

高等学校教学用书

理論電化學教程

上 册

H. A. 伊茲加雷歇夫 著
C. B. 高爾巴切夫

626

高等教育出版社

高等學校教學用書



理論電化學教程

上 冊

H. A. 伊茲加雷歇夫, C. B. 高爾巴切夫著
徐 學 楷 等 譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立化學科技書籍出版社（Государственное научно-техническое издательство химической литературы）出版的伊茲加雷歇夫（Н. А. Изгарышев）和高爾巴切夫（С. В. Горбачев）合著的“理論電化學教程”（Курс теоретической электрохимии）1951年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等化工學校及化工系用教科書。

全書共十四章，中譯本分上下兩冊出版。書中連貫地敘述了理論電化學的基本原理。在上冊中主要敘述了電流在溶液中的通過、強電解質理論及其應用、離子的溶劑化現象、電動勢發生的理論以及電毛细管現象等。下冊中敘述了電解以及電解的一些特殊情形，如陽極上金屬的溶解、合金的形成、通交流電的電解、非水溶液與溶化物的電解等，並專章敘述了蓄電池及電化學腐蝕的理論基礎，最後一章中再討論了某些工業上用到的電化學過程的理論基礎。

本書由華南工學院物理化學教研組集體翻譯，參加翻譯及校訂工作者有徐學楷、馨文德、溫瑞、莫之光、鍾心泰、簡璇芝、雷一東和鄭偉光。

理論電化學教程

上 冊

伊茲加雷歇夫，高爾巴切夫著

徐 學 楷 等 譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

（北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號）

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 15010·127 開本 850×1168 1/32 印張 8 2/16 字數 194,000

一九五五年九月上海第一版

一九五六年七月上海第四次印刷

印數 5,201—7,700

定價（10） 1.20

上 冊 目 錄

序 言

符號說明

緒 論 9

電化學發展史概要 9

第一章 水溶液 14

§ 1. 門捷列夫的溶液水化理論 14

§ 2. 溶液的物理化學的研究 16

§ 3. 電離理論 21

§ 4. 水化理論與電離理論的關係 24

§ 5. 膠體溶液 28

第二章 電流在電解質溶液中的通過 32

§ 1. 法拉第定律 32

§ 2. 離子的運動速度 35

§ 3. 研究離子性質的實驗方法 40

§ 4. 水溶液的導電度 53

§ 5. 導電度測定在化學分析中的應用 70

第三章 強電解質溶液及溶液靜電理論 72

§ 1. 強電解質的特性 72

§ 2. 強電解質與弱電解質的區別 74

§ 3. 強電解質理論的物理實質 77

§ 4. 波爾茨曼的 e -定理 80

§ 5. 離子雲 83

§ 6. 溶液中離子的相互作用 89

§ 7. 不同價離子的理論的綜合 94

§ 8. 考慮到離子半徑大小的理論的綜合 97

第四章 強電解質溶液理論的應用 105

§ 1. 強電解質溶液的滲透壓 105

§ 2. 強電解質溶液中的化學平衡 118

§ 3. 強電解質溶液的導電度	130
第五章 離子的水化作用與溶劑化作用	149
§ 1. 離子的水化作用	149
§ 2. 水化熱與水化自由能的測定	158
§ 3. 非水溶液中的導電度與溶劑化作用	168
第六章 原電池理論	175
§ 1. 金屬的導電度	175
§ 2. 電動勢發生的理論	176
§ 3. 電動勢的滲透理論	182
§ 4. 電極電位和電動勢的測定	196
§ 5. 電動勢的電化序	204
§ 6. 電位分析	208
§ 7. 活度及其測定法	216
§ 8. 電位滴定	217
§ 9. 有中性鹽及其他雜質存在時的電極電位	220
§ 10. 非水溶液中的電動勢	222
§ 11. 水化在產生電能中所起的作用	226
§ 12. 兩個液相接觸處的電位	235
§ 13. 內電解	239
§ 14. 關於工業原電池的理論	240
第七章 電毛细管現象及動電現象	244
§ 1. 雙電層構造	244
§ 2. 電毛细管現象	246
§ 3. 動電現象	251
人名對照表	259

