

चालकतामिति

इकाई की रूपरेखा

10.1	प्रस्तावना उद्देश्य	10.3	विद्युत-अपघटनी चालकता का मापन हीटस्टोन सेतु नियम किसी विलयन के चालकत्व की माप
10.2	विद्युत-अपघटनी चालकत्व मोलर चालकता सांद्रता के साथ चालकता में बदलाव सीमांत मोलर चालकता चालकता पर अन्य कारकों का प्रभाव	10.4	चालकतामिति के अनुप्रयोग
		10.5	सारांश
		10.6	अंत में प्रश्न
		10.7	उत्तर
		10.8	उपयोगी पुस्तकें

10.1 प्रस्तावना

अब तक हमने विभवमितिय विधियों की चर्चा की है। इन विधियों में हम एक गैल्वेनिक सेल के emf को शून्य धारा पर मापते हैं। क्योंकि यह emf सेल के भीतर आयनिक सक्रियता पर निर्भर करता है, इसका उपयोग अनुमापन, जल के नमूनों, जैविक नमूनों और अन्य औद्योगिक और पर्यावरणीय नमूनों में आयनिक सांद्रता को मापने के लिए किया जा सकता है। हमने यह भी देखा है कि विभवमिती और pH मिति दोनों ही सबसे व्यापक रूप से इस्तेमाल की जाने वाली विद्युत-विश्लेषणात्मक तकनीक हैं। इस इकाई में आप एक अन्य विद्युत-विश्लेषणात्मक तकनीक का अध्ययन करेंगे जिसे चालकतामिति (conductometry) कहा जाता है, जो अन्य विद्युत-विश्लेषणात्मक तकनीकों में सबसे पुरानी और कई मायनों में सरल है। यह तकनीक विद्युत-अपघटनी चालकत्व के मापन पर आधारित है।

विद्युत अपघटनी के विलयन में विद्युत विभव के अनुप्रयोग करते हैं तो विलयन के एक भाग से दूसरे भाग में विद्युत-अपघट्य के द्रव्यमान और आवेश का स्थानांतरण होता है। इस तरह की अभिगमन प्रक्रियाएं, ऐसे विलयन की संरचना की जानकारी देती हैं। अभिगमन प्रक्रिया का बहुत महत्व, जिसे आसानी से मापा जा सकता है, यह चालकत्व है। विद्युत अपघटनी विलयन में आयन होते हैं और माध्यम में मौजूद अन्योन्यक्रिया की प्रकृति को इन आयनों की चालक क्षमता के संदर्भ में बेहतर ढंग से समझा जा सकता है, इसलिए प्रतिरोध के बजाय चालकत्व की बात करना अधिक सुविधाजनक है।

विद्युत अपघटनी विलयन की चालक क्षमता विलयन से आयनों के अस्तित्व का प्रत्यक्ष प्रमाण मिलता है। विद्युत अपघटनी विलयनों के चालक गुणों के प्रयोगात्मक निर्धारण बहुत महत्वपूर्ण हैं क्योंकि उनका अध्ययन मात्रात्मक रूप से विलयन में आयनों का व्यवहार जानने के लिए उपयोग किया जा सकता है। चालकतामिति का उपयोग कई भौतिक मात्राओं के मनों को निर्धारित करने के लिए भी किया जा सकता है जैसे कि विलेयता और कम विलेय लवण के विलेयता गुणनफल, स्वयं आयनकारी विलयन के आयनिक गुणनफल, लवण के जलापघटन स्थिरांक, तनु अम्लों और क्षारकों के वियोजन स्थिरांक और चालकतामिति की अनुमापन विधियों में ।

उद्देश्य

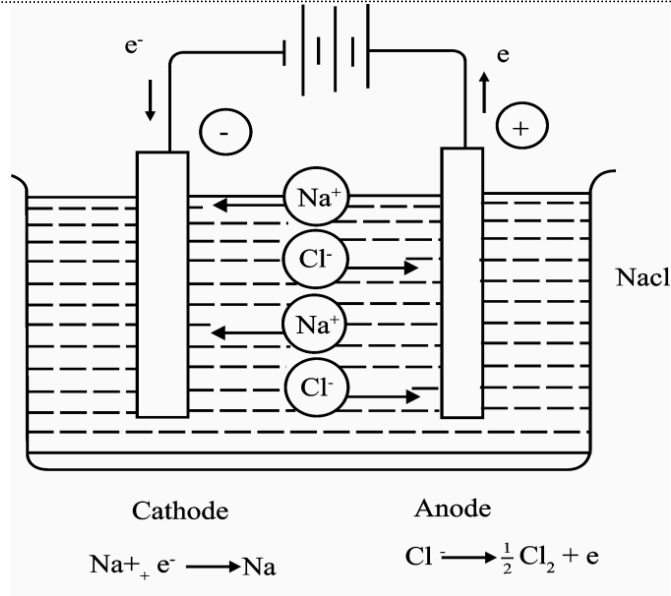
इस इकाई के अध्ययन के बाद, आप:

- ❖ विद्युत-अपघटनी चालकत्व की परिभाषा दे सकेंगे;
- ❖ विद्युत-अपघट्य और विद्युत-अनपघट्य विलयनों; प्रबल और दुर्बल विद्युत-अपघट्यों के बीच अंतर कर सकेंगे;
- ❖ विलयनों का चालकत्व, मोलर चालकता और तुल्यांकी चालकता की व्याख्या कर सकेंगे;
- ❖ चालकता को प्रभावित करने वाले विभिन्न कारकों का वर्णन कर सकेंगे; और
- ❖ चालकतामिति के अनुप्रयोगों की व्याख्या कर सकेंगे।

10.2 विद्युत अपघटनी चालकत्व

विद्युत अपघटनी विलयनों में अन्य पहचाने जाने योग्य वहित स्पीशीज़ के अलावा मुक्त आयन होते हैं। जब विलयन में विद्युत विभव स्थापित किया जाता है, तो, विलयन के माध्यम से धारा का प्रवाह और रासायनिक परिवर्तन आम तौर पर इलेक्ट्रोड पदार्थ के उन बिंदुओं पर मुक्ति या विलेय के परिणामस्वरूप होते हैं जहां धारा विलयन में प्रवेश करती है या निकलती है। विद्युत धारा द्वारा विलयनों के अपघटन की इस घटना को विद्युत-अपघटन कहा जाता है।

विद्युत-अपघटनी चालकत्व, जब तब तक नहीं घटित होगा जब तक कि विद्युत-अपघट्य के आयन गति के लिए स्वतंत्र न हों। इसलिए, विद्युत-अपघटनी चालकत्व मुख्य रूप से पिघले हुए लवण और विद्युत-अपघट्य के जलीय विलयनों में प्रदर्शित होता है। विद्युत-अपघटनी चालकत्व के सिद्धांत को विद्युत-अपघटनी सेल के संदर्भ में सबसे अच्छी तरह से चित्रित किया गया है, जैसा कि चित्र 10.1 में निष्क्रिय इलेक्ट्रोड के बीच पिघले हुए NaCl के विद्युत-अपघटन की प्रक्रिया को दर्शाया गया है। चित्र 10.1 की बाहरी बैटरी को छोड़कर पूरी असेंबली को सेल के रूप में दर्शाया है।



चित्र 10.1: गलित सोडियम क्लोराइड का विद्युत अपघटन

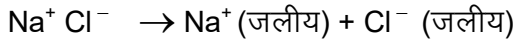
सेल के ऋणात्मक इलेक्ट्रोड द्वारा बाह्य बैटरी के ऋणात्मक सिरे से इलेक्ट्रॉन प्राप्त होते हैं। इनका उपयोग इस इलेक्ट्रोड पर अपचयन अभिक्रिया में किया जाता है। ऋणात्मक इलेक्ट्रोड से प्राप्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या सेल के धनात्मक इलेक्ट्रोड से बाहरी बैटरी के धनात्मक छोर पर वापस हो जाती है जहां ऑक्सीकरण प्रतिक्रिया के परिणामस्वरूप इलेक्ट्रॉनों प्राप्त होते हैं। सेल के भीतर, आयनों की गति से घारा प्रवाहित होती है; धनायन ऋणात्मक इलेक्ट्रोड की ओर गति करता है जिसे कैथोड कहा जाता है और ऋणायन धनात्मक इलेक्ट्रोड की ओर बढ़ता है जिसे एनोड कहा जाता है। आयनों की यह गति विद्युत अपघटनी चालकत्व के रूप में जानी जाती है। चालकत्व, इस प्रकार, आयनों की गतिशीलता और कुछ भी जो आयनों की गति को रोकता है, वर्तमान प्रवाह के प्रतिरोध का कारण बनता है पर निर्भर करता है। ये प्रमुख कारक हैं: अंतर-आयनिक आकर्षण, आयनों का विलायकयोजन और विलायकों की श्यानता। ये कारक विलेय-विलेय, विलेय-विलायक और विलायक-विलायक के आकर्षण पर निर्भर करते हैं। तापमान बढ़ने पर विलेय आयनों की औसत गतिज ऊर्जा बढ़ जाती है और इसलिए, विद्युत-अपघटनी चालकों का प्रतिरोध आमतौर पर कम हो जाता है, अर्थात् तापमान बढ़ने पर चालकत्व बढ़ जाता है।

विद्युत-अपघट्य और विद्युत-अनपघट्य

आयनिक यौगिक, जो विलयन में आयनों को उत्पन्न करते हैं और विद्युत प्रवाह का चालन करते हैं, विद्युत-अपघट्य हैं उदाहरण: NaCl, KCl आदि। HCl, CH₃COOH आदि जैसे कुछ सहसंयोजक यौगिक विलयनों में विद्युत धारा का संचालन भी कर सकते हैं। अन्य सभी पदार्थ जो विलयन में आयन उत्पन्न नहीं करते हैं, विद्युत-अनपघट्य कहलाते हैं, उदाहरण: गन्ना शर्करा, बेंजीन, कार्बन टेट्राक्लोराइड आदि।

कभी-कभी विद्युत-अपघट्य को वास्तविक विद्युत-अपघट्य और संभावित विद्युत-अपघट्य भी कहा जाता है। वास्तविक विद्युत-अपघट्य में गलित अवस्था में भी धनायन और ऋणायन मौजूद होते हैं, उदाहरण: NaCl, KCl, ये वास्तविक विद्युत-अपघट्य हैं क्योंकि वे अपनी सामान्य अवस्थाओं और गलित अवस्था में Na⁺ Cl⁻

और $K^+ Cl^-$ के रूप में मौजूद होते हैं। इसके अलावा जब वे जल में घुल जाते हैं तो वे आयनित होते हैं और आवेश का संचालन करते हैं।



