei möglichst tiefer Temperatur zu arbeiten. Das Ergebnis dieser Untersuchungen trug er auf der Tagung der Bunsen-Gesellschaft in Göttingen vor. Als die nächste Jahresversammlung der Bunsen-Gesellschaft 1925 in Darmstadt abgehalten wurde, weilte er zur Kur in Bad Nauheim. Obwohl schwer krank, bestand er doch darauf, zu dieser Tagung reisen zu dürfen, um noch einmal mit seinen Fachgenossen und Freunden zusammen zu sein. Dies war das letzte Mal, daß er einen wissenschaftlichen Kongreß besuchte.

Seine Arbeitskraft war noch ungeschwächt, als er im Herbst 1924 an der Herausgabe einer neuen Auflage des „Werden der Welten“ arbeitete. Der erste Teil war eben fertig geworden, und auch der zweite sollte noch bis Weihnachten erscheinen. Die Tageszeit war durch Sitzungen aller Art und gesellschaftliche Verpflichtungen ausgefüllt. Daher hatte Arrhenius die Gewohnheit angenommen, schon morgens um 4 Uhr aufzustehen und zwischen 4 und 8 Uhr seine wissenschaftlichen Arbeiten zu erledigen. Dies hat ihn offenbar überanstrengt, denn er erkrankte am 7. November und mußte das ganze folgende Jahr auf jede wissenschaftliche Tätigkeit verzichten.

Am 1. Juli 1926 waren 50 Jahre verflossen, seit Arrhenius das Abiturienten-Examen bestanden hatte. Diesen Tag wollte er, obwohl er kaum völlig hergestellt war, mit seinen Kon-abiturienten zusammen in Upsala feierlich begehen. Hierbei überanstrengte er sich von neuem und erlitt einen schweren Rückfall. Dank der aufopfernden Pflege seiner Frau und seiner Schwester Sigrid überwand er noch einmal die Krise. Zu seinem 68. Geburtstage bereitete ihm die Schwedische Akademie der Wissenschaften die große Freude, ihm sein Gehalt als lebenslängliche Ehren-Pension zuzusichern und ihm gleichzeitig die Befugnis einzuräumen, zeitlebens in seiner Dienstwohnung verbleiben zu können. Dadurch wurde eine der größten Sorgen seiner letzten Jahre, nämlich die Furcht, seine Wohnung und damit auch seine Lebensgewohnheiten aufgeben zu müssen, von ihm genommen. Er, der in früheren Jahren niemals an den Tod denken wollte und fest davon überzeugt war, daß er dank seiner eisernen Konstitution sehr alt werden würde, fühlte jetzt, daß der Abschluß herannahe, und er entschloß sich, seine Lebens-Erinnerungen zu schreiben. Leider sind sie, obwohl er den Sommer über recht fleißig an ihnen arbeitete, unvollständig geblieben.

Indessen besserte sich sein Gesundheitszustand zusehends, so daß er schon wieder an Auslands-Reisen dachte. Eine Gelegenheit zu einer solchen kam, als am 9. September in Kopenhagen das 25-jährige Bestehen des Serum-Instituts gefeiert wurde, an dessen Einweihungsfeier er teilgenommen hatte. Auf Einladung Madsens reiste er mit seiner Frau, die ihn in den letzten Jahren nicht mehr allein fahren ließ, dorthin und nahm an allen Feierlichkeiten teil. Da ihm die Reise gut bekommen war, hielt er sich für vollkommen hergestellt und begann am zweiten Teile vom „Werden der Welten“ zu arbeiten. Am 25. September erkrankte er aber an einem fieberhaften, akuten Darmkatarrh und schlief infolge Versagens der Herztätigkeit eine Woche später, am 2. Oktober 1927, ruhig ein.

Er hatte bestimmt, daß seine Leiche in seiner Vaterstadt Upsala beigesetzt würde, was am 8. Oktober unter feierlicher Teilnahme des ganzen Lehrer-Kollegiums und der Studentenschaft der Universität erfolgte. Seit seiner ersten Schulzeit war es sein Lieblingswunsch, Professor in seiner Vaterstadt Upsala zu werden. Mit ungeheurer Zähigkeit hatte er sich Jahrzehnte lang darum bemüht, aber nirgends so große Widerstände wie in seiner Heimatstadt gefunden. Jetzt war keiner seiner alten Widersacher mehr am Leben. Nur wenige von denen, die an diesem sonnigen Herbstmorgen seiner Bahre folgten, waren einst Zeugen seiner Kämpfe gewesen. Der älteste unter ihnen war sein Freund und Lehrer, der 86-jährige Hammarsten. So ruht er jetzt wenige Schritte von dem Hause entfernt, in dem er einst seine Jugend verbracht hatte, und in dessen Frieden er nach Kämpfen und Enttäuschungen immer gern zurückgekehrt war: seinem Vaterhaus.

Svante Arrhenius war ein Mann von großem Formate, sein Grundzug war der des Naturwissenschaftlers. In allem Naturgeschehen suchte er die Zwangsläufigkeit der Ereignisse zu erkennen und ihre zahlenmäßige Gesetzmäßigkeit herauszuschälen. Wie nur sehr wenige besaß er die Fähigkeit, große Wissensgebiete zu übersehen und die im Einen gewonnenen Erfahrungen zur Lösung von Problemen zu benutzen, die ein weit Abliegendes ihm aufzeigte. Sein Genie lenkte seine wählende Hand so, daß er manchen glücklichen Griff tat in chemischen wie in biologischen, in geologischen wie in meteorologischen, in physikalischen wie in astronomischen Fragen. Dadurch erhielt sein Schaffen den Zug der Universalität. Aber sein Hauptwerk ist und bleibt für alle Zeiten die Schöpfung der Dissoziations-Theorie. Seiner Intuition danken wir die Erkenntnis, daß die mit Elektrizität geladenen Molekülteile sich wie neue Moleküle verhalten, daß also die elektrische Ladung im Molekül die Rolle eines Atoms spielen kann. Somit bahnte er den Weg zu unserer heutigen Auffassung, daß die Atome nur aus Zentren elektrischer Ladungen bestehen und sich nur durch die Zahl und Anordnung dieser Ladungen unterscheiden.

Ernst H. Riesenfeld.