序 言

本書預定作為化工高等學校學生的教本，因此其中除了有基本理論與實驗材料的詳細的敘述之外，在相當的地方還簡略地指出了在工業上應用的電化學過程和這些過程的理論基礎。

在 1949 年出版的 B. I. 霍姆亞可夫，B. II. 馬索維茨和 Л. Л. 庫茲明合著的“電化生產工藝學”是本書的天然的延續。該書敘述了電化學工業上的基本技術、生產過程及相應的設備。

本書的內容結構與其他的電化學教本稍有不同，因此必須指出各個別章節的最主要的特點。

第一章“水溶液”以敘述由 Л. И. 門捷列夫所建立的溶液水化理論開始。門捷列夫用他的研究果斷地證實了，溶解作用在本質上是溶質水化物形成的化學過程。但他的溶液水化理論一直到現在都很少受到注意，只有那些物理性質——滲透壓和稀溶液的蒸氣壓等才被作為溶液的基本性質。所以產生這種結果，從歷史上看是由於在長期間內作為一切理論電化學的基礎的電離理論，是在拉烏爾、范特-荷甫以及其他研究者們的研究工作的基礎上產生的，而他們雖然研究了溶液物理性質，但對於溶解時所進行的化學過程則未給予充分的注意。在本書中，作者把他們的研究工作不是作為某種孤立的東西來處理，而是把它們作為門捷列夫的溶液的化學理論的補充。

由於 H. C. 庫茲納可夫應用了他自己研究出的物理化學分析方法來研究水溶液，同時也由於 И. A. 卡勃魯柯夫首先指出溶液的水化理論與電離理論之間的密切的聯繫，門捷列夫的溶液理論得到了進一步的發展。如果考慮到當溶解時不僅分子被水化，離

子也同樣被水化的話，則這種連繫就變得很明顯了。

將門捷列夫的水化理論推廣應用到非水溶劑的溶液上，是 B. A. 普洛特尼可夫和他的學派的功績，在非水溶液中好像在水溶液中一樣，在溶質與溶劑之間產生化學的相互作用而形成溶劑化物。

除此之外，第一章還提到了一些關於膠體溶液的簡要的知識，因為在研究電化學時是必須熟悉膠體溶液的性質的。由於在現行的教學大綱的編排上，開始學習電化學的學生還未具備必需的膠體化學知識，因此，在本書中收入這些章節是必要的。

第二章敘述電導理論。其中也討論水解現象，描述導電度和電導滴定的測定方法。

根據敘述的性質而將第三章“強電解質溶液及溶液靜電理論”和第四章“強電解質理論的應用”分開。在這兩章裏與別的章不同之處是引述了基本數學方程式的推導。略去了這些推導，可能只是不可容忍地簡化了敘述，而且是完全沒有意義的，因為對於四年級的學生來說，理解和應用這些推導是不會感到困難的。

第一章裏討論過的門捷列夫的溶液水化理論的概念，在第五章“離子的水化及溶劑化”中詳盡地發展了。因此學生們在學完了這一章後，在研究第六章“原電池理論”時，對於因離子與溶劑的相互作用而產生的由化學能轉變為電能的機理就可以得到清晰的觀念。此外，在第六章中，對於與建立在舊的稀溶液理論基礎上的涅倫斯特滲透理論相符合的電動勢之發生的見解，也作了一般的介紹。

