भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 29 अंक (2) दिसम्बर 2021 पृ. 115-119

ठोस पदार्थों का द्रवीय विलयनः मूल तत्व एवं अनुप्रयोग

पारुल साहू एवं खुशबू एस*
सीएसआईआर-केंद्रीय नमक व समुद्री रसायन अनुसंधान संस्थान, भावनगर 364002 (गुजरात)
*जानकी देवी बजाज राजकीय स्नातकोत्तर महिला महाविद्यालय, कोटा, 324 001 (राजस्थान)

सारांश : विलयन आमतौर पर घरेलू एवं औद्योगिक अनुप्रयोगों में उपयोग किए जाते हैं, एवं ठोस के द्रव में विलयन सबसे अधिक मिलते हैं। विलायक में ठोस विलेय मिलाने पर उनके अणुओं के मध्य अन्योन्य क्रिया (आयनीकरण अथवा हाइड्रोजन बंध) के फलस्वरूप विलयन बनता है और विलेयता अणुओं की प्रकृति, ताप एवं दाब पर निर्भर करती है। किसी विलेय की विलयन में विलेयता एवं तापमान के संबंध को विलेयता वक्र द्वारा प्रदर्शित करते हैं। विलयन में विलेयता अथवा क्रिस्टलीकरण की प्रक्रियाएँ महत्वपूर्ण होती हैं एवं अनेक अनुप्रयोगों का आधार बनती हैं। इस शोध पत्र में विलयन से संबंधित कई प्रक्रियाएँ एवं उनकी औद्योगिक उपयोगिता पर प्रकाश डाला गया है।

Liquid Solutions of Solids: Basics and Applications

Parul Sahu & Khushboo S*
CSIR-Central salt and Marine Research Institute, Bhawnagar 364002 (Gujrat)
*Janki Devi Bajaj Government PG Girls College, Kota 324 001 (Rajasthan)

Abstract

Solutions are generally encountered in domestic as well as industrial applications and the solution of solid in liquid are the most common type. When a solid solute is added to a solvent, a solution is formed as a result of the interaction between their molecules (ionization or hydrogen bonding), and the solubility depends on the nature of the molecules, temperature and pressure. The relationship of solubility of a solute in a solution and temperature is presented by the solubility curve. The processes of dissolution or crystallization in solution are important and form the basis of many applications. Several processes related to solution and their industrial applications have been highlighted.

प्रस्तावना

द्रवीय विलायक में ठोस पदार्थ के विलयन सबसे अधिक मिलते हैं। किसी द्रव में किसी विलेय का विलयन इस मूल सिद्धांत पर आधारित होता है कि विलेय-विलायक अन्योन्य क्रिया (अंतःक्रिया) या तो विलेय-विलेय और विलायक-विलायक अन्योन्य के समान या उससे अधिक होती है।[1] ठोसों के द्रवीय विलयनों का हमारे दैनिक जीवन के साथ-साथ उद्योगों में भी महत्व है। उदाहरणतः, नमक के जलीय विलयन का उपयोग उपचार के समय प्रयुक्त होने वाले सैलाइन से लेकर क्लोर-क्षारीय प्रक्रिया द्वारा कास्टिक सोडा व क्लोरीन गैस निर्माण तक किया जाता है। प्रस्तुत अध्ययन ठोस पदार्थ के द्रवीय विलयन से जुड़े मूलभूत तत्व एवं अनुप्रयोगों की समीक्षा प्रस्तुत करता है।

विलीनीकरण क्रियाविधि

जब एक ठोस विलेय, द्रव विलायक में डाला जाता है तो यह उसमें घुलने लगता है। यह प्रक्रिया 'विलीनीकरण' कहलाती है। ठोस के द्रव में विलयन की विलीनीकरण प्रक्रिया को विलेय के अणुओं या आयनों एवं विलायक के अणुओं के बीच अन्तः क्रिया द्वारा समझा जा सकता है।[1] ठोस विलेय कि प्रकृति के आधार पर निम्नलिखित दो क्रियाविधियां सम्भव हैः

2.1. आयनीकरण द्वारा विलीनीकरण

एक आयनिक पदार्थ, जब उपयुक्त विलायक के संपर्क में आता है तो धनायन व ऋणायन में विघटित हो जाता है एवं विलेय आयनों के विपरीत आवेशित सिरों एवं विलायक के अणुओं के मध्य विद्युत आकर्षण के परिणामस्वरूप विलयन बनता