संभावित विद्युत-अपघट्य शुद्ध सामान्य अवस्था में विद्युत का संचालन नहीं करते हैं, बल्कि जल में घुलने पर विद्युत का संचालन करते हैं, उदाहरण: HCl , CH_3COOH और NH_3 ।

प्रबल और दुर्बल विद्युत-अपघट्य

विद्युत-अपघट्य को प्रबल और दुर्बल के रूप में वर्गीकृत किया जा सकता है। इसका उनकी सांद्रता से कोई लेना-देना नहीं है, बल्कि उनके आयनीकरण की सीमा से संबंधित है।

प्रबल विद्युत अपघट्य: वे पदार्थ जो जलीय विलयनों में पूर्णतया आयनित हो जाते हैं प्रबल विद्युत अपघट्य कहलाते हैं, उदाहरण: $NaCl$, NH_4Cl , KNO_3 , HCl , HBr आदि।

दुर्बल विद्युत अपघट्य: वे पदार्थ जो एक निश्चित सीमा तक ही आयनित होते हैं दुर्बल विद्युत अपघट्य कहलाते हैं, उदाहरण: CH_3COOH , HCN आदि।

प्रबल और दुर्बल शब्द सापेक्ष हैं। विद्युत अपघट्य का व्यवहार भी विलायक की प्रकृति पर निर्भर करता है, उदाहरण: $NaCl$ प्रबल अपघट्य के रूप में व्यवहार करता है जबकि ऐसीटिक अम्ल जल दुर्बल विद्युत अपघट्य के रूप में। दूसरी ओर, जब अमोनिया में विलेय किया जाता है तो $NaCl$ और ऐसीटिक अम्ल दोनों विद्युत के प्रति तुलनीय व्यवहार दिखाते हैं।

विलयनों का चालकत्व

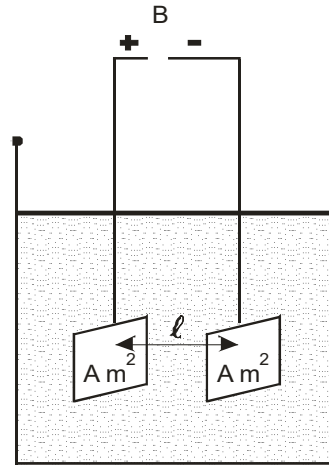
किसी वस्तु में विद्युत धारा के प्रवाह की सुगमता को चालकत्व कहते हैं। यह धात्विक चालकों में इलेक्ट्रानों की गति के कारण उत्पन्न होता है जबकि विद्युत अपघटनी विलयनों में अनुप्रयुक्त विद्युत् क्षेत्र के कारण उत्पन्न होता है। किसी माध्यम का विद्युत अपघटनी चालकत्व, G , उसके वैद्युत प्रतिरोध, R , (ओम में) के व्युत्क्रम के बराबर होता है:

$$G = \frac{1}{R} \quad \dots (10.1)$$

ओम के नियम में कहा गया है कि एक चालक में प्रवाहित धारा I (ऐम्पियर) लागू विद्युत-वाहक बल E (वोल्ट) के सीधे आनुपातिक है और चालक के प्रतिरोध, R (ओम) के व्युत्क्रमानुपाती है:

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{or} \quad I = EG \quad \dots (10.2)$$

चूंकि विलयन त्रिविम चालक होता है इसलिए यथार्थ प्रतिरोध इलेक्ट्रोडों के बीच अंतराल (l) और इलेक्ट्रोडों के क्षेत्रफल (A) पर निर्भर करेगा। किसी विलयन का प्रतिरोध इलेक्ट्रोडों के बीच की दूरी के समानुपाती तथा इलेक्ट्रोड पृष्ठ क्षेत्रफल के व्युत्क्रमानुपाती होता है।



ऊपर दिखाए गए विद्युत-अपघटनी सेल पर विचार करें, इसके दो इलेक्ट्रोड का अनुप्रस्थ का क्षेत्रफल $A \text{ m}^2$ हो और उनके बीच की दूरी $l \text{ m}$ हो और उन्हें किसी विद्युत अपघट्य के विलयन में डुबा दिया जाए तो दो इलेक्ट्रोडों के बीच विलयन का प्रतिरोध (R) इस प्रकार होगा:

$$R \propto l$$

$$R \propto \frac{1}{A}$$

$$R \propto \frac{l}{A}$$

$$\text{और } R = \rho \frac{l}{A}$$

... (10.3)

चालकता वृद्धि निम्न कारकों पर निर्भर करती है:

- (i) विलयन की सान्द्रता
- (ii) संबंधित आयनों की गति

जिसमें ρ (रो) आनुपातिकता स्थिरांक है जिसे विशिष्ट प्रतिरोध अथवा प्रतिरोधकता कहते हैं। यह पदार्थ की एक विशिष्ट गुण है और यह इकाई लंबाई और पृष्ठ क्षेत्रफल के इकाई क्षेत्र के द्वारा पेश किया गया प्रतिरोध है।

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

... (10.4)

SI इकाइयों में, l और A को क्रमशः मीटर (m) और वर्ग मीटर (m^2) में मापा जाता है, और प्रतिरोध ओम, Ω (ओमेगा) में व्यक्त किया जाता है। अतः ρ का मात्रक ओम मीटर ($\Omega \text{ m}$) है। पूर्व में, प्रतिरोधकता माप किसी पदार्थ के एक सेंटीमीटर घन के रूप में किया जाता था, जिससे ρ का मात्रक होगा Ω सेमी ($\Omega \text{ cm}$)।

समीकरण (4.4) से R का समीकरण (4.1) में मान रखने पर

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho(A/l)} = \kappa \frac{A}{l}$$

... (10.5)

यहां κ (kappa) (कप्पा) विशिष्ट प्रतिरोध का व्युत्क्रम है जिसे विशिष्ट चालकत्व अथवा चालकता कहते हैं। इसे $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ में मापा जाता है। इस मात्रा को एकक लंबाई की घन पदार्थ का चालकत्व माना जा सकता है। हालाँकि, SI प्रणाली में, चालकता की इकाई सीमेंज है और, इसे 'S' का प्रतीक दिया गया है। अतः चालकता का मात्रक S

m^{-1} ($1\text{S} = 1\Omega^{-1}$) या S cm^{-1} होगा। यह याद किया जा सकता है कि $\text{S m}^{-1} = 1/100$ S cm^{-1} होता है। हालांकि चालकता को सामान्य रूप से छोटी इकाइयों में मिली सीमेंज प्रति मीटर (mS m^{-1}) और माइक्रो सीमेंज प्रति सेंटीमीटर ($\mu\text{S cm}^{-1}$) के रूप में रिपोर्ट किया जाता है।

सेल स्थिरांक:

किसी दिए गए सेल के लिए, l और A स्थिर होते हैं, और मात्रा (l/A) को सेल स्थिरांक (K_{cell}) कहा जाता है।

$$K_{\text{cell}} = \frac{l}{A}$$

इस मान को समीकरण (4.5) में रखें

$$\kappa = G K_{\text{cell}} \quad \dots (10.6)$$

चालकता = प्रेक्षित चालकत्व \times सेल स्थिरांक

सेल स्थिरांक का मान प्राप्त करने के लिए, l और A को सीधे निर्धारित करना आवश्यक नहीं है। इसके बजाय, इसे ज्ञात चालकता के विलयन द्वारा मापा जाता है। इस उद्देश्य के लिए पोटेशियम क्लोराइड विलयन हमेशा उपयोग किए जाते हैं, क्योंकि उनके चालन को ज्ञात आयामों की सेलों में पर्याप्त सटीकता के साथ मापा गया है। चालकता κ' के पोटेशियम क्लोराइड को एक दिया गए विलयन सेल में रखा जाता है और इसका प्रतिरोध R' मापा जाता है। तब सेल स्थिरांक $\kappa'R'$ के बराबर होता है। इसलिए,

सेल स्थिरांक = KCl विलयन की चालकता \times मापित प्रतिरोध

चालकता एक योगात्मक गुण है, उदाहरण: कई विद्युत अपघट्य वाले जलीय विलयन में, कुल चालकता है,

$$G(\text{total}) = \sum G_i + G(\text{जल}) \quad \dots (10.7)$$

यहां विलयन में मौजूद सभी विद्युत अपघट्य पर योग किया जाना है और $G(\text{जल})$ जल का चालकत्व है, जिसका उपयोग विलयन बनाने के लिए किया जाता है। $G(\text{जल})$ अक्सर $\sum G_i$ की तुलना में नगण्य होता है क्योंकि विलयन बनाने के लिए बहुत कम चालकता वाले आसुत जल का उपयोग किया जाता है।

बोध प्रश्न 1

0.01 mol dm^{-3} KCl युक्त चालकता सेल का प्रतिरोध 150Ω है। वही चालकता सेल 0.01 mol dm^{-3} HCl का प्रतिरोध 51.4Ω देती है। KCl विलयन की चालकता $1.41 \times 10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ है, निम्नलिखित मानों की गणना कीजिए:

- सेल स्थिरांक, और
- HCl विलयन की चालकता।

मोलर चालकता

विद्युत् अपघट्यों की चालकताओं की तुलना करने के लिए बहुधा मोलर चालकता का उपयोग किया जाता है। मोलर चालकता, Λ_m (लैम्डा) में लिखा जाता है। यह घुले हुए विद्युत् अपघट्य की प्रति इकाई मोलर सांद्रता की चालकता होती है। चालकता, κ के साथ इसके संबंध को इस प्रकार लिखा जा सकता है:

$$\Lambda_m = \frac{\kappa}{c} \quad \dots (10.8)$$

जिसमें c , mol m^{-3} में सान्द्रता है। मोलर चालकता प्रायः $\text{S m}^2 \text{mol}^{-1}$ अथवा $\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1}$ में व्यक्त किया जाता है (याद रखें $\text{S m}^2 \text{mol}^{-1} = 10,000 \text{ S cm}^2 \text{mol}^{-1}$)।

उल्लेखनीय है कि समीकरण 10.8 में c को mol m^{-3} मात्रक में व्यक्त किया जाता है यदि सान्द्रता को मोलरता (mol dm^{-3}) में व्यक्त किया जाए तो निम्नलिखित परिवर्तन करना होगा,

$$c (\text{mol m}^{-3}) = \text{Molarity} \times 1000 \quad \dots (10.9)$$

पहले निम्न व्यंजक द्वारा व्यक्त तुल्यांकी चालकता (Λ_{eq}) का उपयोग किया जाता था:

$$\Lambda_{\text{eq}} = \frac{1000 \times \kappa}{c} \quad \dots (10.10)$$

जिसमें c विलयन की नार्मलता के रूप में व्यक्त सांद्रता है। Λ_{eq} मात्रक का $\Omega^{-1} \text{cm}^2 \text{eq}^{-1}$ है। किन्तु आइ.यू.पी.ए.सी. केवल मोलर चालकता के उपयोग का अनुमोदन करता है।