第七章“電毛細管現象”向學習電化學的學生介紹了具有一定理論意義的電滲和電泳現象，同時對於更深入理解電極過程機理方面的電毛細管現象也作了說明。

第八章“電解”主要包括了研究電極過程時所應用的方法和儀器的敘述，本章最後幾節大半用來討論研究電極過程的極譜分析

方法。

第九章“超電壓理論”敘述氫、氧和氯的超電壓理論。

第十章“金屬電沉積時的電極過程”敘述了為正確理解金屬沉積過程所必需的理論資料。這些資料的意義對於電化學家來說，是非常大的，因為所有的水溶液電冶金和電沉積（電鍍）都是建立在它的基礎上面。第十一章用來敘述電解的特例，其中一部分討論金屬和合金的陽極溶解過程，也討論了交流電的電解以及熔融物的電解理論。

第十二章“蓄電池理論初步”包括很簡要的蓄電池理論的敘述。由於在蓄電池中發生的過程具有其特徵——在由化學能轉變為電能的同時，由於外電源的作用又發生了電解，故將這些材料闢為專章討論。

第十三章敘述建立在微電偶（гальванические микропар）概念的基礎上的近代的腐蝕理論。同時也引述關於金屬鈍態的原因的知識。

最後，第十四章敘述在工業上應用的電化學過程的理論。除了有必要向學生簡單地介紹電化學的實際應用之外，為了使理論電化學這門課程和電化學生產工藝學課程之間建立一定的系統性，把這章包括進去也是適宜的。

緒論、一、二、五、六、七、八、十、十一、十二、十三、十四等章由 H. A. 伊茲加雷歇夫執筆。三、四、九等三章和第二章的第二節和第三節（“電解質溶液中的離子運動速度”和“離子研究的實驗方法”）和第八章的第七節（“極譜分析”）由 C. B. 高爾巴切夫執筆。

作者謹向曾為本書提過許多寶貴意見的 B. B. 米海洛夫致謝，這些意見，在本書內容作最後訂正時已加採用。

符 號 說 明

A —功	r —半徑; 比容解熱
a —半徑; 活度(第三章)	S —表面積; 熵
C —電容	T —絕對溫度, $^{\circ}\text{K}$
c —濃度; 原子熱容	t —攝氏溫度, $^{\circ}\text{C}$
D —介電常數; 擴散係數	U —陽離子遷移率; 晶格能
d —比重; 密度(同 ρ)	v —陽離子速度
E —原電池電動勢; 能量場位	V —電壓; 陰離子遷移率; 電位梯度
e —電荷; e_0 —電子電荷	v —容積; 陰離子速度; 稀釋度
F —自由能	w —離子合速度; “價因子”(第四章); 真正遷移數
F —“法拉第”—96540 庫倫	z —價
f —力	Z —離子數
f_0 —滲透係數	α —離解度; 電離度
f_a —活度係數	I —離子強度; 物質吸附量
f_e —導電度係數	ϵ —單個電極電位或半電池電位
g —重力加速度	ϵ_0 —對氫電極的電位
h —高度; 蒲郎克常數	ϵ_1 —對甘汞電極的電位
I —電流強度	ϵ_0 —標準電極電位
i —范特荷甫係數	η —黏度
k —波爾茲曼常數	κ —比導電度
K —平衡常數	$\frac{1}{\kappa}$ —離子雲半徑
k_{H_2O} —水的離子積	Λ —當量導電度
L —溶度積; 溶解熱	λ —蒸發熱; 波長; 電荷量份數(第三章)
l —比蒸發熱; 自由路程長度; 溶解度	μ —克分子導電度; 偶極矩
M —分子量	ν —頻率
m —體積克分子濃度	ρ —密度(同 d); 電荷密度
m —質量	σ —表面張力; 導電度; “離子半徑校正因子”(第四章)
N —亞佛加德羅數; 克當量數	τ —時間
n —分子數或克分子數; 遷移數	ψ —位能
P —滲透壓; 位能	ξ —電位— ζ -電位
P —電解的溶解度	
p —蒸氣壓力或氣體壓力	
Q —熱效應	
R —氣體常數; 電阻	