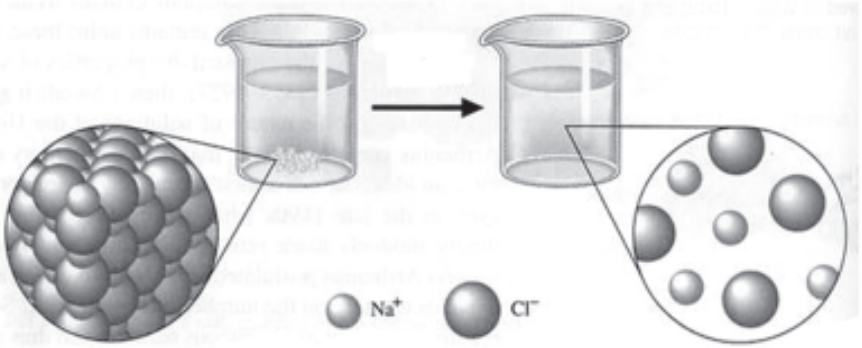
है। उदाहरणार्थ, जल अत्यधिक ध्रुवीय होने के कारण आयनित विलेयों के लिए एक उत्तम विलायक है। अतः जब सोडियम क्लोराइड (NaCl) क्रिस्टल जल में घोले जाते हैं तो ध्रुवीय जल अणु क्रिस्टल से Na^+ व Cl^- आयनों को जल-योजन क्रिया के द्वारा खींचते हैं। यह इसलिए संभव होता है क्योंकि आयन और जल के अणुओं के मध्य क्रियारत बल क्रिस्टल में आयनों को बाँधने वाले बल से अधिक शक्तिशाली होते हैं। चित्र-1 में NaCl का जल में विलनीकरण दर्शाया गया है।

हाइड्रोजन बंध द्वारा विलीनीकरण

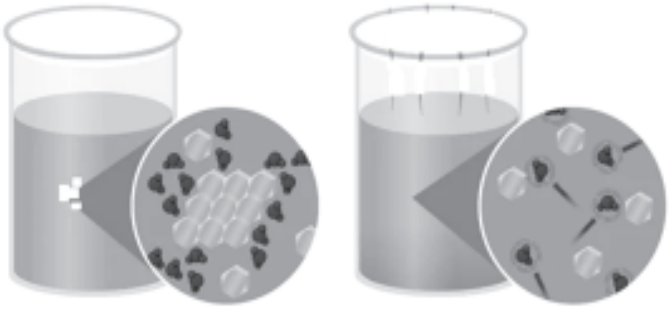
अनेक अनायनिक पदार्थ जैसे चीनी (सुक्रोज़), ग्लूकोज़ आदि भी जल में घुलनशील होते हैं। चित्र-2 में चीनी का जल में विलनीकरण दर्शाया गया है। यहाँ पर जल और चीनी (सुक्रोज़) के अणुओं के मध्य बनने वाले हाइड्रोजन बंध के कारण विलनीकरण होता है। हाइड्रोजन बंधन चीनी के हाइड्रॉक्सिल समूह के माध्यम से होता है। जल के अणु इस प्रकार क्रिस्टल से चीनी के अणुओं को दूर करने में सक्षम होते हैं, जो जल में घुल जाते हैं। वस्तुतः, प्रत्येक चीनी अणु अनेक जल-अणुओं से घिरा होता है, और ये समुच्चय सम्पूर्ण विलयन में विचरण के लिए मुक्त होते हैं।