आगामी भाग में हम पढ़ेंगे कि चालकत्व की माप कैसे की जाती है।

बोध प्रश्न 2

निम्नलिखित की मात्रक लिखिए:

- (i) विशिष्ट चालकता
- (ii) समतुल्य चालकता
- (iii) सेल स्थिरांक
- (iv) मोलर चालकता

बोध प्रश्न 3

निम्नलिखित डेटा से जलीय घोल में KCl की मोलर चालकता की गणना करें:

$$5.0 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \text{ KCl की चालकता} = 7.44 \times 10^{-3} \text{ S m}^{-1}$$

$$\text{जल की चालकता} = 0.06 \times 10^{-3} \text{ S m}^{-1}$$

10.2.2 सांद्रता के साथ चालकता में परिवर्तन

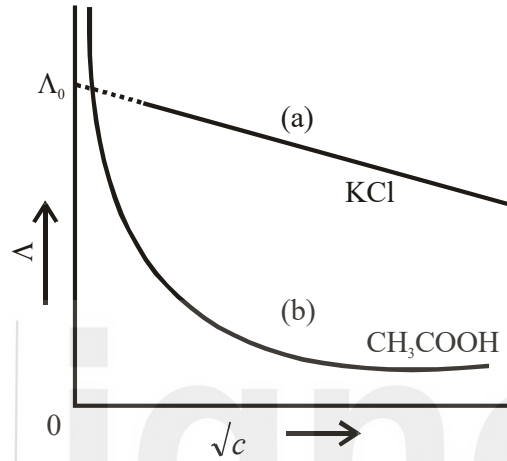
आयनिक विलयन की चालकता बढ़ती हुई सांद्रता के साथ बढ़ती है। प्रबल विद्युत अपघट्य के लिए, सक्रिता में वृद्धि के साथ चालकता में वृद्धि तेज होती है। हालांकि, दुर्बल विद्युत अपघट्य के लिए, चालकता में वृद्धि धीरे-धीरे होती है। दोनों ही मामलों में सांद्रता के साथ चालकता में वृद्धि विलयन के प्रति इकाई आयतन में आयनों की संख्या में वृद्धि के कारण होती है। प्रबल विद्युत अपघट्य के लिए, जो पूरी तरह से आयनित होते हैं, चालकता में वृद्धि लगभग सक्रिता के समानुपाती होती है। दुर्बल विद्युत अपघट्य में, हालांकि, विद्युत अपघट्य के कम आयनीकरण के कारण विशिष्ट चालकत्व में वृद्धि अधिक नहीं होती है, और परिणामस्वरूप चालकता इतनी तेजी से नहीं बढ़ती है जितनी प्रबल विद्युत अपघट्य के मामले में होती है। सारणी 9.1 में विभिन्न सांद्रता पर कई विद्युत अपघट्यों की मोलर चालकता में परिवर्तन को दर्शाया गया है।

सारणी 9.1: 298 K पर जलीय विलयन में विद्युत अपघट्यों की मोलर चालकता ($10^4 \times S m^2 mol^{-1}$)

$c/mol dm^{-3}$	KCl	NaCl	HCl	AgNO ₃	CH ₃ COOH	CH ₃ COONa ^a
1.0	111.9	89.9	332.8	-	-	49.1
0.1	129.0	106.7	391.3	109.1	5.2	72.8
0.05	133.4	111.1	399.1	115.7	7.4	76.9
0.01	141.3	118.5	412.0	124.8	16.3	83.8
0.005	143.5	120.6	415.8	127.2	22.9	85.7
0.001	146.9	123.7	421.4	130.5	49.2	88.5
0.0005	147.8	124.5	422.7	131.4	67.7	89.2

यह देखा गया है कि चालकता के विपरीत, मोलर चालकता, Λ_m हमेशा दुर्बल विद्युत अपघट्यों और प्रबल विद्युत अपघट्यों दोनों के लिए सांद्रता कम होने के साथ बढ़ती है। यदि हम सांद्रता के वर्गमूल के विरुद्ध बड़ी संख्या में विद्युत अपघट्यों की मोलर चालकता को आलेख करते करते हैं तो हम पाते हैं कि ये दो अलग-अलग श्रेणियों में आते हैं। प्रबल विद्युत अपघट्य (उदाहरण के लिए KCl, NaCl या अम्ल जैसे HCl, H₂SO₄ आदि) के मामले में, सांद्रता में कमी के साथ मोलर चालकता में थोड़ी वृद्धि होती है। चूंकि ये विद्युत अपघट्य सांद्र विलयन में भी लगभग पूरी तरह से अलग हो जाते हैं, आयनों की संख्या सांद्रता के साथ ज्यादा नहीं बदलती है। चालकता अधिक भिन्न नहीं होनी चाहिए क्योंकि यह सीधे विलयन में मौजूद आयनों की संख्या से संबंधित है। देखे गए छोटे परिवर्तन अंतरा-आयनी अन्योन्यक्रिया के कारण होते हैं। दुर्बल विद्युत अपघट्यों (उदाहरण के लिए CH₃COOH, अमोनिया, कार्बनिक बसा अम्ल आदि) के मामले में, आयनीकरण तनुता के साथ बढ़ेगा, और इसलिए, तनुता के साथ मोलर चालकता बढ़ जाती है। इस प्रकार चालकता एक दुर्बल विद्युत अपघट्य के वियोजन मात्रा के सीधे आनुपातिक है। इन उपरोक्त परिणामों को चित्र 10.2 में दर्शाया गया है जिसमें एक स्थिर तापमान पर दो विद्युत अपघट्यों (KCl और ऐसीटिक अम्ल)

की मोलर चालकता, Λ_m , को \sqrt{c} के परिवर्तन के साथ आलेखित किया गया है। यह चित्र से देखा जा सकता है कि इन विद्युत अपघट्यों द्वारा दो अलग-अलग प्रकार के व्यवहार प्रदर्शित किए जाते हैं। प्रबल विद्युत अपघट्य, KCl एक रैखिक आलेख (लगभग सीधी रेखा) दिखाता है। दूसरी ओर, दुर्बल विद्युत अपघट्य, CH_3COOH , तनु विलयन की सीमा के लगभग स्पर्शरेखा के करीब पहुंचता प्रतीत होता है। हालांकि, दो श्रेणियों के बीच सीमांकन की एक स्पष्ट रेखा खींचना असंभव नहीं है क्योंकि कई पदार्थ मध्यवर्ती व्यवहार प्रदर्शित करने के लिए जाने जाते हैं, जैसे, निकल सल्फेट। ऐसे विद्युत अपघट्यों को कभी-कभी मध्यम रूप से प्रबल विद्युत अपघट्य कहा जाता है।



चित्र 10.2: तनुकरण पर मोलर चालकता में परिवर्तन (a) पोटैशियम क्लोराइड (प्रबल विद्युत अपघट्य) के जलीय घोल के लिए (b) ऐसीटिक अम्ल (दुर्बल विद्युत अपघट्य)

कसी विलयन की चालकता आयनों की संख्या और उस गति पर निर्भर करती है जिससे आयन विलयन में गति करते हैं। प्रबल विद्युत अपघट्य के मामले में, सभी तनुता पर आयनों की संख्या समान होती है (चूंकि प्रबल विद्युत अपघट्य पूरी तरह से आयनित होते हैं) और तनुता के साथ समकक्ष चालन की भिन्नता तनु वाले आयनों की गति में परिवर्तन के कारण होती है। ऐसे विद्युत अपघट्य के एक सांद्रित विलयन में, विपरीत रूप से अवेशित आयनों के बीच अंतरा-आयनी अन्योन्यक्रिया काफी पर्याप्त होगी। आयन A^+B^- प्रकार के कुछ आयन-जोड़े भी बना सकते हैं जो चालन में योगदान नहीं देंगे। ये अंतरा-आयनिक बल आयनों की गति को काफी कम कर देते हैं और इसलिए विलयन की चालकता को कम कर देते हैं। जैसे-जैसे तनुता बढ़ता है, अंतरा-आयनिक आकर्षण कम होता जाता है, जिसके परिणामस्वरूप आयन अपने सह-आयनों से अधिक स्वतंत्र रूप से गति करेंगे और इस प्रकार तनुता के साथ मोलर चालकता में वृद्धि होगी। अनंत तनुता पर, आयन काफी दूर होते हैं, अंतरा-आयनिक आकर्षण लगभग अनुपस्थित होते हैं और प्रत्येक आयन अपने सह-आयनों से पूरी तरह से स्वतंत्र होता है। मोलर चालकता तब अनंत तनुता पर एक सीमित मान तक पहुंचता है और जब यह पूरी तरह से आयनों में विभाजित हो जाता है तो विद्युत अपघट्य के 1 मोल की चालन क्षमता का प्रतिनिधित्व करता है। इसे Λ^∞ द्वारा निरूपित किया जाता है।

यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि कमजोर दुर्बल विद्युत अपघट्य के मामले में, तनुता के साथ मोलर चालकता में वृद्धि मुख्य रूप से (क) विलयन में आयनों की संख्या में वृद्धि (तनुता के साथ आयनीकरण की मात्रा बढ़ जाती है), और (ख) उच्च तनुता पर अंतरा-आयनी आकर्षण बहुत कम होता है।

4.2.3 सीमांत मोलर चालकता

प्रबल विद्युत अपघट्य के लिए वक्र को $c \rightarrow 0$ तक वहिर्वेशित (extrapolat) करके एक महत्वपूर्ण संबंध प्राप्त किया जा सकता है (चित्र 10.2)। जहां सभी अंतरा-आयनी अन्योन्यक्रियाओं का प्रभाव अनुपस्थित होता है। इस वहिर्वेशित द्वारा प्राप्त सीमांत मान को अनंत तनुता पर मोलर चालकता कहा जाता है।