緒 論

電化學發展史概要

由化學能轉變為電能，或相反的由電能轉變為化學能的轉變過程，是電化學的研究對象。因此，電化學的發展自然是與化學、電工學及電學理論的發展分不開的。

我們偉大的同胞 M. B. 羅蒙諾索夫在“如果沒有化學則認識電的真實原因的道路就被封閉”(1765 年)這句話中首先道出了關於物質的化學現象和電性質間的深刻關係的概念。發明用來頓瓶來收集大氣中的電以作當時實驗室電源的所謂“造雷機”的榮譽也是屬於羅蒙諾索夫的。應用這些不完善的儀器，羅蒙諾索夫首先成功地進行了電解水的實驗。

但是，由於缺乏足夠強大的和可靠的電源，阻礙了電化學的繼續發展，在“伏特電堆”發明以前，僅對電流的化學作用進行了一些個別的觀察。例如，在十八世紀七十年代普李斯特爾，特別是克愛文啓許曾發現當電花通過空氣時，空氣中所含的氮和氧生成氮的氧化物，而這些氮的氧化物與水作用則生成硝酸和亞硝酸。

伽伐尼(1791 年)做了關於蛙腿的著名實驗後，加強了人們對電的研究的注意；1799 年伏特發明了第一個電池並被稱為“伏特電堆”。伏特還推演出關於不同金屬直接接觸時發生電位差的原理。那時，化學家們由於有了可靠的和強大的直流電源，因而能夠

進行廣泛的電化學的研究。1803年在彼得堡曾出版了“關於物理學家華西里彼得洛夫教授在聖彼得堡的外科醫學院利用由4200個銅鋅組合所組成的巨大電池組進行伽伐尼-伏特的實驗的報導”一書。著名化學家及物理學家B. B. 彼得洛夫藉助於這個強大的電池組,首先進行了足夠大規模的水的電解,他又應用電解法首先析出了包括金屬汞在內的一系列的金屬。發現“電弧”以及其他一系列的電現象的榮譽也是屬於B. B. 彼得洛夫的。

一般認為德斐由電解熔融的氫氧化物首先獲得碱金屬。但是與德斐同時(可能還早些),碱金屬已為俄國化學家C. H. 符拉索夫應用電解法析出。

和這些人同時,莫斯科大學教授Φ. Φ. 列依斯發現了電滲現象。

由於電化學的發展,使俄國科學家格羅特古斯得以首先建立了溶液導電度的理論(1806年)。水粒子中正負兩極連鎖排列的概念是這個理論的基礎。

在電解的領域中,瑞典化學家貝齊里烏斯也進行了很多研究,在一些最初的物質構造的電化學理論之中,有一個就是他所創立的。

法拉第(十九世紀三十年代)發現的電解定律在電化學中有着重大的意義。法拉第定律實質上為電解過程的量的研究建立了基礎。今日在電解現象領域中常用的術語,是法拉第在科學上所首先引用的。

俄國院士B. C. 雅柯比對電化學有許多很有價值的貢獻。他在1839年發明了獲得浮雕物體的金屬複製物的電化學方法,即所謂“電鍍”法。他提出採用鋅作為含有氯化銨溶液的原電池的陰極。值得指出的是關於鉛蓄電池構造的概念同樣是由雅柯比所提出來的(其後由法國科學家普蘭特愛實際上完成這種蓄電池)。

十九世紀的俄國科學家在電源(原電池)的創立的領域裏總共做了很多的工作。1884年И. П. 巴格拉契翁在銅鋅電池的基礎上造成第一個乾電池。著名的俄國科學家及發明家 И. И. 雅布羅啓柯夫在1884年發明了以金屬鈉作負極的具有很高(2.5伏特)的電動勢的新型電池。他還發明了新穎的燃料電池。

溶液導電度的研究,對於電化學的進一步的成就具有重大的意義。吉特托爾符(1853年)確定了在電場作用下,離子在溶液中以離子本性決定的不同速度而運動。

電化學的進展,在很大程度上決定於我們的關於電解質溶液的本性的概念的進展。在西歐國家中,溶液的研究,是基於它們的物理性質研究的方向上發展;在這方面,拉烏爾和范特-荷甫的工作獲得了巨大的成功。但是固體與溶劑的接觸而構成溶液主要是一種化學過程,亦即是固體水化的過程。偉大的俄國科學家 Л. И. 門捷列夫注意到這方面,在1868年創立了溶液的水化理論,這理論的簡要說明見本書的第一章。

