

世界著名 科学家传记

化学家 I

胡亚东 主编

科学出版社

世界著名科学家传记

化学家

I

胡亚东 主编

科学出版社

1990

内 容 简 介

本书将分五集出版,收入世界最著名化学家的传记 100 余篇,由我国化学界著名专家、教授撰写。第一集收入诺贝尔化学奖获得者及诺贝尔本人的传记,共计 23 篇。

本书作者在深入研究有关资料、文集的基础上,对这些化学家的生平、学术活动、主要贡献和著作,予以全面、具体、准确的记述,并列有参考文献。旨在通过介绍他们的学术生涯,向读者提供有关科学史的翔实而可靠的资料。读者不仅可以了解到世界第一流化学家的研究工作、杰出成就以及对科学技术发展的重大影响,还可以看到他们的成长道路、成功经验和思想品德,从中受到深刻的启迪。

本书可供科研工作者和科学史工作者、高等院校的师生、中学教师等阅读参考。

世界著名科学家传记

化 学 家

1

胡亚东 主编

责任编辑 曹 娥

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990 年 8 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1990 年 8 月第一次印刷 印张:7 7/8 插页:1

印数:0001—600 字数:202 000

ISBN 7-03-001505-3/Z·73

定 价: 6.80 元

《科学家传记大辞典》

化学学科编委会

主 编 胡亚东

副主编 宋心琦 郭正谊

编 委 (以姓氏笔划为序)

乔世德 严 舫 吴国庆 陈为通

李崇熙 张志尧 赵匡华 俞凌狮

戴立信

特邀编辑 应礼文 王世显

前 言

在中国科学院的领导下,科学出版社正在组织我国专家编纂一部大型的科学家传记辞典,计划收入古今中外重要科学家(包括数学家、物理学家、天文学家、化学家、生物学家、医学家、地理学家,以及技术科学家即发明家和工程师等)的传记约8000篇,字数估计为2000万。辞典将对所收科学家的生平、学术活动、主要贡献和代表作,予以全面、具体、简洁、准确的记述,并附文献目录;即通过介绍科学家的学术生涯,向读者提供有关科学史的实用而可靠的资料,特别是那些第一流科学家的最深入的研究工作和成功经验,其中将以足够的篇幅介绍我国古代和现代科学家的重大成就,以及他们为发展祖国的科学事业,不惧险阻、勇攀高峰的精神,以激励青年一代奋发图强,献身“四化”。这就是编纂这部《科学家传记大辞典》的基本目的。

大辞典总编委会由各学科领域的六十余位著名学者组成,卢嘉锡同志担任主编,严东生、周光召、吴文俊、王绶璁、涂光炽、吴阶平、苏世生等同志担任副主编。1988年8月,在北京召开了总编委会第一次会议,讨论了大辞典的编纂方针、制定了“编写条例”。各学科的编委会也已相继成立。在总编委会和各学科编委会的领导和组织下,编纂工作已全面展开。科学出版社设立了《科学家传记大辞典》编辑组,负责大辞典的编辑组织工作。

对于外国科学家,各学科编委会已分别确定第一批撰写的最重要的科学家名单,共约800人,并已约请有关专家分头执笔撰稿。在大辞典出版之前,按不同学科,定稿每达20—30篇,就以《世界著名科学家传记》文集的形式及时发表。这些传记是在进行深入研究的基础上撰写的,又经过比较严格的审核,因而具有较高的学术水平和参考价值。发表后广泛听取意见,以便将来收入大

辞典时进行必要的修改。

由于这部大辞典是我国编纂的，因而中国科学家辞条将占重要地位，现正下大功夫认真撰写。关于中国古代（19世纪以前）科学家的传记，计划收入200余篇，已委托中国科学院自然科学史研究所的专家组织撰写；中国现代科学家的传记，计划收入500余篇，正在由各学科编委会组织撰写。