तनु विलयनों में प्रबल विद्युत अपघट्यों के लिए Λ_m बनाम \sqrt{c} की रैखिकता का अवलोकन करते हुए, कोलरॉऊश (Kohlrausch) ने तनुता के साथ प्रबल विद्युत अपघट्यों के मोलर चालकता में परिवर्तन के लिए निम्नलिखित आनुभविक संबंध का सुझाव दिया।

$$\Lambda_m = \Lambda^\infty - b\sqrt{c} \quad \dots (10.11)$$

यहाँ b दिए गए विद्युत अपघट्य के लिए स्थिरांक है और Λ^∞ अनंत तनुता पर विद्युत अपघट्य की मोलर चालकता है। इस समीकरण की वैधता को विद्युत अपघट्यों जैसे HCl, KCl आदि के आलेख से देखा जा सकता है। ऐसे विद्युत अपघट्यों का Λ^∞ प्राप्त करने के लिए वक्र को $c \rightarrow 0$ तक वहिर्वेशित किया जाता है और इस तरह प्राप्त अतःखंड (intercept) Λ^∞ का मान देता है। दुर्बल विद्युत अपघट्यों के लिए Λ^∞ को प्राप्त करने के लिए इसी विधि का उपयोग नहीं किया जा सकता है क्योंकि उच्च तनुता पर Λ में तेज वृद्धि होती है। संबंधित आयनों के अनंत तनुता पर मोलर चालकता से भी Λ^∞ की गणना की जा सकती है, क्योंकि अनंत कमजोर तनुता पर, आयनों के स्वतंत्र गतिशीलता के नियम के अनुसार आयन एक दूसरे से स्वतंत्र होते हैं और प्रत्येक कुल चालकता में अपना हिस्सा का योगदान करते हैं, इसलिए,

$$\Lambda^\infty = \Lambda_+^\infty + \Lambda_-^\infty \quad \dots (10.12)$$

यहां और क्रमशः धनायनों और ऋणायनों के अनंत तनुता पर आयनिक मोलर चालकता हैं।

आयनों की मोलर चालकता आयनों द्वारा वहन की जाने वाली धारा की मात्रा का एक माप है। इसलिए, प्रति इकाई आवेश से संबंधित होने पर आयनों की मोलर चालकता की तुलना अधिक सार्थक होती है, उदाहरण के लिए जब $\Lambda^\infty(\text{Na}^+)$ की तुलना $\frac{1}{2}\Lambda^\infty(\text{Mg}^{2+})$ की जाती है बजाय $\Lambda^\infty(\text{Mg}^{2+})$ के या तुल्य चालकता के संदर्भ में। 25 °C पर जल में कुछ आयनों के लिए आयनिक सीमांत मोलर चालकता और सीमांत तुल्य चालकता के मान सारणी 10.2 दिए गए हैं

सारणी 10.2: 25 °C पर जल में चयनित आयनों की सीमांत मोलर चालकता और सीमांत तुल्यांकी चालकता

Cation	$\Lambda^\infty / (\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1})$	$\Lambda^\infty / (\text{S cm}^2 \text{ eq}^{-1})$	Anion	$\Lambda^\infty / (\text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1})$	$\Lambda^\infty / (\text{S cm}^2 \text{ eq}^{-1})$
H ⁺	349.8	349.8	OH ⁻	198.3	198.3
Li ⁺	38.7	38.7	F ⁻	55.4	55.4

Na ⁺	50.1	50.1	Cl ⁻	76.3	76.3
K ⁺	73.5	73.5	Br ⁻	78.1	78.1
Be ⁺²	90.0	45.0	I ⁻	76.8	76.8
Mg ²⁺	106.2	53.1	NO ₃ ⁻	71.5	71.5
Ca ²⁺	119.0	59.5	SO ₄ ²⁻	160.0	80.0
Ba ²⁺	127.2	63.6	CH ₃ CO ⁻	40.9	40.9
Al ³⁺	183.0	61.0	C ₆ H ₅ CO ⁻	32.4	32.4
Cu ²⁺	107.2	53.6	HCO ₃ ⁻	44.5	44.5
Ag ⁺	61.9	61.9	CO ₃ ²⁻	138.6	69.3
Zn ²⁺	105.6	52.8	Fe(CN) ₆ ³⁻	302.7	100.9
Ce ³⁺	209.4	69.8	Fe(CN) ₆ ⁴⁻	442.0	110.5

आयनिक गतिशीलता और अभिगमनांक

अगला प्रश्न यह है जो सारणी 10.2 में दिए गए चालकता के मनो के संबंध में उठता है, कि समान आवेशित आयनों की सीमांत मोलर चालकता के मनो में अंतर क्यों होना चाहिए, यदि ये आयन केवल विद्युत आवेशों के वाहक के रूप में कार्य कर रहे हैं? इसका उत्तर इस तथ्य में निहित है कि विभिन्न आयनों के विलयन में अलग-अलग गतिशीलता होती है। विलयन में आयन की गतिशीलता मुख्य रूप से जलयोजित आयन के आकार पर निर्भर करती है। आयनिक गतिशीलता को उस वेग के रूप में परिभाषित किया जाता है जिसके साथ एक आयन एक विलयन में 1 V m^{-1} की विभव प्रवणता (potential gradient) के तहत गति करेगा। यह सैद्धांतिक और मापने योग्य मात्राओं के बीच एक कड़ी प्रदान करता है। उदाहरण के लिए, आयनिक गतिशीलता, (u) निम्नलिखित समीकरणों द्वारा आयनिक सीमांत मोलर चालकता (Λ^∞) से संबंधित है:

$$\Lambda_+^\infty = z_+ u_+ F \text{ and } \Lambda_-^\infty = z_- u_- F \quad \dots (10.13)$$

यहाँ z_+ और z_- संयोजकताएं आयनों की हैं, u_+ और u_- आयनिक गतिशीलताएं और F फ़ैराडे स्थिरांक है। उपरोक्त समीकरण में, यदि दो राशियों में से एक, Λ^∞ या u , ज्ञात है, तो दूसरी की गणना की जा सकती है।

Λ_+^∞ या Λ_-^∞ के मान ज्ञात करने के लिए, हम एक अन्य राशि को परिभाषित करते हैं, जिसे आयन का अभिगमनांक (transport number) कहा जाता है तथा जिसे t_+ या t_- प्रतीक द्वारा इंगित जाता है। इसे आयन द्वारा प्रवाहित कुल धारा के अंश के रूप में परिभाषित किया जाता है और इसे गणितीय रूप से व्यक्त किया जा सकता है,

$$t_+ = \Lambda_+^\infty / \Lambda_m \text{ and } t_- = \Lambda_-^\infty / \Lambda_m \quad \dots (10.14)$$

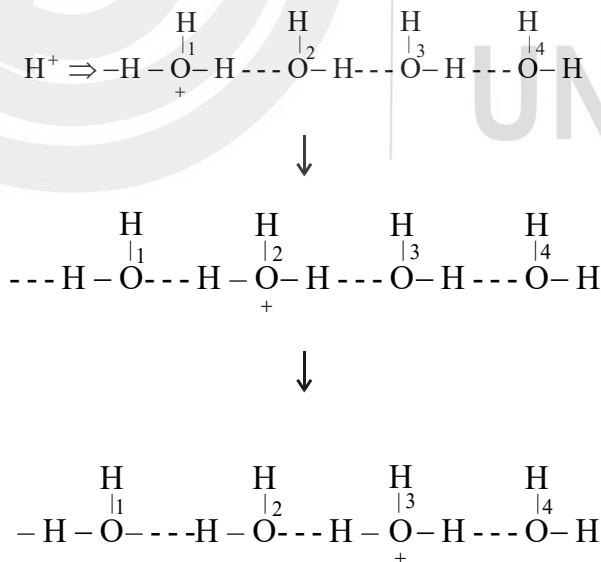
अभिगमनांक और सीमांत मोलर चालकता मापने योग्य मात्रा है। इसलिए, मोलर आयनिक चालकता मान की गणना समीकरण 10.14 से की जा सकती है। कुछ सामान्य

आयनों की सीमांत मोलर चालकता सारणी 10.2 में दी गई है। ये मान विद्युत अपघट्यों की मोलर चालकता और चालकतामिति अनुमापन के पाठ्यक्रम की भविष्यवाणी करने में महत्वपूर्ण हैं। अंत में, एक बार जब मोलर आयनिक चालकता मान प्राप्त हो जाता है, तब हम समीकरण 10.13 का उपयोग आयनिक गतिशीलता की गणना करने के लिए कर सकते हैं। आयनिक गतिशीलता के कुछ विशिष्ट मान (अनंत तनु विलयनों में) सारणी 10.3 में सूचीबद्ध हैं।

सारणी 10.3: 298 K पर जल में सीमांत आयनिक गतिशीलता

धनायन	$10^8 u_+ / m^2 v^{-1} s^{-1}$	ऋणायन	$10^8 u_- / m^2 v^{-1} s^{-1}$
H ⁺	36.24	OH ⁻	20.58
Li ⁺	4.01	Cl ⁻	5.74
Na ⁺	5.19	Br ⁻	7.92
K ⁺	7.62	I ⁻	8.09
Ag ⁺	6.42	NO ₃ ⁻	7.41

सारणी 10.3 को अधिक विस्तार से देखना दिलचस्प है। आप देखेंगे कि Li⁺ आयन, अपने बड़े हाइड्रेशन शेल के कारण, पोटेशियम आयन की तुलना में कम गतिशीलता रखता है। इसी तरह के तर्क को F⁻ और Br⁻ आयनों पर लागू किया जा सकता है। H⁺ और OH⁻ आयनों के लिए असाधारण गतिशीलता देखी जाती है। ऐसा इसलिए है, क्योंकि इन मामलों में आवेश को सामान्य क्रियाविधि से के साथ प्रोटॉन कुदान (proton jump) क्रियाविधि से गति है, H⁺ आयन के मामले पर विचार करें।



आप देख सकते हैं कि हाइड्रोजन आयन कैसे O₁ से O₂, O₂ to O₃,, तक उछलता है, यह परिणाम बाएं से दाएं आवेश के स्थानांतरण के बराबर है। यह चालन क्रियाविधि आयन गति की तुलना में आवेश की तरह अधिक है। ऐसा चालन जल की अजीबोगरीब संरचना के कारण संभव है और इसलिए केवल हाइड्रोजन-आबंधित विलायक में पाया जाता है।

10.2.4 चालकता पर अन्य कारकों का प्रभाव

सांद्रता के अलावा, कुछ और कारक हैं जो विद्युत अपघट्य विलयन की चालकता को प्रभावित करते हैं।

(क) तापमान और दबाव का प्रभाव: बढ़ते तापमान के साथ सभी विद्युत अपघट्यों की चालकता बढ़ जाती है। तापमान के साथ अनंत तनुता पर मोलर चालकता में परिवर्तन एक आनुभविक समीकरण द्वारा दी जाती है।

$$\Lambda^\infty(t) = \Lambda^\infty(25)[1 + x(t - 25)] \quad \dots (10.15)$$

यहाँ $\Lambda^\infty(t)$ और $\Lambda^\infty(25)$ क्रमशः t और 25°C पर मोलर चालकता के मान हैं, और x प्रत्येक विद्युत अपघट्य के लिए एक स्थिरांक है। लवण के लिए x लगभग 0.022 से 0.025 है और अम्ल और क्षारक के लिए यह आमतौर पर 0.016 से 0.019 है।