著名的俄國物理化學家 Л. И. 康諾瓦洛夫的二元液體混合物蒸汽壓的研究工作(1884年),對於揮發性或活度理論的發展具有很大的意義。活度的理論,在今日已成為強電解質溶液一般理論的不可分離的部分。

溶液性質的研究,在上世紀八十年代引起了電離理論的產生。這理論在今天仍沒有失去它的意義,仍可在廣泛的範圍內解釋電化學現象。後來對瑞典學者 С. 阿累尼烏斯(1887年)所創立的電離理論又進一步作了嚴格的討論。著名的俄國科學家 И. А. 卡勃魯柯夫指出了(1891年)門捷列夫的溶液水化理論與電離理論結合的必要性。二者的結合是以下列事實為前提的:即不僅未解離的分子受到水化,而且在解離後所形成的離子也受到水化。B. A. 基斯伽柯夫斯基也贊同這個觀點。

原電池理論是與溶液理論同時發展的。熱力學的種種成就使從熱力學第二定律得到的結果推廣到電化學過程上去，同時又建立了原電池熱力學（海姆荷茨和涅倫斯特的作品）。俄國化學家赫魯曉夫及西特尼柯夫（1889年）則從事於原電池熱力學基本方程式的實驗上的驗證。

爲了解釋原電池電極的電位降落發生的機理，涅倫斯特提出了所謂“滲透理論”（1889年）。由同一種金屬不同濃度的汞齊作電極之濃差電池的理論是B. 秋林（1890年）創始的。

基於H. H. 瓦頓，B. A. 普洛特尼科夫和A. H. 薩哈諾夫（1902—1913年）等的主要的研究，成功地創立了非水溶液電化學。

B. A. 基斯伽柯夫斯基的工作，專注於很重要的金屬電化學鈍態問題。他的工作說明了由金屬氧化膜的形成而產生鈍態。B. A. 基斯伽柯夫斯基的研究駁斥了路布蘭和吉特托爾符所提出的基於金屬整體（不單在表面上）由活態變成鈍態的概念的鈍態理論。

由於柯理布（1848年），H. H. 別凱托夫（1869年），H. A. 布恩格（1870—1892年），H. A. 謝林斯基（1894年）及H. A. 希洛夫（1894年）等化學家工作的結果，建立了電化學的一個特殊部門——用陰極還原或陽極氧化的有機化合物的電合成法。

十九世紀末二十世紀初標誌着電化學工業蓬勃發展的時代。自從出現了新的更強大的電源（發電機或直流發電機），這種發展才開始成爲可能。而電化學工業的蓬勃發展又自然地決定了電化學研究的繼續擴大。俄國的科學家和發明家最先解決了一系列的工業上的電化學問題。譬如應用電解法來製造無縫銅管，早在1867年在愛里莫爾（他通常被認爲是這方法的發明人）工作前很久即已被Ф. Г. 費多羅夫所得。俄國工程師E. 克列因（1869年）發明了直到今日幾乎原封不動地採用着的鉛版鋼化法。Ф. 瓦舒克和H. 格魯霍夫曾經獲得製造氯氣的具有隔膜的電解槽的專

利權。這電解槽就是今日採用於氯氣工業的電解槽的前身。

實用電化學的成就，引起了對研究極化現象的很大的注意。極化現象，就是當物質在電極上析出時電位的實際數值對平衡熱力學數值的偏差。在這領域裏最重要的工作是 B. A. 基斯伽柯夫斯基、路布蘭以及涅倫斯特學派所完成的。1905 年塔費爾提出了超電壓與電流密度間的關係的成功的方程式。不過，在電化學的進一步的發展中，這方程式有時曾把企圖利用它來作全部理論的結論的研究者引入了迷途。上面所指的方程式僅僅在電解條件的一定範圍內才是符合的，而絕對沒有通用的特性。