编纂这部《科学家传记大辞典》，是我国科学文化方面的一项具有重大意义的基本建设；国家新闻出版署已将其列入国家重点辞书规划。这项工作得到了我国学术界的广泛支持，已有许多学者、专家热情地参加工作。他们认为，我国学术界对于科学史研究的兴趣正在与日俱增，只要充分调动中国科学院、各高等院校、各学术团体的力量，认真进行组织，花费若干年的时间，是完全可以编好这部辞典的。他们还认为，组织编写这部辞典，对于科学史的学术研究也是一个极大的促进。在编写过程中，对于尚未掌握的材料，还不清楚的问题，必须进行深入的研究，以任务促科研，有了成果，自然容易写出好文章。

编纂这样一部大型的辞典，涉及面广，要求质量高，工作量很大。这里，我们热切地希望有更多的、热心这项事业的学者、专家参加工作，承担撰稿和审稿任务。

我们热烈欢迎广大读者对我们的工作提出宝贵意见。

《科学家传记大辞典》编辑组

目 录

阿伦尼乌斯	应礼文 (1)
康福斯	戴立信 周振华 (14)
德 拜	刘瑞麟 李芝芬 (23)
弗洛里	施良和 (34)
格林尼亚	郭建权 (44)
欣谢尔伍德	宋心琦 (52)
朗缪尔	赵国玺 (59)
李远哲	曹建如 (72)
穆瓦桑	吴国庆 (80)
穆 尔	胡振元 (87)
纳 塔	黄永奎 (98)
能斯特	韩德刚 (109)
诺贝尔	严 舫 (122)
普雷格尔	梁树权 (132)
普雷洛格	戴立信 周振华 (138)
普里高京	李如生 (148)
鲁齐卡	陆仁荣 (161)
桑 格	钱瑞卿 (172)
斯韦德贝里	应琦琮 (179)
托 德	陈耀全 (190)
尤 里	郭正谊 (197)
维兰德	李兴亚 (206)
伍德沃德	邢其毅 (218)

阿 伦 尼 乌 斯

应 礼 文

(中国大百科全书出版社)

阿伦尼乌斯, S. A. (Arrhenius, Svante August) 1859年2月19日生于瑞典乌普萨拉附近的维克; 1927年10月2日卒于斯德哥尔摩。化学、物理学、天文学。

斯范特·奥古斯特·阿伦尼乌斯的父亲名斯范特·古斯塔夫(Svante Gustav), 母亲叫卡罗利娜·克利斯蒂娜·通贝格(Carolina Christina Thunberg)。古斯塔夫曾就读于乌普萨拉大学, 后来在维克经营地产, 1860年, 全家迁居乌普萨拉城, 古斯塔夫出任乌普萨拉大学的学监。奥古斯特有弟兄4人, 他排行第二, 自小聪明过人, 3岁时就会读书, 6岁时在算术上表现出特有的天赋, 能够协助父亲算帐。奥古斯特在乌普萨拉的一所教会学校上中学, 在数学、物理学、生物学方面的成绩优异。1876年中学毕业后进入乌普萨拉大学, 选读数学、化学、物理学等课程。1878年通过了学士学位的考试后, 他选择了物理学作为攻读博士学位的主课。他的导师 T. R. 塔伦(Thalén)对光谱分析学有专长, 但其兴趣仅限于此。阿伦尼乌斯希望了解物理学的更多领域, 特别是实验物理学。于是, 他只得离开这所古老的大学, 于1881年前往瑞典首都斯德哥尔摩继续深造。他在瑞典科学院的物理学家 E. 埃德伦德(Edlund)教授指导下, 于1882—1883年进行电解质电导率的测定, 写成了“电解质的导电性研究”一文。1884年, 他将该文作为博士论文送交母校乌普萨拉大学, 并于5月进行答辩, 获得四级的成绩, 按照当时流行的习惯, 大学当局只能授予博士学位, 而不能让他担任讲师。阿伦尼乌斯只得将论文寄给外国著名的科学家 R. 克劳修斯

(Clausius)、W. 奥斯特瓦尔德 (Ostwald)、J. H. 范霍夫 (van't Hoff) 等, 希望得到他们的支持。奥斯特瓦尔德对论文给予很高的评价, 并约请阿伦尼乌斯担任里加工学院的讲师。乌普萨拉大学当局迫于形势, 于 1884 年任命阿伦尼乌斯为物理化学讲师。

