3

रासायनिक रससमीकरणमिति

3.1 भूमिका

हम जानते हैं कि परमाणु साधारण पूर्णानुपात में अभिक्रिया करके अणु बनाते हैं। उदाहरण के लिए हाइड्रोजन और ऑक्सीजन के परमाणु 2 : 1 के अनुपात में संयोग करके जल, H_2O, बनाते हैं। किन्तु परमाणुओं के अतिसूक्ष्म होने के कारण उनके स्तर पर अभिक्रियाओं का अध्ययन करना संभव नहीं है। प्रयोगशाला में उनके आमाप में वृद्धि करने की आवश्यकता है ताकि हम उन्हें देख सकें और उनका भार ज्ञात कर सकें। यह **मोल संकल्पना** की सहायता से सम्भव है जिसमें तोलकर अपेक्षित परमाणुओं/अणुओं की संख्या ली जा सकती है। (देखिए पाठ-2) प्रयोगशाला में रासायनिक यौगिकों का अध्ययन करने के लिए उन पदार्थों की मात्राओं की जानकारी आवश्यक है जिनके परस्पर क्रिया होनी है। रससमीकरणमिति (स्टॉइकियोमिट्री) जिसे ग्रीक शब्द Stoichein = तत्व और metron = नापना से लिया गया) वह शब्द है जिसका प्रयोग रासायनिक अभिक्रियाओं और यौगिकों के मात्रात्मक अध्ययन के लिए किया जाता हैं। इस पाठ में आप पढ़ेंगे कि रासायनिक सूत्रों का निर्धारण कैसे किया जाता है और रासायनिक समीकरण की सहायता से अभिकारकों की उन मात्राओं की प्रागुक्ति कैसे की जाती है जिन्हें पूर्ण अभिक्रिया के लिए परस्पर मिलाया जाना चाहिए। दूसरे शब्दों में किसी अभिक्रिया के लिए अभिकारकों की उतनी मात्रा ले सकते हैं कि कोई भी अभिकारक आवश्यकता से अधिक मात्रा में नहीं हो। रसायन में इस पहलू का बड़ा महत्व है और उद्योगों में तो इसका विस्तृत उपयोग होता है।

3.2 उद्देश्य

इस पाठ को पढ़ने के बाद आप

- मूलानुपाती और आणविक सूत्रों की परिभाषा दे सकें,
- मूलानुपाती और आणविक सूत्रों में अंतर बता सकेंगे,

- किसी यौगिक में तत्व के द्रव्यमान प्रतिशत का परिकलन कर सकेंगे, और प्रतिशत संघटन से उसका मूलानुपाती सूत्र ज्ञात कर सकेंगे,
- किसी यौगिक का परमाण्विक, मोलर और द्रव्यमान संबंधी व्यवाख्या कर सकेंगे (यौगिक रसमीकरणमिति)
- संतुलित समीकरण और मोल संकल्पना की मदद से किसी रासायनिक अभिक्रिया में उपयुक्त और निर्मित पदार्थो की मात्रा का परिकलन कर सकेंगे,
- इस बात की व्याख्या कर सकेंगे कि आरंभ में विद्यमान सीमांतकर्मक, निर्मित उत्पाद की मात्रा को सीमित्त कर देता है।

3.3 अणु सूत्र और मूलानुपाती सूत्र

पिछली कक्षाओं में आपने पढ़ा कि किसी पदार्थ का रासायनिक सूत्र कैसे लिखा जाता है। उदाहरण के लिए जल को H_2O द्वारा, कार्बन डाइऑक्साइड को CO_2 द्वारा, मीथेन को CH_4 द्वारा और नाइट्रोजन पेन्टाऑक्साइड को N_2O_5 द्वारा निरूपति किया जाता है। आप जानते हैं कि किसी अणु के सूत्र में उसका प्रतीक लिखा जाता है और पादांक द्वारा उस अणु में विद्यमान भिन्न-भिन्न परमाणुओं की संख्या को बताने के लिए पादांक का उपयोग किया जाता है (पादांक 1 नहीं लिखा जाता है)। ऐसे सूत्र को **अणु-सूत्र** कहते है क्योंकि यह पदार्थ के एक अणु को निरूपित करता है। जल के एक अणु में हाइड्रोजन के दो परमाणु तथा ऑक्सीजन का एक परमाणु होता है अतः उसका अणु-सूत्र H_2O लिखा जाता है। इस प्रकार अणु-सूत्र यह दर्शाता है कि यौगिक के एक अणु में विभिन्न तत्वों के कितने परमाणु विद्यमान है।