विलेयता एवं इसकी साम्य अवधारणा

किसी अवयव की विलेयता एक निश्चित ताप पर विलायक की निश्चित मात्रा में घुली हुई उस पदार्थ की अधिकतम मात्रा होती है। यह विलेय एवं विलायक की प्रकृति तथा ताप एवं दाब पर निर्भर करती है। जब ठोस विलेय, द्रव विलायक में डाला जाता है तो उसके अणु या आयन सतह से अलग हो जाते हैं और विलायक में प्रवेश कर जाते हैं और विलेय विलायक में घुलने लगता है। यह प्रक्रिया 'विलीनीकरण' कहलाती है। ठोस से इस प्रकार से अलग हुए अणु संपूर्ण विलायक में फैलने के लिए स्वतंत्र होते हैं एवं समरूप विलयन बना लेते हैं। इससे विलयन में विलेय की सांद्रता बढ़ने लगती है। विलेय एवं विलायक के अणु गतिज ऊर्जा के कारण विलयन अवस्था में निरंतर गतिमान रहते हैं। कुछ कण अन्य अणुओं के साथ संघट्टों के कारण विलयन से अलग हो जाते हैं एवं ठोस की ओर विक्षेपित हो जाते हैं। ये फिर ठोस सतह से टकराते हैं और इसके क्रिस्टल जालक में जमा हो जाते हैं। वह प्रक्रिया जिसके द्वारा विलेय के कण विलयन से 'पुनः जमा' या 'पुनः क्रिस्टलीकृत' हो जाते हैं, पुनः क्रिस्टलीकरण या विक्षेपण कहलाती है। एक समय ऐसी स्थिति आती है, जब दोनों प्रक्रियाओं की गति समान हो जाती है। इस स्थिति में विलयन



चित्र 1 – Na^+ व Cl^- आयनों का जल में अनियमित रूप से बिखराव



चित्र 2 – जल में चीनी का विलनीकरण

में जाने वाले विलेय कणों की संख्या विलयन से पृथक्कारी विलेय कणों की संख्या के बराबर होगी और गतिक साम्य की प्रावस्था पहुंच जाएगी।

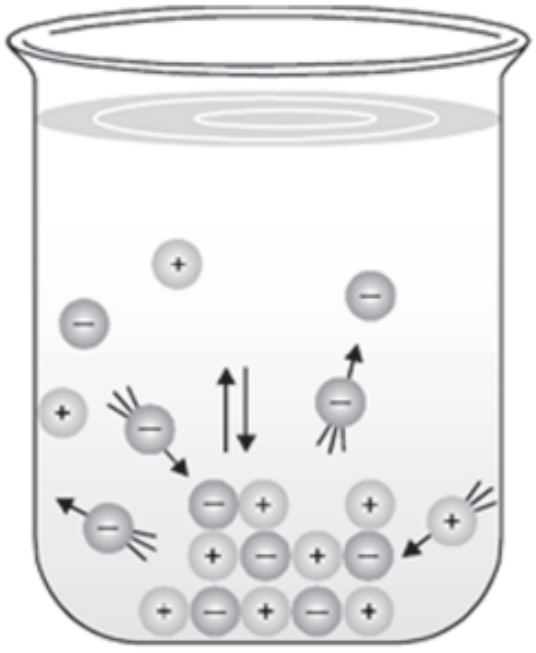
चित्र-3 में विलीनीकरण एवं क्रिस्टलीकरण प्रक्रियाओं को दर्शाया गया है। इस स्थिति में दिए गए ताप व दाब पर विलयन में उपस्थिति विलेय की सांद्रता स्थिर रहती है और साम्य-विलेयता कहलाती है।

विलेय + विलायक = विलयन विलीनीकरण⇔क्रिस्टलीकरण ...(1)

इस प्रकार का विलयन जिसमें दिए गए ताप एवं दाब पर और अधिक विलेय नहीं घोला जा सके संतृप्त विलयन कहलाता है एवं वह विलयन जिसमें उसी ताप पर और अधिक विलेय घोला जा सके असंतृप्त विलयन कहलाता है। संतृप्त अवस्था में विलयन बिना घुले विलेय के साथ गतिक साम्य में होता है।

विलेयता को प्रभावित करने वाले कारक

किसी ठोस विलेय की उपयुक्त विलायक में विलेयता/घुलनशीलता अनेक कारकों पर निर्भर करती है, जिनका संक्षिप्त वर्णन निम्न प्रकार हैः



चित्र 3 – विलीनीकरण एवं क्रिस्टलीकरण

• **विलेय एवं विलयन की प्रकृति :** प्रत्येक ठोस दिए गए द्रव में नहीं घुलता, जैसे सोडियम क्लोराइड व शर्करा जल में आसानी से घुल जाते हैं, और नैफ्थलीन और एन्थ्रासीन, बैंजीन में आसानी से घुल जाते हैं जबकि सोडियम क्लोराइड व शर्करा नहीं घुलते। यह देखा गया है कि ध्रुवीय विलेय ध्रुवीय विलायकों में सरलता से घुलते हैं जबकि अध्रुवीय विलेय अध्रुवीय विलायकों में। सामान्यतः एक विलेय विलायक में घुल जाता है यदि दोनों में अंतरणविक अन्योन्यक्रिया सामान हो। अतः यह कहा जा सकता है की समान-समान को घोलता है।