在埃德伦德的帮助下, 阿伦尼乌斯从瑞典科学院获得了出国深造的奖学金。他于 1886 年先后在里加工学院奥斯特瓦尔德的实验室和武尔兹堡 F. 柯尔劳希 (Kohlrausch) 的实验室工作; 1887 年在格拉茨的 L. 玻尔兹曼 (Boltzmann) 的实验室工作; 1888 年在阿姆斯特丹的范霍夫的实验室工作。1891 年, 德国吉森大学约请阿伦尼乌斯任教授, 尽管这一聘任将会给他带来极大的荣誉, 但是热爱祖国的阿伦尼乌斯谢绝了这一美意, 宁愿留在斯德哥尔摩工学院担任讲师。1895 年他被升任为物理学教授, 1896 年被任命为工学院院长, 他担任此职一直到 1905 年。1905 年, 柏林大学约请阿伦尼乌斯任教授, 他再一次谢绝了聘任, 担任新创建的斯德哥尔摩诺贝尔研究院物理化学研究所所长, 一直到他逝世时为止。

由于阿伦尼乌斯在物理化学研究, 特别是电离理论方面取得了光辉的成就, 使他在后半生得到了不少荣誉, 同时也使他在本国的学术地位有了进一步提高。他于 1895 年当选为德国电化学学会会员; 1901 年当选为瑞典科学院院士; 1902 年获伦敦皇家学会戴维奖章; 1903 年获诺贝尔化学奖; 1905 年当选为德国化学会名誉会员; 1911 年当选为伦敦皇家学会外国会员; 1911 年在美国接受第一枚吉布斯奖章; 1914 年获法拉第奖章。

阿伦尼乌斯的兴趣是多方面的, 除了化学以外, 在物理学上, 致力于电学研究; 在天文学上, 从事天体物理学, 如宇宙形成学说的研究; 在生物学上, 有生命起源的研究。但是, 在他毕生的科学研究生涯中, 最重要的贡献当推电离理论的创建。

关于电解质在溶液中产生离子的观念, 并不是阿伦尼乌斯首先提出的。1805 年, 德国化学家 T. von 格罗特斯 (Grotthuss) 在解释水的电解反应的机理时指出: 在电流作用下, 水分子变为带负电荷的氧原子和带正电荷的氢原子。带负电荷的氧原子与正

极接触,电荷被中和,变成氧气析出;带正电荷的氢原子与负极接触,生成氢气。1834年,英国物理学家 M. 法拉第 (Faraday) 在论文“关于电的实验研究”中的提法更为明确,他认为在电解时,溶液中的电流是由带电荷的分解产物传输的,他把电解前未分解的物质叫做电解质,传输电流的分解产物叫做离子。带正电荷并向阴极移动的离子称为阳离子;带负电荷并向阳极移动的离子称为阴离子。格罗特斯和法拉第的观点可用一句话来表述:“离子是在电流的作用下产生的。”当时的科学界把这种观点视为金科玉律。1857年,克劳修斯指出格罗特斯的观点并不正确,因为假如果真如此的话,则在电解时就会有一部分电流被用来分解电解质,欧姆定律对溶液将不再适用,但实验并未证明这一点。克劳修斯是一位数学家,他对化学并不熟悉,只是在研究盐溶液的电导时,才提出电解质离解的看法。他和 A.W. 威廉森 (Williamson) 认为电解质的分子与形成它的原子都处在动态平衡之中,分子之间不断地交换着原子(或基),因此分子的离解和原子的化合永远在连续不断地进行。但是他们认为这些离解出来的原子只能存在于很短暂的时间内,而且克劳修斯只相信电解质有极小的离解,这种现象也并非一种普遍情况。这样,他们的结论的意义就被大大地削弱了。在这些科学家里,法国化学家 F.M. 拉乌尔 (Raoult) 的工作也许是最出色的。1882年,拉乌尔发表了凝固点降低的研究报告,他指出:在100克水中溶解了 W 克的分子量为 M 的有机化合物,测得溶液的凝固点降低值 ΔT 为:

$$\Delta T = KW/M$$

对于绝大多数的有机化合物来说, $K = 18.5$ 。但对于强酸与强碱化合生成的盐,其水溶液的 K 值约等于37,大约是有机物水溶液的 K 值的两倍。他指出:盐溶液的凝固点降低值比同克分子浓度的有机物溶液高,似乎可以解释为酸、碱、盐溶液中的溶质分子数要比同克分子浓度的有机物溶液多。拉乌尔还注意到,盐类水溶液表现出来的渗透压比范霍夫的理论计算值为高,所以他认为溶液中的盐类可能象气体的离解一样,也有某种程度的离解。显然,