इसका मतलब है कि तापमान में हर एक डिग्री की वृद्धि के लिए मोलर चालकता लगभग 2% बढ़ जाती है। प्रबल विद्युत अपघट्यों के लिए, पर्याप्त सांद्रता पर भी, समीकरण (10.15) अच्छी तरह से काम करता है, जबकि दुर्बल विद्युत अपघट्यों के मामले में, तापमान के साथ परिवर्तन इतनी नियमित नहीं होती है। तापमान के साथ चालकता में वृद्धि विलयन की श्यानता (viscosity) में कमी, आयनों की गति में वृद्धि और दुर्बल विद्युत अपघट्यों के मामलों में आयनीकरण की मात्रा में वृद्धि के कारण होती है।

दबाव में वृद्धि के साथ चालकता थोड़ी बढ़ जाती है। प्रभाव मुख्य रूप से माध्यम की श्यानता में परिवर्तन के माध्यम से होता है, जो दबाव में वृद्धि से कम हो जाता है। नतीजतन, दबाव में वृद्धि के साथ विलयन के मोलर चालकता में वृद्धि होगी।

(ख) विलायक का प्रभाव: कम परावैद्युतांक के विलायकों में, विद्युत अपघट्यों पर छोटे आयनीकारी प्रभाव वाले, विपरीत रूप से आवेशित आयनों के बीच स्थिर वैद्युत बल प्रभावशाली होता है और मोलर चालकता का छोटा मान होगा। हालांकि, उच्च परावैद्युतांक वाले विलायकों अधिक चालन विलायन उत्पन्न करते हैं।

(ग) माध्यम की श्यानता: माध्यम की श्यानता पर चालकता की निर्भरता वाल्डेन के नियम द्वारा दी जाती है, जिसके अनुसार विद्युत अपघट्य का मोलर चालकता माध्यम की श्यानता के व्युत्क्रमानुपाती होता है, अर्थात:

$$\Lambda^\infty \eta_0 = \text{constant} \quad \dots (10.16)$$

यहां Λ_0 अनंत तनुता पर मोलर चालकता है और η_0 विलायक की श्यानता का गुणांक है। यदि आयनों को विलायकयोजित नहीं किया जाता है, अर्थात, सभी विलायकों में उनका आकार समान होता है, तो यह वाल्डेन नियम से निम्नानुसार है कि $\Lambda^\infty \eta_0$ स्थिर और विलायक की प्रकृति से स्वतंत्र होना चाहिए। यह केवल टेट्रा-एल्काल अमोनियम धनायन जैसे आयनों के लिए सही है, जो विलायकयोजित नहीं होते हैं। आयन जहां व्यापक विलायकयोजित होता है, आयनों की प्रभावी त्रिज्या स्थिर नहीं होगी और वाल्डेन नियम का पालन नहीं किया जाएगा।

बोध प्रश्न 4

विलयन की चालकता को प्रभावित करने वाले कारकों की सूची बनाइए।

10.3 चालकत्व की माप

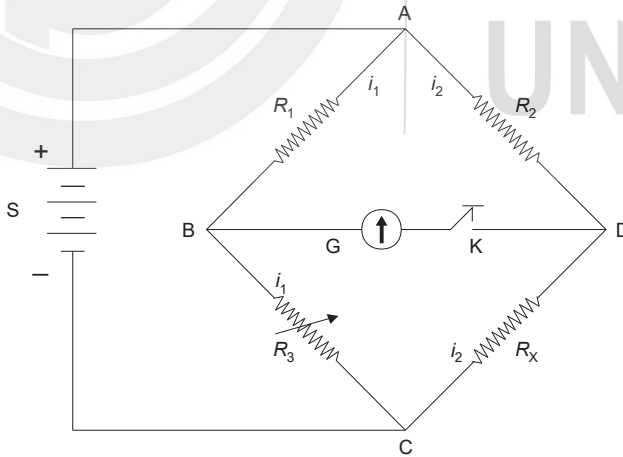
किसी विलयन का चालकत्व मापने के लिए हीटस्टोन सेतु नियम का उपयोग किया जाता है। इसलिए विलयन के चालकत्व का माप लेने से पहले आइए हीटस्टोन सेतु के नियम का अध्ययन करें।

10.3.1 हीटस्टोन सेतु नियम

हीटस्टोन सेतु (Fig. 10.3) का उपयोग किसी इलेक्ट्रानिक चालक के प्रतिरोध को मापने के लिए किया जाता है। यह संतुलन सूचक (जैसे गैल्वेनोमीटर) की मदद से दो भुजाओं के बीच साम्य प्राप्त करने के नियम पर कार्य करता है बशर्ते विभव समान हो।

माना R_x अज्ञात प्रतिरोध, R_1 और R_2 दो मानक प्रतिरोधक, R_3 एक समंजनीय प्रतिरोधक और G गैल्वेनोमीटर है। सेतु को एक बैटरी (विद्युत् स्रोत) S से जोड़ दिया गया है। संबंधनों को नियंत्रित करने के लिए पथ में एक रवट-कुंजी K जोड़ दी जाती है।

R_x प्रतिरोध मापने के लिए रवट-कुंजी को क्षणमात्र के लिए दबाया जाता है और R_3 को समंजित कर सेतु को संतुलित कर दिया जाता है। इस स्थिति में गैल्वेनोमीटर में शून्य विक्षेप होता है।



चित्र 10.3: डी.सी. हीटस्टोन सेतु परिपथ

सेतु में कुल धारा दो पथों में विभक्त हो जाती है: R_1 और R_3 से होते हुए i_1 R_2 और R_x से होते हुए i_2 । संतुलन की अवस्था में B और D बिन्दुओं पर समान विभव होना चाहिए अर्थात् R_1 और R_2 में ओम विभव पात (voltage drop) समान होना चाहिए। इसलिए B पर विभव B (E_B), D पर विभव D (E_D) के बराबर होना चाहिए।

$$E_B = E_D$$

$$\dots (10.17)$$

$$\text{अथवा } i_1 R_1 = i_2 R_2 \quad \dots (10.18)$$

$$\text{उसी प्रकार, } i_1 R_3 = i_2 R_x \quad \dots (10.19)$$

समीकरण (18.35) को समीकरण (18.36) से भाग करने पर,

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_x}$$

$$\text{और } R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad \dots (10.20)$$

इस प्रकार हम R_x परिकलित कर सकते हैं क्योंकि R_1 , R_2 और R_3 ज्ञात हैं। चालकत्व G जो प्रतिरोध का व्युत्क्रम है, इस प्रकार होगा,

$$G = \frac{R_1}{R_2 R_3} \quad \dots (10.21)$$

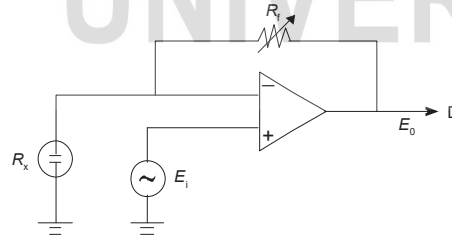
वैकल्पिक रूप से प्रचालन प्रवर्धक नियंत्रण परिपथ में चालकतामापी सेल शामिल किया जा सकता है कि चित्र 10.4 में दिखाया गया है। प्रवर्धक, दो निवेशों के विभव को संतुलित करता है। निवेश विभव (E_i) की धारा प्रवर्तक निर्गम की धारा द्वारा संतुलित होती है जो पुनर्निर्देश प्रतिरोधक (R_f) में प्रवाहित होती है। निर्गम विभव, E_o को प्रतिरोध के रूप में इस प्रकार लिखा जा सकता है:

$$E_o = E_i (R_f / R_x + 1)$$

जिसमें R_x चालकतामापी सेल का प्रतिरोध है।

विलयन चालकत्व, G के लिए उपर्युक्त समीकरण को इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$E_o = E_i (R_f G + 1)$$



चित्र 10.4: चालकता माप के लिए प्रचालन प्रवर्धक नियंत्रण परिपथ R_x विलयन प्रतिरोध है और R_f पश्चमरण प्रतिरोध है।

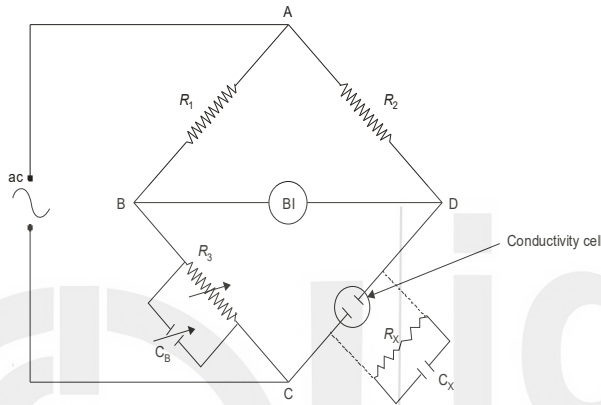
10.3.2 किसी विलयन के चालकत्व की माप

ह्वीटस्टोन सेतु के नियम का उपयोग विलयनों का चालकत्व मापने के लिए किया जाता है। अपितु निम्नलिखित बातों को भी ध्यान में रखना चाहिए:

- क्योंकि दिष्ट धारा DC, विलयन के विद्युत् अपघटन द्वारा चालकता सेल में इलेक्ट्रोडों का धुवीकरण कर देती है, अतः धुवीकरण से बचने के लिए दिष्ट धारा स्रोत (बैटरी) के स्थान पर प्रत्यावर्ती धारा (AC) स्रोत का उपयोग करना चाहिए।

इसके लिए प्रायः चित्र 10.5. में A और C बिन्दुओं के आरपार 50 हर्ट्ज अथवा 1000 हर्ट्ज आवृत्ति वाली 3–6 वोल्ट की प्रत्यावर्ती धारा वोल्टता का उपयोग किया जाता है।

- (ii) C और D बिन्दुओं के बीच उपयुक्त चालकता सेल (जिसके इलेक्ट्रोड विलयन में डूबे रहते हैं) स्थित रहता है। इस प्रकार R_x चालकता सेल का प्रतिरोध बतलाता है।
- (iii) क्योंकि सेल एक छोटे संधारित्र (C_x) का काम भी करता है अतः उसके धारिता प्रतिरोध को संतुलित करने के लिए सेतु में एक परिवर्ती संधारित्र (variable capacitor) C_B भी निविष्ट करना चाहिए।



चित्र 10.5: चालकता सेतु परिपथ

- (iv) संतुलन सूचक (balance inductor (BI)) के रूप में प्रत्यावर्ती धारा गैल्वेनोमीटर को प्रयोग में ला सकते हैं, बल्कि उसके अलावा अन्य युक्ति का भी उपयोग किया जाता है, जैसे,
- यदि प्रत्यावर्ती धारा स्रोत की आवृत्ति श्रव्य परास में हो तो इयर फोन, संतुलन सूचक का काम कर सकता है।
 - अनेक व्यापारिक यंत्रों मायाक्षि (magic eye) का उपयोग किया जाता है जिसमें कांच नली के अंदर फॉस्फर लेप पर इलेक्ट्रानों के टकराने से हरे रंग क स्फुर दीप्ति प्राप्त होती है।
 - यथार्थ चालकत्व माप के लिए संतुलन सूचक के रूप में कैथोड किरण दोलनदर्शी का उपयोग किया जाता है।
- (v) कुछ व्यापारिक यंत्रों में चालकत्व ($G=1/R_x$) को सीधे पैनल आरूढ़मापी में पढ़ा जा सकता है। आजकल अनेक अंकीय यंत्र उपलब्ध हैं जिनमें चालकत्व सीधे अंकीय मान के रूप में प्राप्त हो जाता है।