1908 年，俄國電化學家 H. A. 普申發表了他的合金電位的經典研究的結果。在 1912 年至 1916 年這期間內，H. A. 伊茲加雷歇夫完成了許多關於平衡電位、非水溶劑及非水溶劑與水的混合物中的極化現象以及腐蝕現象等的研究工作。著名電化學家 H. H. 費多啓耶夫專門從事於與氯氣及金屬的電解製造有關的工業上電化學問題的研究。同時 H. A. 普申、M. 馬克孫明柯及 H. H. 費多啓耶夫也進行了很多熔融電解方面的工作。Ю. B. 巴依馬柯夫也在這一時期中進行了銅的電冶煉的工作。

偉大的十月社會主義革命後，在我們國家裏建立了一系列從事於研究電化學的科學研究所和實驗室。採用電化學過程的新的工業部門建立起來了，電化學幹部的培養擴大了。所有這些，保證了理論和實用電化學的成就與迅速發展。蘇聯的電化學家進行了無數的具有很大理論與實用意義的各種電化學問題的工作。這些工作將在本書的相應各章裏說明。

今日大規模的共產主義建設，首先是巨大水電站的建設，為電化學工業部門的進一步的發展創造着條件。同時在這當中所產生的實際問題的解決充實了蘇聯的電化學，並且將為它的今後的更有成效的發展服務。

第一章 水溶液

§ 1. 門捷列夫的溶液水化理論

根據門捷列夫的理論，水溶液的形成即鹽類在水中的溶解過程，本身就是一種化學反應，它的結果是這些鹽類與水生成水化物——在溶液中生成的分子化合物。這個直至今日仍然保持它的重要性的最早的和有很好根據的溶液理論，是門捷列夫根據他的研究結果所創立，並於 1868 年開始發表的；這種理論被稱為“水化理論”。

由研究溶液濃度變化與比重變化的關係，門捷列夫發現在許多情形之下，曲線都不是連續的，而是或多或少地出現一些明顯的轉折點。這些點標誌着當溶質含量的百分數變化時，溶液性質的一定的突變。門捷列夫解釋這種現象是由於有溶質與溶劑的化合物形成的緣故，這樣在一般情況下就引起了溶液性質的變化；而在特殊情況下，引起了比重的變化。對於每一種溶液都可能有若干種水化物，這可由門捷列夫原來的圖中看出（圖 1）。圖中橫坐標代表硫酸的百分比，縱坐標代表 $\frac{ds}{dp}$ ，就是當濃度變化時比重的變化；那些交點相當 H_2O 和 H_2SO_4 分子數的一定的比例，如 $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 150\text{H}_2\text{O}$ 。

對於酒精的水溶液，同樣地發現了下列的水化物： $3\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ （圖 2）。