拉乌尔的观点已经比较接近电离理论了。尽管如此，这些电离理论的先驱者并未明确地提出电解质在溶液中自动电离的结论，他们的看法也缺乏令人信服的实验根据，他们的结论中也没有定量的表述。所以这些先驱者的看法难以对抗根深蒂固的旧观念，以致法拉第的观点仍然在科学界占据统治的地位。

真正敢于，并以无可辩驳的实验事实向旧观念提出挑战的则是阿伦尼乌斯。这位生长在北欧的年轻人认识到：“在瑞典，人们想要尝试利用许许多多瀑布，而对瀑布的最好的利用，则是用它的力来获得电，然后再转变为化学能。因此，瑞典人对电化学相当感兴趣。”这种认识也促进了阿伦尼乌斯去研究溶液的电导问题。虽然关于电导的研究工作是很的，但是前人的研究对象只限于浓溶液，例如 E. K. 楞次 (Lenz) 和柯尔劳希的研究工作用的只是一般的稀溶液。阿伦尼乌斯的特色就在于他所研究的是极稀电解质溶液的电导率，当溶液的浓度达到极稀时，浓溶液的某些性质消失了，又出现了一些新的现象，这就使阿伦尼乌斯很容易去发现一些新的规律。他认为：所以产生这些新规律的原因是很简单的，应该相信克劳修斯和拉乌尔的观点，在高度稀释的溶液中，电解质分子离解这一现象显得更为明显和突出了。研究极稀溶液的电导乃是阿伦尼乌斯获得成功的关键，连他自己也说过：“我的一大幸运乃是研究了极稀溶液的电导。”

阿伦尼乌斯研究的是溶液的电学性质，但是他想到必须将电导率与化学性质联系起来，并用化学的观点来阐明自己所发现的新规律。他回顾了法国化学家 C. L. 贝托雷 (Berthollet) 关于电化学的研究，贝托雷指出：导电最好的酸是强酸，强酸能够置换导电能力很差的弱酸，在很多情况下，不同酸的电导率能相差一百万倍之多。阿伦尼乌斯又注意到，所有的酸在与同一种碱中和时，应该产生同量的中和热，当酸和碱都是 1 当量时，中和热是 13500 卡，但是这一点只对强酸和强碱的中和反应才是适用的，如果用弱酸代替强酸，中和热的值就会有一点偏差。他认为，产生上述现象的原因是由于强酸和弱酸的活化(即离解)程度不同。他在研究

亚铁氰化钾的反应性时发现，虽然亚铁氰化钾中含有钾、铁和氰，但是只能发生钾的反应和亚铁氰酸根的反应，而不能发生铁的反应和氰的反应。他在解释这一现象时，认为在亚铁氰化钾这种盐溶液中，只存在钾离子和亚铁氰酸根离子，而不存在着铁离子和氰根离子。由此他得出结论：“如果两种电解质相互作用时，只能是离子在相互作用，除此之外，再也不会发生其他反应。”这样，阿伦尼乌斯所考虑的活化分子(即离子)就不但是相对于电性而言的，也是相对于化学性质而言的。

1883年5月17日，阿伦尼乌斯彻夜未眠，他的电离理论终于构思成功，随后又写出了论文，他准备将此文送交乌普萨拉大学进行博士学位论文答辩。但是他对于母校的教授们有很深的了解，如果他直截了当地在论文中指出，在高度稀释的溶液中盐类接近全部电离，论文肯定不会受到赞许，甚至不被通过。所以他在1883年写的论文中，对于离子的提法是比较隐晦的，他指出盐类在溶液中含有两种不同的分子，一种是活化的分子(指离子)；另一种是未活化的分子。活化分子导电；未活化的分子不导电。按照他自己的话说：“这种说法看起来不那么危险。为了谨慎，才用活度系数代替了电离度这一术语。”