• **ताप का प्रभाव :** ठोसों की द्रवों में विलेयता पर ताप परिवर्तन का महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ता है। ताप बढ़ाने के फलस्वरूप विलेय व विलायक की गतिज ऊर्जा बढ़ जाती है। समीकरण (1) द्वारा प्रदर्शित साम्य के अनुसार, गतिक साम्य होने के कारण इसे ला-शातैलि, नियम का पालन करना चाहिए। सामान्यतः यदि निकट संतृप्तता प्राप्त विलयन में विलेय घुलने की प्रक्रिया ऊष्माशोषी हो तो ताप के बढ़ने पर विलेयता बढ़नी चाहिए और यदि यह ऊष्माक्षेपी हो तो विलेयता कम होनी चाहिए, ऐसा प्रयोगात्मक रूप में भी देखा गया है।

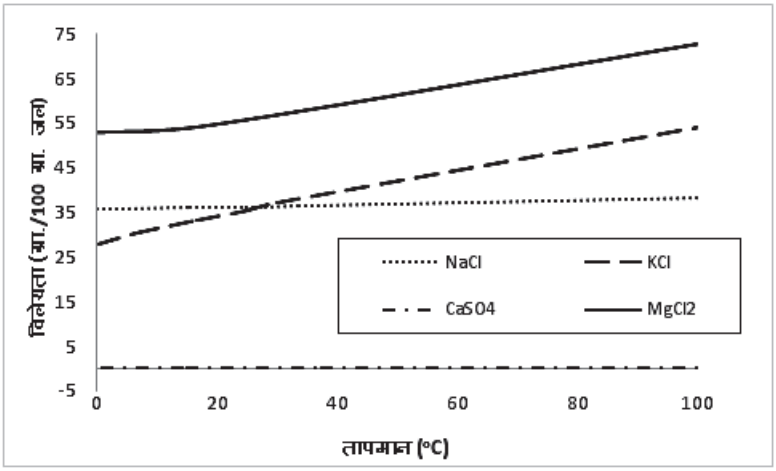
• **दाब का प्रभाव :** ठोसों की द्रवों में विलेयता पर दाब का कोई प्रभाव नहीं होता ऐसा इसलिए है क्योंकि ठोस एवं द्रव अत्यधिक असंपीड्य होते हैं एवं दाब परिवर्तन से सामान्यतः अप्रभावित रहते हैं।

विलेयता वक्र

प्रत्येक पदार्थ की एक विलयन में विशिष्ट विलेयता होती है और प्रायः 100 ग्राम विलायक में घुली विलेय के ग्राम मात्रा के रूप में व्यक्त की जाती है। विलेयता प्रायः तापमान बढ़ाने पर बढ़ती है। उदाहरणतः NaCl की जल में विलेयता 0^oC पर 35. 7 ग्रा./100 ग्रा. होती है, जब कि 100^oC पर 38.4 ग्रा./100 ग्रा. होती है।[2]

विलेयता और तापमान के मध्य खींचा गया वक्र, विलेयता वक्र कहलाता है। यह किसी अवयव की विलेयता पर ताप के प्रभाव को प्रदर्शित करता है। चित्र-4 में विभिन्न अकार्बनिक लवणों के विलेयता वक्र दिखाये गए हैंः

अलग-अलग पदार्थ एक ही विलायक में अलग-अलग घुलनशीलता व्यवहार दिखाते हैं। जैसे कि अकार्बनिक लवण NaCl, $CaSO_4$, KCl, एवं $MgCl_2$ की जल में विलेयता अलग-अलग होती है (चित्र- 4)। अन्य लवणों की तुलना में $CaSO_4$ में की घुलनशीलता काफी कम होती है। जबकि NaCl की घुलनशीलता ताप के साथ



चित्र 4 – अकार्बनिक लवणों का विलेयता वक्र

अपेक्षाकृत बहुत कम परिवर्तित होती है। पदार्थों के ऐसे भिन्न विलेयता व्यवहार का उपयोग किसी मिश्रण से उनके पृथक्करण के लिए किया जाता है। उदाहरणतः, समुद्री जल से नमक व अनेक समुद्री रसायनों का निष्कर्षण इसी सिद्धांत पर कार्य करता है।