चालकतामापी

उपरोक्त चर्चा से हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि चालकत्व, प्रतिरोध का व्युत्क्रम है और किसी सेल का प्रतिरोध उसे हीटस्टोन सेतु की भुजा में संयुक्त कर मापा जा

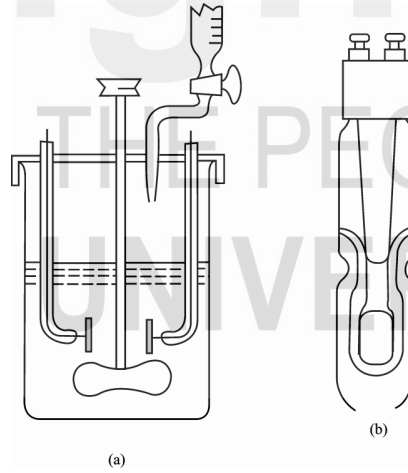
सकता है। प्रतिरोध के व्युत्क्रम के चालकत्व प्राप्त होता है जिसे चालकत्व मापी यंत्र में सीधे पढ़ा जा सकता है जिसे "चालकतामापी" कहते हैं।

एक प्ररूपी चालकतामापी यंत्र में प्रत्यावर्ती धारा (ए.सी.) स्रोत, हीटस्टोन सेतु सर्क्रीट, चालकता सेल और प्रत्यक्ष पाठी प्रदर्श होते हैं।

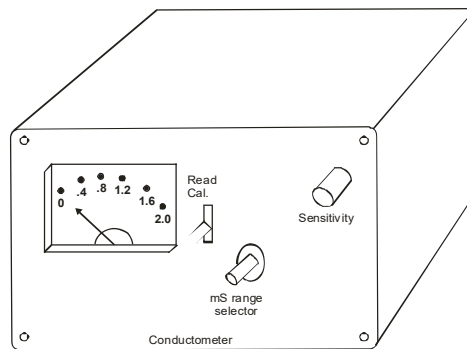
ध्रुवीकरण के प्रभावों अर्थात् मापी सेल के संघटन में परिवर्तन को रोकने के लिए प्रत्यावर्ती धारा (ए.सी.) का उपयोग किया जाता है। इस यंत्र में 50 हर्ट्ज आवृत्ति को उच्च आवृत्ति में, 1000 हर्ट्ज में, बदलने की व्यवस्था होती है। कम चालकत्व वाले विलयनों को मापने के लिए अधिमानतः निम्न आवृत्तियों का और अधिक चालकत्व के विलयनों को मापने के लिए उच्च आवृत्तियों का उपयोग किया जाता है।

बाजार में अनेक सस्ते चालकतामापी अंकीय या बिना अंकीय प्रत्यक्ष पठन के उपलब्ध हैं। यंत्र, लाइन प्रचालित यूनिट के रूप में प्रयुक्त किए जा सकते हैं। प्रक्रम धारा अथवा टंकी के मौके पर जांच के लिए नति-प्ररूप चालकता सेल का उपयोग किया जाता है। अनुमापन के लिए विभिन्न डिजाइनों के चालकता सेल उपलब्ध हैं (चित्र 10.6)। अपितु पर्याप्त तनु विलयनों के लिए खुला बीकर उपयुक्त नहीं होता है क्योंकि वायुमंडल CO_2 से चालकत्व में परिवर्तन हो सकता है।

चित्र 10.7 में प्ररूपी चालकतामापी को दिखाया गया है जिसे दिए गए अनुदेशों के अनुसार प्रचालित किया जा सकता है।



चित्र 9.6: चालकता सेल के विभिन्न डिजाइन



चित्र 9.7: चालकतामापी यंत्र

चालकता के प्रत्यक्ष मापन की प्रक्रिया

1. यंत्र को ए.सी. सप्लाई से जोड़ दें।
2. आवृत्ति वरणकारी स्विच को आवश्यक आवृत्ति (माना 1000 हर्ट्ज) पर रखें।
3. विधा वरित्र (CAL) अवस्था पर रखें और परास वरण (range selector) घुण्डी की मदद से मनचाही अवस्था में 2, 20 या 200 पर रखें। ये मान मीटर की पूरे पैमाने को मान को (mS) (मिली सीन्मस) में व्यक्त करते हैं। सुग्राहिता घुण्डी की मदद से पाइंटर को न्यूनतम और अधिकतम सुग्राहित के लगभग बीच में जैसे कि 1 पर रखें।
4. चालकता सेल इलेक्ट्रोडों को यंत्र के समुचित सिरों से जोड़ दें। चालकता सेल को आसुत जल (चालकता जल) से साफ कर लें।
5. एक स्वच्छ बीकर में मानक KCl विलयन (माना 0.1M) लें। विलयन में एक विलोडक छड़ (चुंबकीय विलोडन के लिए प्रयुक्त) डालें और विलयन वाले बीकर को चुंबकीय विलोडक प्लेट में रखें।
6. चालकता सेल को विलयन में प्रविष्ट करें। ध्यान रखें कि प्लैटिनम प्लेट इलेक्ट्रोड पूरी तरह विलयन में निमज्जित हों ओर वे विलोडक छड़ अथवा बीकर के पार्श्वों या तली को न छुएं।
7. यंत्र में धारा चालू करें और 2–5 मिनट तक गरम होने दें।
8. मानक KCl विलयन का चाकलत्व, G_s , मीटर स्विच को READ स्थान पर लाकर माप लें।
9. बीकर से KCl विलयन निकाल दें और चालकता सेल को आसुत जल से भली भांति धोलें। अज्ञात विलयन को बीकर में डालकर उसका चालकत्व, G_u उसी प्रकार ज्ञात करें जिस प्रकार मानक KCl विलयन का किया था।
10. मानक के चालकत्व और चालकता मानों से सेल स्थिरांक परिकलित करें,

$$K_{cell} = \frac{\text{चालकता (विशिष्ट चालकत्व)}}{\text{मानक KCl विलयन का चाकलत्व}}$$

11. अज्ञात विलयन की चालकता (विशिष्ट चालकत्व) परिकलित करें। अज्ञात विलयन की चालकता (विशिष्ट चालकत्व) = प्रेक्षित चालकत्व × सेल स्थिरांक

$$K_u = K_{cell} G_u$$

12. अनुमापन के लिए, सेल स्थिरांक, K_{cell} का मान परिकलित करने की आवश्यकता नहीं होती है क्योंकि किसी अनुमापन के दौरान सेल स्थिरांक अपरिवर्तित रहेगा।

टिप्पणियां:

- (i) परासवरण घुण्डी को जब भी नयी अवस्था में लाते हैं तो यंत्र का अंशशोधन दोबारा से करना आवश्यक हो जाता है। मीटर के मान को धीरे से सुग्राहिता घुण्डी की मदद से एक पर ले आते हैं अगर इसमें बदलाव आता है।

- (ii) यदि चालकता सेल, प्रयोग में न हो उसे आसुत जल में रखें ताकि प्लैटिनम इलेक्ट्रोड सूखने न पाएं।
- (iii) यदि चालकता सेल इलेक्ट्रोड प्लेटों से दुर्गंध आ रही हो तो उन्हें 24 घंटों तक $K_2Cr_2O_7$ विलयन युक्त तनु H_2SO_4 विलयन (अर्थात् तनु क्रोमिक अम्ल) में रखें। उसके बाद नल के धोकर आसुत जल में प्रक्षालित कर लें।

बोध प्रश्न 5

298 K पर $2.00 \times 10^{-2} M$ KCl का प्रतिरोध 195.96Ω और $2.50 \times 10^{-3} M$ K_2SO_4 का प्रतिरोध 775.19Ω है। 298 K पर KCl की चालकता (κ) $2.00 \times 10^{-2} M$ है। K_2SO_4 विलयन की मोलर चालकता परिकलित करें।

10.4 चालकत्वमिति के अनुप्रयोग

अत्यंत सुग्राही होने के कारण चालकतामितीय माप, पर्यावरणीय विश्लेषण और कुछ अन्य अनुप्रयोगों के लिए महत्वपूर्ण उपकरण हैं। प्रायः नति (dip) इलेक्ट्रोड सेल और मीटर द्वारा चालकत्व का सतत् अथवा स्थान पर ही माप किया जाता है। कुछ मामलों में चालकत्व को सतत् अभिलेखन (रिकार्डिंग) भी किया जाता है। क्योंकि चालकत्व आयनी सान्द्रताओं पर निर्भर करता है, अतः चालकत्व को सीधे मापकर भाप से प्राप्त आसुत जल और विखनिजित जल की शुद्धता तथा अपरिष्कृत जल में आयनी मात्राएं ज्ञात की जा सकती हैं। चालकत्व विधियों द्वारा धातु उद्योगों, विद्युत्लेपन बाथ और प्रक्षालन बाथ को मॉनीटर किया जाता है।

संभवतः प्रत्यक्ष, चालकतामिति का सार्वधिक अनुप्रयोग आसुत जल की शुद्धता का आकलन है। कोलराउश ने कठोर परिश्रम से निर्वात में जल के 42 क्रमिक आसवन करने के बाद चालकता जल प्राप्त किया जिसका $18^\circ C$ पर चालकता $\kappa = 4.3 \times 10^{-8} S cm^{-1}$ था। आयनी अपद्रव्य की अल्पमात्रा के होने से भी चालकत्व बहुत बढ़ जाता है। वायु में विद्यमान कार्बन डाइऑक्साइड के साथ साम्यावस्था वाले साधारण आसुत जल की चालकता लगभग $\kappa = 7.0 \times 10^{-7} S cm^{-1}$ होती है। समुद्री जल का चालकता मान बहुत अधिक होता है तथा समुद्र विज्ञान में जल की लवणता की जांच करने के लिए चालकतामितीय मापों का विस्तृत उपयोग किया जाता है।