阿伦尼乌斯的论文题目是“电解质的导电性研究”，是用法文写成的，论文共152页，分为两部分，有56点假设。论文的前半部为实验测定和电导的研究，他测量了47种电解质(包括5种酸)溶液的电阻，溶液的浓度达到0.0005当量，甚至更低。他还测量了当溶液稀释一倍时，溶液的电阻增长的比例。论文前半部的主要假设有：在许多场合下，极稀盐溶液的比电导与溶液浓度成正比；两种或两种以上相同浓度的盐类稀溶液的电导率常常等于每一种盐溶液电导率的加和；电解质溶液的电阻随着粘度的升高而增大，介电常数则降低；离子的组成愈复杂，电解质溶液的电阻愈大。

论文的第二部分的标题为“电解质的化学理论”，这是阿伦尼乌斯从实验结果发展出来的理论，是论文的最重要部分。他假设

溶解于水的电解质分子,部分是活化的,部分是未活化的,例如酸、碱的水溶液就由三部分组成:第一部分是水;第二部分是活化的分子;第三部分是未活化的分子,这三部分处在化学平衡之中。当溶液稀释时,活化分子增加了,未活化的分子减少了。然后他将这种假设扩展到其他可溶性的电解质——盐,并对电解质的活度系数(相当于现代的术语“电离度”)下了定义:“活度系数是电解质溶液中实际存在的活化分子数与当电解质完全变成活化分子时所存在的活化分子数之比。”他认为酸和碱的活度系数愈大,它们的强度愈大;在弱酸盐溶液中,强酸可以置换弱酸;在复分解反应中,强酸与强碱的中和反应最完全,弱酸与弱碱的中和反应则不完全;每一种溶于水的盐都部分变成酸和碱,酸和碱越弱,水越多,水解产物的量愈大。最后是论文的摘要:“现在研究表明,可以设想溶液中的电解质存在着两种形式:一种是活化的;一种是未活化的。在相同外界条件(温度和溶液稀释程度)下,活化部分的量是固定的。活化部分导电,是真正的电解质,未活化部分则不是。”

电离理论的发表对于解释拉乌尔关于电解质溶液的凝固点降低值远大于同浓度的非电解质溶液;柯尔劳希关于盐溶液的当量电导等于阳离子和阴离子的离子淌度的加和,以及 J. W. 希托夫(Hittorf)关于离子迁移速度的研究起了积极的作用。但是由于“没有电流的作用,溶液中不存在带相反电荷的离子”这一概念很难被说服,电离理论也象其他许多科学上的伟大发现一样,在它诞生的第一天起,就不为多数科学家理解和接受,甚至还受到无理的攻击和非难。

当阿伦尼乌斯第一次构思出电离理论后,自然就想起要先告诉他的导师 P. T. 克利夫(Cleve)教授,他向教授介绍:“我发现了一种新的电导理论,可以阐明化学反应的本质。”教授回答说:“那是很有趣的。”但是教授又接着说:“再见!”教授为什么持这种态度呢?这可以用若干年后,当阿伦尼乌斯获得诺贝尔化学奖时,教授向这位杰出的学生表白的思想来说明。原来,在 19 世纪,克利夫和其他许多化学家一样,他们亲眼看到许多杰出的理论像

出现在天空的陨星一样,只放出短暂的光芒,最后都遭到殒灭的命运。这就使他们对各种新的理论持怀疑态度,认为这些理论几乎都是错误的,过不多久,它们都将销声匿迹。就连 Д.И. 门捷列夫(Менделеев)也说过:“电离学说不过是一种奇谈怪论,不值一提。它和燃素学说一样,肯定会破产的。”阿伦尼乌斯虽然用极其谨慎的口气写论文,但是受到的评价却是“不无可嘉”。