ठोस के द्रवीय विलयन एवं संबंधित प्रक्रियाओं के अनुप्रयोग

• विलयन के क्रिस्टलीकरण/विक्षेपण से उत्पाद निर्माण : ठोसों के द्रवीय विलयनों का प्रयोग विभिन्न रसायन निर्माण में होता है। उदाहरण के लिए, समुद्री जल, जो कि अनेक लवणों (सोडियम, मैग्नीशियम, पोटैशियम, कैल्शियम आदि) के क्लोराइड व सल्फेट का मिश्रण है, से नमक एवं समुद्री रसायनों का निर्माण किया जाता है। जब समुद्री जल को विभिन्न चरणों में वाष्पित किया जाता है तो अलग-अलग प्रकार के शुद्ध व मिश्रित लवण प्राप्त होते हैं। इस प्रकार प्राप्त लवणों का पृथक्करण सांद्र विलयन में उनकी विलेयता एवं संतृप्ता पर आधारित होता है (चित्र-4)। समुद्री जल या ब्राइन, जिसकी सांद्रता लगभग 3.5 भार % होती है, को वाष्पित करने पर 11 से 25 भार % सांद्रता पर जिप्सम ($CaSO_4.2H_2O$) एवं 25 से 29 भारः सांद्रता पर नमक (NaCl) प्राप्त होता है। इन रसायनों के निष्कासन के उपरांत शेष द्रव को बिटर्न कहते हैं। वस्तुतः बिटर्न लवण उद्योगों का एक उच्छिष्ट द्रव है जिसको पुनः वाष्पीकृत करने से कार्नेलाइट या काइनाइट प्रकार के मिश्रित क्षार मिलते हैं जिनसे अंततः शुद्ध पोटैशियम सल्फेट उर्वरक प्राप्त होता है।[3] कई प्रक्रियाओं में बिटर्न अथवा समुद्री ब्राइन में घुले मैग्नीशियम क्लोराइड की कैल्शियम हाइड्रॉक्साइड द्वारा अभिक्रिया से मैग्नीशियम हाइड्रोक्साइड का उत्पादन होता है। चूंकि मैग्नीशियम हाइड्रोक्साइड की विलेयता, मैग्नीशियम क्लोराइड और कैल्शियम हाइड्रोक्साइड की तुलना में काफी कम होती है अतः यह विलयन से विक्षेपित हो जाता है।[4]

• विलयन में विद्युत अपघटन प्रक्रियाएं : ठोस के द्रवीय विलयनों का अभिप्रयोग अनेक विद्युत अपघटन प्रक्रियाओं में भी होता है, जिस पर अनेक रसायन उद्योगों में उपयोगिता है। जैसे कि क्लोर-क्षार उद्योग सोडियम क्लोराइड के विद्युत अपघटन पर आध ारित है। वस्तुतः जब सोडियम क्लोराइड का विद्युत अपघटन किया जाता है तो क्लोरीन गैस, हाइड्रोजन गैस, तथा कास्टिक सोडा (सोडियम हाइड्रोक्साइड) बनते हैं। कास्टिक सोडा का उपयोग सोडा बनाने में, वस्त्र उद्योग में तथा पेट्रोलियम को शुद्ध करने में किया जाता है। क्लोरीन को हाइड्रोकार्बनों से संयुक्त कराकर क्लोरो-हाइड्रोकार्बन बनाये जाते हैं। स्वयं क्लोरीन जल को शुद्ध एवं स्वच्छ बनाने में काम में लाई जाती हैं।

सोडियम क्लोरेट ($NaClO_3$) का निर्माण सोडियम डाइक्रोमेट मिश्रित संतृप्त व अम्लीकृत ब्राइन (NaCl विलयन) के विद्युत अपघटन द्वारा होता है।[4]