सुवाह्य यंत्रों द्वारा मृदाओं के चालकत्व माप से विभिन्न स्थानों पर मृदाओं में नमी की मात्रा ज्ञात करने में सहायता मिलती है। सभी मृदाओं में जल विलेय लवणों की विभिन्न मात्राएं, 0.1 % या अधिक होती हैं। ये लवण प्रायः सोडियम, पोटैशियम, कैल्सियम और मैग्नीशियम के सल्फेट, क्लोराइड, कार्बोनेट और बाइकार्बोनेट के रूप में विद्यमान रहते हैं तथा मृदा के चालकत्व में योगदान करते हैं। मृदाओं को लवण-मृदा और अलवण मृदा में वर्गीकृत किया जा सकता है जो मौजूद लवणों के स्वभाव और मात्रा पर निर्भर करता है। $25^\circ C$ पर जल के साथ लवण मृदा के संतृप्त निष्कर्ष की चालकता $4 mS cm^{-1}$ से अधिक होती है। हम पहले सेमेस्टर पाठ्यक्रम में इन मापदंडों पर पहले ही चर्चा कर चुके हैं। अब हम चालकतामितीय अनुमापन के सिद्धांत को लेंगे।

चालकतामितीय अनुमापन

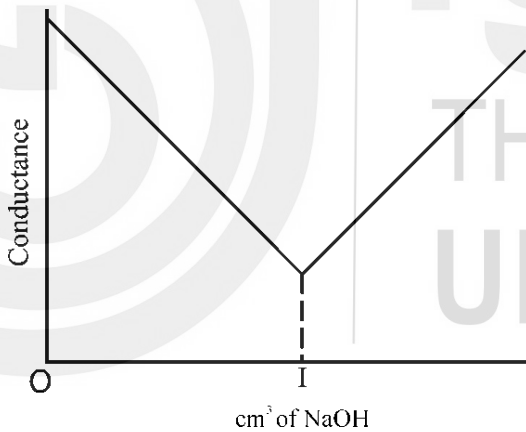
चालकतामितीय अनुमापन का सिद्धांत इस तथ्य पर आधारित है कि अनुमापन के दौरान, आयनों में से एक को दूसरे द्वारा प्रतिस्थापित किया जाता है और निरपवाद रूप से ये

दो आयन आयनिक चालकता में भिन्न होते हैं जिसके परिणामस्वरूप विलयन की चालकता अनुमापन के दौरान भिन्न होती है। तुल्यता बिंदु को ग्राफ की सहायता से ज्ञात कर सकते हैं जो चालकता में परिवर्तन व अनुमापक के प्रयुक्त आयतन के बीच खींचा जाता है।

चालकतामितिय अनुमापन के मुख्य लाभ बहुत तनु, और रंगीन विलयन और वे अनुमापन जिसमें सापेक्ष अपूर्ण अभिक्रियाएं होती हैं। उदाहरण के लिए, न तो विभवमितिय, और न ही सूचक विधि का उपयोग फिनोल ($K_a = 10^{-10}$) के उदासीनीकरण अनुमापन के लिए किया जा सकता है, चालकतामितिय अनुमापन तुल्यता बिंदु को सफलतापूर्वक ज्ञात किया जा सकता है।

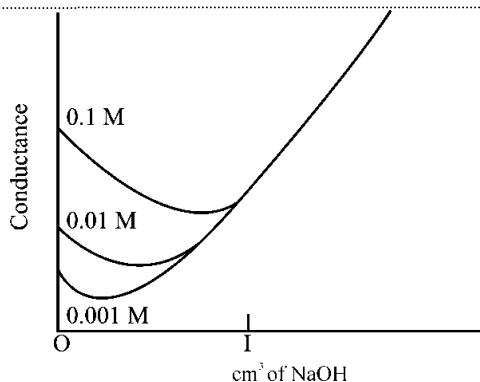
कुछ विशिष्ट चालकतामितिय अनुमापन वक्र:

1. प्रबल क्षारक के साथ प्रबल अम्ल, उदा. NaOH के साथ HCl: NaOH डालने से पहले, अत्यधिक गतिशील हाइड्रोजन आयनों की उपस्थिति के कारण चालकता अधिक होती है। जब क्षारक डाला जाता है, तो हाइड्रोजन आयनों OH^- आयनों के साथ अभिक्रिया करके अनायनित जल बनाते हैं। चालकता धरे-धिरे कम होने लगती है, चालकता में यह कमी तुल्यता बिंदु तक जारी रहती है। तुल्यता बिंदु पर, विलयन में केवल NaCl होता है। तुल्यता बिंदु के बाद, OH^- आयनों की अधिक चालकता के कारण चालकता बढ़ जाती है (चित्र 10.8)।



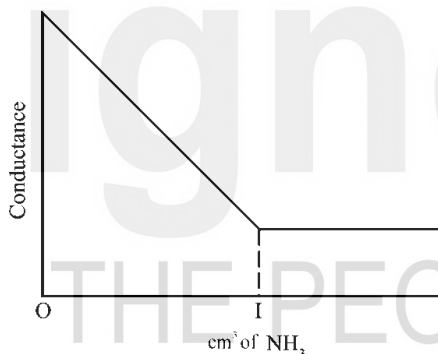
चित्र 10.8: प्रबल अम्ल (HCl) बनाम प्रबल क्षारक (NaOH) का चालकतामितिय अनुमापन

2. प्रबल क्षार के साथ दुर्बल अम्ल, उदा. NaOH के साथ ऐसीटिक अम्ल: ऐसीटिक अम्ल के दुर्बल आयनीकरण के कारण प्रारंभ में चालकता कम होती है। जब क्षारक डालने पर, न केवल H^+ के Na^+ द्वारा प्रतिस्थापन के कारण चालकता में कमी होती है, बल्कि सामान्य आयन ऐसीटेट के कारण ऐसीटिक अम्ल के वियोजन को भी कम कर देता है। लेकिन बहुत जल्द, NaOH डालने पर चालकता बढ़ जाता है क्योंकि NaOH अन-वियोजन (un-dissociated) CH_3COOH को CH_3COONa में उदासीनीकरण कर देता है जो कि प्रबल अपघट्य है। चालकता में यह वृद्धि तुल्यता बिंदु तक बढ़ती रहती है। CH_3COONa लवण के जल-अपघटन के कारण तुल्यता बिंदु के पास का ग्राफ घुमावदार होता है। तुल्यता बिंदु से परे, अत्यधिक चालक OH^- आयनों के कारण NaOH के डालने से चालकता अधिक तेजी से बढ़ता है (चित्र 10.9)।



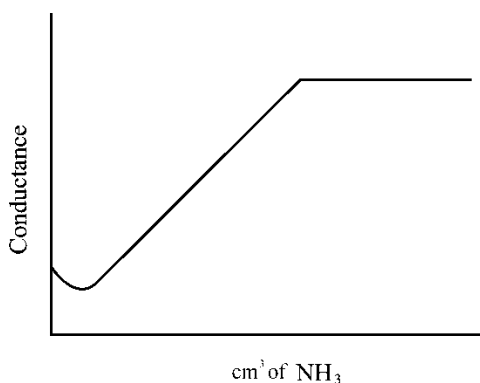
चित्र 10.9: दुर्बल अम्ल (ऐसिटिक अम्ल) बनाम प्रबल क्षारक (NaOH) का चालकतामितीय अनुमापन

3. दुर्बल क्षारक के साथ प्रबल अम्ल, उदा. तनु अमोनिया के साथ सल्फ्यूरिक अम्ल: शुरु में चालकता अधिक होती है और फिर H^+ के प्रतिस्थापन के कारण घट जाती है। लेकिन तुल्यता बिंदु पर पहुंचने के बाद ग्राफ लगभग क्षैतिज हो जाता है, क्योंकि अमोनियम सल्फेट की उपस्थिति में अतिरिक्त जलीय अमोनिया पर्याप्त रूप से आयनित नहीं होता है (चित्र 10.10)।



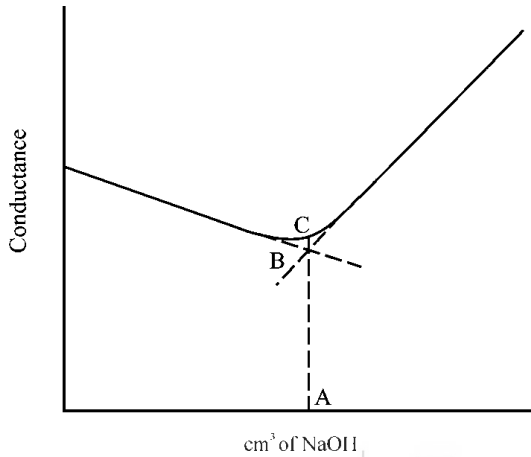
चित्र 10.10: प्रबल अम्ल (H_2SO_4) बनाम दुर्बल क्षारक (NH_4OH) का चालकतामितीय अनुमापन

4. दुर्बल क्षारक के साथ दुर्बल अम्ल: तुल्यता बिंदु से पहले वक्र की प्रकृति प्रबल क्षार के विरुद्ध दुर्बल अम्ल का अनुमापन करके प्राप्त वक्र के समान होती है। तुल्यता बिंदु के बाद, चालकता वस्तुतः वही रहती है क्यों कि जो दुर्बल क्षारक डाला जा रहा है वह कम आयनित होता है और इसलिए, अधिक चालकता नहीं बढ़ती है (चित्र 10.11)।



चित्र 10.11: दुर्बल अम्ल (ऐसीटिक अम्ल) बनाम दुर्बल क्षारक (NH_4OH) का चालकतामितीय अनुमापन

5. अवक्षेपण अनुमापन: एक अभिक्रिया को एक चालकतामितीय अवक्षेपण अनुमापन का आधार बनाया जा सकता है बशर्ते अभिक्रिया उत्पाद अल्प विलेय हो। अवक्षेप की घुलनशीलता 5 % से कम होनी चाहिए। कभी-कभी अवक्षेपण में विलेयता को कम करने के लिए एथेनॉल मिलाने की सिफारिश की जाती है। चित्र 6.8 (बेरियम ऐसीटेट के साथ जलीय-एथेनॉल घोल में अमोनियम सल्फेट) में एक प्रयोगात्मक वक्र दिया गया है।



चित्र 10.12: अवक्षेपण अनुमापन, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ बनाम बेरियम ऐसीटेट का चालकतामितीय अनुमापन

10.5 सारांश

इस इकाई में, प्रतिरोध (R), चालकत्व (G), प्रतिरोधकता (ρ), चालकता (k), तुल्यांकी चालकता (Λ_{eq}), मोलर चालकता (Λ_m), अनंत तनुता पर मोलर चालकता (Λ^∞) जैसे विभिन्न पैरामीटर और सेल स्थिरांक को मापन के लिए उनकी इकाइयों के साथ-साथ विस्तार से परिभाषित किया गया है। इन मापदंडों के बीच संबंधों पर भी चर्चा क गई है। विलयन की चालकता को प्रभावित करने वाले विभिन्न कारक भी दिए वर्णन किया है। अंत में चालकता के मापन की विस्तृत प्रक्रिया दी गई है।