阿伦尼乌斯并未因此而灰心,他把论文寄给欧洲一些著名的科学家,以期得到支持。他收到了绝大多数科学家友好的答复,他说:“他们把我当作同事,而不是不懂事的小学生。”值得一提的是奥斯瓦尔德对论文作出很高的评价,认为其中某些部分是十分不寻常的,论文的一些新观点具有重要的意义,并立即写了论文的摘要在《物理化学杂志》上发表。奥斯特瓦尔德还亲自来到乌普萨拉,会见阿伦尼乌斯,还访问了克利夫,企图说服后者支持电离理论。但是,克利夫在实验室中指着一杯氯化钠水溶液问奥斯特瓦尔德:“在这个杯子里是氯化钠溶液,您是否相信钠和氯在其中游来游去。”当奥斯特瓦尔德作出了肯定的回答:“是的!”。顽固的克利夫却向他投出怀疑的一瞥。和奥斯特瓦尔德一样,范霍夫也以高度的热情支持阿伦尼乌斯,人们把他们三人称为“离子主义者”和“物理化学三剑客”。一直要到 1887 年以后,电离理论才开始被普遍接受,当阿伦尼乌斯由于创建这一理论而荣获诺贝尔化学奖后,就连一直反对电离理论的克利夫也不得不作出了极高的评价:“从 J. J. 贝采里乌斯(Berzelius)肩上卸下来的斗篷,现在正是由阿伦尼乌斯披上了。”诚然,最后胜利是属于真理的卫士阿伦尼乌斯的,但是,在这胜利之中,曾经经历了多少艰苦的斗争和辛酸。

在阿伦尼乌斯提出博士论文两年以后,范霍夫发表的论文“渗透压在阐明溶液和气体相似性中的作用”,对于阿伦尼乌斯提出更明确的电离概念起了重要作用。德国植物学家 W. 浦菲弗(Pfeffer)在研究溶液的渗透压时,得出了以下公式:

$$pV = KT$$

式中 P 为溶液的渗透压； V 为溶液的体积； T 为绝对温度； K 为常数。上式与理想气体状态方程 $pV = RT$ 很相似，范霍夫经过计算，发现 K 等于 R 。他由此得出结论，认为稀溶液与气体之间存在着相似性：“在一定的温度下，一定体积中含有一定数量的气体分子所产生的压力相当于在同样条件下许多物质溶于水中所产生的渗透压或蒸气压。”他还进一步指出：“对于溶液来说，可以写出与理想气体状态方程相类似的方程 $PV = iRT$ 。（式中 P 为溶液的渗透压； V 为溶液的体积； R 为气体常数； T 为绝对温度） i 是一个系数，在某些情况下， i 等于 1，但对于酸、碱、盐来说， i 则大于 1。”范霍夫并不能解释为什么酸、碱、盐溶液的渗透压比从 $PV = KT$ 公式中计算得到的渗透压值要高。

阿伦尼乌斯读了范霍夫的论文以后，立即识别出范霍夫提出的渗透压公式 $PV = iRT$ 中的 i 值就是电解质溶液中离解出来的离子数或电离度。他在 1887 年 3 月 30 日写给范霍夫的信中说：“如果假设溶液中氯化钠的行为是正常的，即它是一个普通分子，那么， i 应当等于 1，但是实际上 i 大于 1。为了解释这一点，自然需要假设氯化钠是部分离解的，正如同碘分子在高温下离解的现象一样。我由此而得出了电解质部分离解的假设，电解质离解成为离子，所以 i 值应当是在 1 与离子数之间。例如，对于离解出两个离子的氯化钠、氯化钾、硝酸钾、氢氧化钠来说， i 接近 2；对于离解出三个离子的氢氧化钡、氯化钙、硫酸钾来说， i 接近 3。”按照上述假设，阿伦尼乌斯利用电解质溶液的电导率算出 i 值，并将它与根据凝固点降低的实验结果得出的 i 值作了比较，在绝大多数场合下，两种方法得出的结果是一致的，这一点更证明了电离理论的正确性。

在 3 年的时间里，阿伦尼乌斯创建的电离理论不但获得了更充分的实验依据，而且有了坚实的理论基础，即电学基础、化学基础和热力学基础。阿伦尼乌斯认为公开表明自己观点的时机已经成熟，于是他在 1887 年 5 月发表了电离理论的第二篇论文“关于溶质在水中的离解”这是经过修正和补充的电离理论，并加进了定