• विलयन में रासायनिक अभिक्रियाएं : कई ठोस खनिज पदार्थ, जल (या अन्य विलायक) में डालने पर रासायनिक अभिक्रिया द्वारा एक नया अवयव बनाते हैं। जैसे कि चूना पत्थर मुख्यतः कैल्शियम कार्बोनेट ($CaCO_3$) होता है जिसे गर्म करने पर चूना (CaO: कैल्शियम ऑक्साइड) बनता है और कार्बन डाइऑक्साइड गैस निकलती है। चूने की जल से क्रिया द्वारा बुझा चुना ($Ca(OH)_2$: कैल्शियम हाइड्रॉक्साइड) बनता है। इससे मकानों पर सफेदी की जाती है। चूने को कोयले के साथ मिलकर गर्म करने पर कैल्शियम कार्बाइड बनता है जिससे एसिटिलीन गैस बनाई जाती है।

$$CaCO_3 \Leftrightarrow CaO + CO_2 \quad \ldots(2)$$

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \quad \ldots(3)$$

अमोनियम सल्फ़ेट (एक मुख्य उर्वरक) का निर्माण जिप्सम ($CaSO_4 .2H_2 O$) एवं अमोनियम कार्बोनेट के जलीय विलयन की रासायनिक क्रिया द्वारा होता है। इस अभिक्रिया के द्वारा कैल्शियम कार्बोनेट अवक्षेपित होता है एवं शेष द्रव अमोनियम सल्फ़ेट विलयन होता है।[4]

$$(NH_4)_2 CO_3 \text{ (जलीय)} + CaSO_4 .2H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O + (NH_4)_2 SO_4 \text{ (जलीय)} \quad \ldots(4)$$

साबुन जो एक प्रकार का अपमार्जक या डिटर्जेंट होता है, वसा या तेल को कास्टिक सोडा विलयन के साथ गर्म करके बनाया जाता है। उच्च वसीय अम्लों के ग्लिसरॉल एस्टर सोडियम हाइड्रॉक्साइड के जलीय विलयन के साथ क्रिया करने पर साबुन का निर्माण होता है।[3]

• खनिज/अयस्क सज्जाकरण में : प्रकृति में उपस्थित खनिज व अयस्क प्रायः ठोस मिश्रण के रूप में पाये जाते हैं। इन मिश्रित खनिज व अयस्कों को अनेक भौतिक व रासायनिक प्रक्रियाओं द्वारा शुद्ध अवयव/पदार्थ प्राप्त किए जाते हैं। इस प्रक्रम में इन ठोसों का द्रवों में विलयन बनाकर अघुलनशील अशुद्धियों को दूर किया जाता है। उदाहरणतः फॉस्फेट चट्टानों को पीसकर, जल द्वारा धोया जाता है एवं स्लाइम अपशिष्ट अलग किया जाता है। इसी प्रकार सिल्विनाइट एवं लेंगबेनाइट के सज्जीकरण से क्रमशः पोटैशियम क्लोराइड एवं पोटैशियम सल्फेट की प्राप्ति होती है, जहाँ विलीनीकरण, पृथक्करण, क्रिस्टलीकरण आदि प्रक्रम प्रयुक्त होते हैं।[4]

निष्कर्ष

यह अध्ययन मुख्य रूप से ठोस पदार्थों के द्रवीय विलयनों की अनेक क्षेत्रों में महत्ता स्थापित करता है। द्रवीय विलयनों के मूल-भूत तत्वों जैसे विलेयता, संतृप्तता, विद्युत-अपघटन, साम्यावस्था आदि की संक्षिप्त व्याख्या प्रस्तुत की गई है।

विभिन्न औद्योगिक क्षेत्रों में ठोस पदार्थों के द्रवीय विलयनों की आवश्यकता एवं उपयोगिता पर भी प्रकाश डाला गया है। अनेक अकार्बनिक लवणों के उत्पादन में विलयन विनिर्माण एवं अनुवर्ती प्रक्रियाओं (जैसे क्रिस्टलीकरण, विद्युत-अपघटन, रासायनिक अभिक्रियाओं) के उदाहरण भी प्रस्तुत किए गए हैं। निश्चय ही ठोस पदार्थों के द्रवीय विलयनों की मानव जीवन में बहुत उपयोगिता है।

संदर्भ

1. बहल अरुण, बहल बीएस, तुली जीडी, एवं चंद एस, *एसेंशियल्स ऑफ फ़िजिकल कैमिस्ट्री*
2. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov
3. ओझा डीडी एवं भट्ट दिना, *उपयोगी रसायन और जीवन*, साइंटिफिक पब्लिशर इंडिया
4. शिरीव्स कैमिकल प्रोसैस इंडस्ट्रीज़ (पाँचवा अनुकरण), McGraw-Hill इंटरनेशनल एडिशन