10.6 अंत में कुछ प्रश्न

1. विद्युत अपघट्य क्या हैं? उन्हें कैसे वर्गीकृत किया जाता है?
2. एक विद्युत अपघट्य की मोलर चालकता और तुल्यांकी चालकता को परिभाषित करें। वे एक दूसरे से कैसे संबंधित हैं?
3. सेल स्थिरांक और विद्युत अपघट्य की चालकता के लिए व्यंजक लिखिए।
4. विलयन की चालकता को प्रभावित करने वाले विभिन्न कारक कौन-से हैं?
5. चालकतामितीय मापन में एक स्थिर तापमान बनाए रखने की आवश्यकता की व्याख्या करें।

6. 0.1 M HCl की चालकता $0.0394 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ है। विलयन की मोलर चालकता क्या है?
7. दो प्लेटिनम इलेक्ट्रोडों के बीच 1.80 cm की दूरी और 5.4cm^2 क्षेत्रफल वाले लवण के 0.1 M का प्रतिरोध 32 ओम पाया गया। विलयन की मोलर चालकता की गणना करें।
8. एक निश्चित चालकता सेल KCl के 0.0100 M घोल से भरी हुई थी, जिसकी चालकता 25°C पर $0.001409 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ (S cm^{-1}) है, इसका प्रतिरोध 161.8Ω था, और जब 0.0050 M NaOH से भरा होता है, इसका प्रतिरोध 190Ω था। NaOH विलयन के सेल स्थिरांक, चालकत्व और मोलर चालकता की गणना कीजिए।
9. एक चालकता सेल प्रायोगिक विलयन से भरे जाने पर 25°C पर 3950Ω का प्रतिरोध तथा 0.02 M KCl विलयन से भरे जाने पर उसी तापमान पर 4864Ω का प्रतिरोध प्रदर्शित करता है। यदि विलयन की चालकता $2.767 \times 10^{-3} \text{S cm}^{-1}$ है, तो प्रायोगिक विलयन की चालकता की गणना करें।
10. 0.1 M KCl विलयन ($\kappa = 0.14807 \text{ohm}^{-1} \text{m}^{-1}$) से भरे जाने पर एक चालकता सेल का प्रतिरोध 702 ओम था और 0.01 M एसीटिक अम्ल विलयन से भरने पर 6920 ओम। अम्ल विलयन के लिए सेल स्थिरांक और मोलर चालकता की गणना करें।

10.7 उत्तर

बोध प्रश्न

1. (i) $K = \kappa_{\text{KCl}} / G_{\text{obs.}}$ or $= \kappa_{\text{KCl}} \times R_{\text{obs.}}$
 $= 1.41 \times 10^{-3} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1} \times 150 \Omega = 0.2115 \text{cm}^{-1}$
- (ii) $\kappa = KG_{\text{obs.}} = K/R_{\text{obs.}} = 0.2115 \text{cm}^{-1} / 51.5 \Omega = 4.11 \times 10^{-3} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
 (S cm^{-1})
2. (क) चालकत्व: S m^{-1} or $\Omega^{-1} \text{m}^{-1}$
 (ख) तुल्यांकी चालकता: $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1} \text{eq}^{-1}$
 (ग) सेल स्थिरांक : m^{-1} or cm^{-1}
 (घ) मोलर चालकता: $\text{S m}^2 \text{mol}^{-1}$ or $\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1}$
3. $\kappa_{\text{KCl}} = \kappa_{\text{sol.}} - \kappa_{\text{water}}$
 $(7.44 - 0.06) \times 10^{-3} = 7.38 \times 10^{-3} \text{S m}^{-1}$
 $A_m = \kappa/c = \frac{7.38 \times 10^{-3} \text{S m}^{-1} \cdot}{5.0 \times 10^{-4} \times 10^3 \text{mol m}^{-1}}$
 $= 1.476 \times 10^{-2} \text{S m}^2 \text{mol}^{-1}$

4. सांद्रता, आयनिक गतिशीलता, तापमान और दबाव, विलयन की प्रकृति, माध्यम की श्यानता
5. निम्नलिखित समीकरण पर विचार करें:

$$\begin{aligned} K_{\text{cell}} &= \kappa \times R \\ &= 0.2768 \text{ S m}^{-1} \times 195.96 \Omega \\ &= 54.24 \text{ m}^{-1}. \end{aligned}$$

K_2SO_4 विलयन की चालकता दी जा सकती है,

$$\begin{aligned} \kappa &= \frac{K_{\text{cell}}}{R} = \frac{54.24 \text{ m}^{-1}}{775.19 \Omega} \\ &= 0.06997 \text{ S m}^{-1}. \end{aligned}$$

K_2SO_4 की सांद्रता mol m^{-3} मात्रक में:

$$\begin{aligned} c &= 1000 \times 2.50 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-3} \\ &= 2.50 \text{ mol m}^{-3} \end{aligned}$$

K_2SO_4 की मोलर चालकता व्यक्त किया जा सकता है:

$$\begin{aligned} \Lambda_m &= \frac{\kappa}{c} = \frac{0.06997 \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}}{2.50} \\ &= 0.028 \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$

अंत में कुछ प्रश्न

- वे आयनिक यौगिक जो विलयन में आयन बनाते हैं और विद्युत धारा का संचालन करते हैं, विद्युत अपघट्य कहलाते हैं। NaCl , KCl आदि। आयनन की मात्रा के आधार पर उन्हें प्रबल और दुर्बल विद्युत-अपघट्यों वर्गीकृत किया जा सकता है।
- मोलर चालकता: यह विलेय हुए विद्युत् अपघट्य की प्रति इकाई मोलर सांद्रता की चालकता होती है। चालकता, κ के साथ इसके संबंध को इस प्रकार लिखा जा सकता है:

$$\Lambda_m = \frac{\kappa}{c} = \frac{\kappa}{M \times 1000} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1} = \frac{1000 \kappa}{M} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

तुल्यांकी चालकता: यह 1 g तुल्यांकी विलेय हुए विद्युत् अपघट्य की V विलयन की चालकता होती है। चालकता, κ के साथ इसके संबंध को इस प्रकार लिखा जा सकता है:

$$\Lambda_{\text{eq}} = \kappa V$$

यदि सांद्रता g तुल्यांकी प्रति dm^3 है, तब:

$$\Lambda_{\text{eq}} = \frac{1000 \kappa}{c}$$

इस का मात्रक है, $\text{S cm}^2 \text{ eq}^{-1}$

मोलर चालकता से सम्बंध

$$\Lambda_{\text{eq}} = \frac{\text{मोलर चालकता (S cm}^2 \text{ mol}^{-1})}{\eta}$$

where η = मोलर द्रव्यमान/तुल्यांकी द्रव्यमान

3. सेल स्थिरांक: राशि (I/A) को सेल स्थिरांक कहा जाता है।

चालकता = प्रेक्षित चालकत्व \times सेल स्थिरांक

4. वस्तुतः प्रक्रिया उपखंड 10.2.4 में दी गई है।

5. क्योंकि बढ़ते तापमान के साथ सभी इलेक्ट्रोलाइट्स की चालकता बढ़ जाती है।

6. $\Lambda_m = K/c$, अतः,

$$\begin{aligned}\Lambda_m &= 0.0394 (\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}) / 0.1 \text{ M} = 0.0394 (\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}) / 0.1 \times 10^{-3} \text{ mol cm}^{-3} \\ &= 394 \Omega^{-1} \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}\end{aligned}$$

7. सेल स्थिरांक = I/A , $1.8/5.4 = 1/3 \text{ cm}^{-1}$

प्रेक्षित चालकत्व = $1/32 \Omega^{-1}$

$$K = \text{सेल स्थिरांक} \times \text{चालकत्व} = 1/3 \times 1/32 = 1/96 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

$$\Lambda_m = K/c = 1/96 (\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}) \times 1/0.1 \text{ M}$$

$$= 1/96 (\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}) \times 1/0.1 \times 10^{-3} (\text{mole cm}^{-3}) = 104.16 \Omega^{-1} \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

8. सेल स्थिरांक = $K R = 0.001409 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} \times 161.8 \Omega = 0.228 \text{ cm}^{-1}$

$$\kappa_{\text{NaOH}} = \text{सेल स्थिरांक} / R = 0.228 \text{ cm}^{-1} / 190 \Omega = 1.2 \times 10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

$$\Lambda_m = K/c = 1.2 \times 10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} / 0.0050 \times 10^{-3} \text{ mol cm}^{-3} = 240 \Omega^{-1} \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

11. सेल स्थिरांक = $K R = 2.767 \times 10^{-3} (\text{S cm}^{-1}) \times 4864 (\Omega)$

प्रयोगात्मक विलयन की चालकता = $K = \text{सेल स्थिरांक} / R$

$$= 2.767 \times 10^{-3} \times 4864 (\text{cm}^{-1}) / 3950 (\Omega) = 3.407 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$$

12. सेल स्थिरांक = $K R = (0.14807 \times 702) (\text{ohm}^{-1} \text{ m}^{-1}) (\text{ohm}) = 103.94 \text{ m}^{-1}$

$$= 1.039 \text{ cm}^{-1}$$

एसीटिक अम्ल की चालकता $K = (1/R) (I/A)$

$$= (1 / 6920 \Omega) (1.039) \text{ cm}^{-1}$$

$$= 1.501 \times 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

$$= 1.501 \times 10^{-2} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

$$\text{सांद्रता} = 0.01 \text{ M} = 0.01 \text{ mol dm}^3 = 0.01 \times 10^3 \text{ mol m}^{-3}$$

$$\Lambda_m = K/c = 1.501 \times 10^{-2} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1} / 0.01 \times 10^3 \text{ mol m}^{-3}$$

$$= 1.501 \times 10^{-3} \text{ mol}^{-1} \Omega^{-1} \text{ m}^2$$

10.8 उपयोगी पुस्तकें

1. H.H.Willard , L.L.Merrit Jr., J.A. Dean , F.A.Settle Jr., *Instrumental Method of Analysis*, Wadsworth Publishing Company , USA, 1988.
2. M.E. Brown, *Introduction to Thermal Analysis*, Kluwer Academic Publisher , London, 2001.
3. W.W. Wandlandt , *Thermal Analysis*, Wiley , New York , 1986.
4. H.Gunzzler and A.Williams , *Hand Book of Analytical Techniques*, Wiley –VCH , Weinheim , Vol -2, 2001.
5. G.W.Ewing , *Analytical Instrumentation Handbook*, Marcel Dekker Inc, New York, 2005.
6. R.A. Meyer, *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons Ltd , Vol 15, 2000.
7. Skoog, Douglas A., F. James Holler and Timothy Nieman. *Principles of Instrumental Analysis*. Seventh Edition, 2018.



ignou
THE PEOPLE'S
UNIVERSITY