量的表述。论文第一次揭开了庐山真面目,首先,他在论文的题目中就理直气壮地提出“离解”二字来代替“活化”概念,在论文中也用了“电离度”代替“活度系数”。他在论文中指出:电解质水溶液由两部分构成,一部分是离解了的分子,另一部分是未离解的分子。在溶液稀释时,未离解的分子进一步离解;在无限稀释的溶液中,只有离解了的分子。电离度可以根据下式计算:

$$\alpha = \mu / \mu_{\infty}$$

式中 μ 为给定浓度的溶液的克分子电导率; μ_{∞} 为溶液在无限稀释时的克分子电导率。他又指出:范霍夫公式 $PV = iRT$ 对所有的物质都适用,而不仅仅是对于多数物质适用。 i 与 α 的关系为:

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

式中 n 为电解质分子离解出来的离子数。对于离解出两个离子的电解质溶液来说, i 值接近2。他从12种非电解质、15种碱、23种酸、40种盐的电导率计算出 α ,又从凝固点降低的实验结果计算出 α 值,两者非常地吻合,这是电离理论的最有说服力的证明。

1888年,阿伦尼乌斯访问了德国物理学家 M. K. 普朗克(Planck),后者对电离理论很感兴趣,同时又提出了一个问题,他对阿伦尼乌斯说:“我完全赞同你,但是发生了一件困难的事,如果我研究硫酸铜的电导率,就必须计算这种盐有多大的部分离解了,而且离解部分的量必须与 C. M. 古德贝格(Guldberg)和 P. 瓦格(Waage)提出的质量作用定律相一致,问题是我的计算结果表明,并不一致。”范霍夫也提出同样的问题:“电离理论是很好的,但是你是否可以让它与质量作用定律取得一致。我已经计算过氯化钾的电导率,发现从电导率算出的电解质离解部分与质量作用定律并不一致。”看来,电离理论又面临着新的考验。对此,阿伦尼乌斯向范霍夫作出了以下答复:“事实正象您所说的那样,但是您应该用醋酸进行计算,因为对于醋酸来说,当溶液稀释时,电离度可以从1增加到100,但是对于盐类来说,电离度的改变是很小的。如果您要看到一种规律是正确的,您最好用最大

的变化来考察。”范霍夫立即开始新的实验，制备出很纯的醋酸，测定它的电导率，计算出来的离解部分完全符合质量作用定律。奥斯特瓦尔德也将质量作用定律应用到电解质的离解部分与未离解部分的化学平衡上：



他发现，如果 1 克分子 AB 溶解在 V 升水中，将有以下关系：

$$\frac{[A^+][B^-]}{[AB]} = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)V} = K$$

式中 K 是常数。该式称为稀释定律，适用于弱酸和弱碱。

1888 年，阿伦尼乌斯提出等氢离子溶液理论，即两种酸溶液混合时，它们的电离度不变。1889 年，他研究温度对电解质电离度的影响，计算了各种弱酸的离解热，发现电离作用是一个放热过程。1894 年，他又提出盐的水解理论，这些都是电离理论的发展。

电离理论创建以后，许多实验事实得到了合理的解释，例如：

1) 1 克当量的任何强酸与 1 克当量的任何强碱在稀溶液中反应时，都放出相同的反应热。根据电离理论，强酸在稀溶液中几乎完全电离成氢离子和酸根离子；强碱则几乎完全电离成氢氧根离子和金属离子。强酸与强碱的中和反应实质上都是氢离子与氢氧根离子化合成电离度很小的水的反应，酸根离子和金属离子仍然留在溶液中，没有发生变化。所以反应放出的热都是相等的，都是下列反应的反应热：



2) 不同盐类(强电解质)的溶液混合在一起，如果没有沉淀析出或气体产生，就既不吸热，也不放热，例如将氯化钠溶液与硝酸钾溶液混合就属于这一种情形：



根据电离理论，氯化钠和硝酸钾在稀溶液中都成为离子状态，这两种盐混合后实质上是将 Na^+ ， Cl^- ， K^+ ， NO_3^- 四种离子混合在一起：