對其他種類的溶液也得到類似的結論：即如門捷列夫所說的，溶解是一種化學過程。

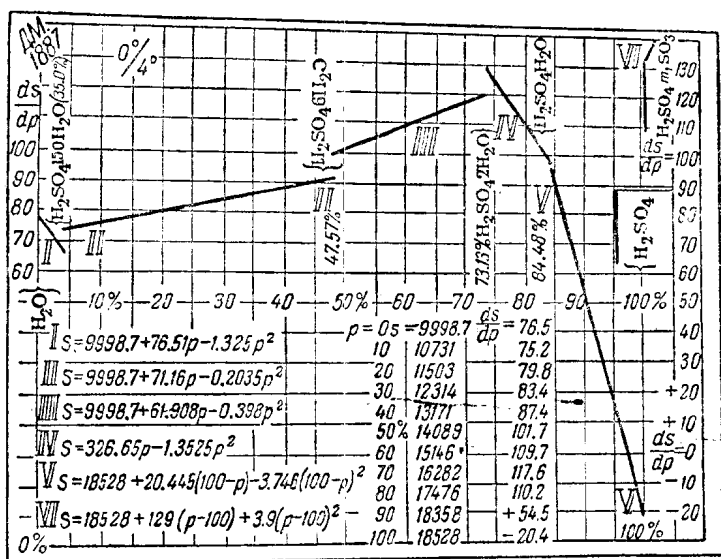


圖 1. $H_2O-H_2SO_4$ 系統的 p 與 $\frac{ds}{dp}$ 間之關係。

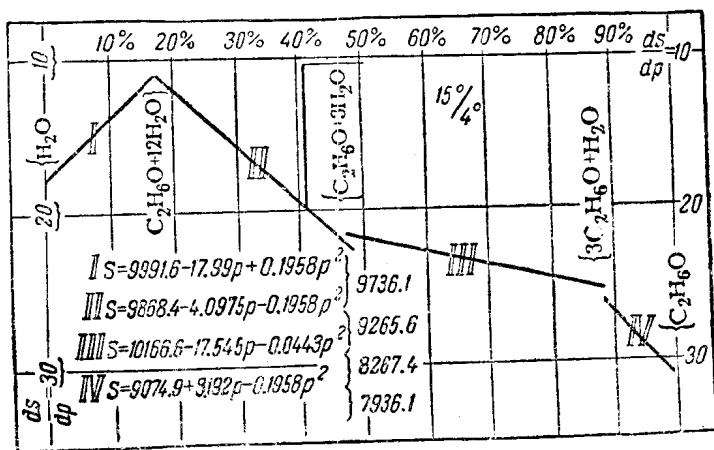


圖 2. $H_2O-C_2H_5OH$ 系統的 p 與 $\frac{ds}{dp}$ 間之關係。

進一步的物理化學的研究,使得我們可能測定溶液的許多重要的性質:滲透壓,蒸汽壓,沸點及凝固點。這些性質的研究對於建立現代的溶液理論具有重大的意義。

電化學中的最基本的和特別重要的法則是首先對稀溶液所確立的,在以後那些專討論“古典的”溶液理論基礎的章節中對於這些法則給了特別的注意。

§ 2. 溶液的物理化學的研究

滲透壓 滲透壓是由於溶質分子的撞擊所引起的溶液施於限制它的薄膜上的一種壓力;它類似由於不規則運動的氣體分子撞擊盛有這種氣體的容器壁而引起的壓力。爲了產生或測量滲透壓,必需具備兩種不同濃度因而也具有不同滲透壓的溶液。當溶液濃度增加時,分子撞擊器壁的次數也增加因而滲透壓也增加。如果把兩種不同濃度的溶液用一塊只有溶劑才能透過的薄膜來隔開,則溶劑將開始從低濃度溶液轉移到高濃度溶液裏去(滲透現象)。如果實驗條件許可的話,這個過程將一直繼續到在薄膜兩側的兩種溶液的濃度相等爲止。動物和植物組織的細胞膜具有半透性——它能透過水分子但不能透過溶質分子。如果把稍爲乾了的櫻桃或紅醋栗這類莓果放入水中攪動,過了一些時候,由於莓果的薄膜能透過水而不能透過含在果汁中的溶質,因而那些皺縮了的莓果重復膨脹起來。

測量滲透壓要用一種特別的儀器——滲透壓力計(圖 3),它的主要部份是一塊半透膜。

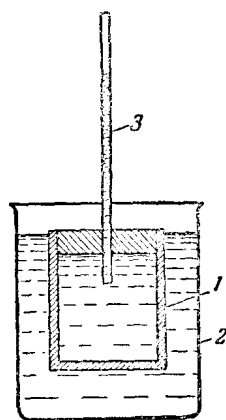


圖 3. 測量滲透壓力儀器的簡圖: 1—溶質不能透過的多孔隔膜; 2—容器; 3—氣壓管。