एक अन्य प्रकार का सूत्र होता है, जिसे **मूलानुपाती सूत्र** कहते हैं। मूलानुपाती सूत्र किसी यौगिक में विद्यमान विभिन्न तत्वों के परमाणुओं की केवल आपेक्षिक संख्या बतलाता है। ये संख्याएँ सरलतम अनुपात में व्यक्त की जाती हैं। उदाहरण के लिये ग्लूकोज़ का मूलानुपाती सूत्र CH_2O है। उसमें कार्बन, हाइड्रोजन और ऑक्सीजन के परमाणु 1 : 2 : 1 के अनुपात में होते हैं। (मूलानुपाती सूत्र को सरलतम सूत्र भी कहते हैं।) किसी पदार्थ का अणुसूत्र सदैव मूलानुपाती सूत्र का पूर्णांक गुणज होता है। अर्थात् अणु सूत्र = n × मूलानुपाती सूत्र; जिसमें n पूर्णांक है। उदाहरण के लिए ग्लूकोज़ का अणु सूत्र $C_6H_{12}O_6$ है जो उसके मूलानुपाती सूत्र CH_2O का 6 गुना है। अर्थात् मूलानुपाती सूत्र × 6 = अणु सूत्र। इस प्रकार जहाँ मूलानुपाती सूत्र परमाणुओं का अनुपात बतलाता है, वहीं अणु सूत्र किसी अणु में विद्यमान प्रत्येक तत्व के परमाणुओं की वास्तविक संख्या बतलाता है। कुछ उदाहरणों में अणु सूत्र में विद्यमान परमाणुओं के अनुपात को छोटे पूर्णांकों में व्यक्त नहीं किया जा सकता है। ऐसे उदाहरणों में अणु सूत्र और मूलानुपाती सूत्र में कोई अंतर नहीं होता है। उदाहरण के लिए सुक्रोज़ $C_{12}H_{22}O_{11}$ है, जो सामान्य रूप से शक्कर है। कुछ तत्वों के अणुओं में कई परमाणु होते हैं, जैसे P_4 S_8 आदि, उनमें तत्व का प्रतीक हीं मूलानुपाती सूत्र होता है। जैसा कि आप जानते है नमक, जिसका रासायनिक नाम सोडियम क्लोराइड है NaCl से निरूपित किया जाता है। यह लवण आयनी होता है और अणु के रूप में नहीं पाया जाता है। इसलिए NaCl इसका मूलानुपाती सूत्र है जिससे यह स्पष्ट होता है कि उसमें सोडियम और क्लोरीन के परमाणु

1 : 1 के अनुपात में है। अन्य आयनी पदार्थों की स्थिति भी ऐसी ही होती है। KCl, $NaNO_3$, MgO मूलानुपाती सूत्रों के उदाहरण हैं क्योंकि उनके अणु नहीं पाये जाते हैं। तालिका 3.1 में कुछ अन्य उदाहरण दिए गए हैं।

तालिका 3.1

अणु सूत्र और मूलानुपाती सूत्र

पदार्थ	अणु सूत्र	मूलानुपाती सूत्र
अमोनिया	NH_3	NH_3
कार्बन डाइऑक्साइड	CO_2	CO_2
एथेन	C_2H_6	CH_3
फ्रक्टोस	$C_6H_{12}O_6$	CH_2O
गंधक	S_8	S
बेन्जीन	C_6H_6	CH
सोडियम क्लोराइड	–	NaCl
कैल्सिमय ऑक्साइड	–	CaO

3.4 रासायनिक संघटन और सूत्र

मीथेन का अणु सूत्र CH_4 है। उसके एक किलोग्राम में कार्बन की कितनी मात्रा होती है? एक किलोग्राम अमोनिया, NH_3 में कितनी नाइट्रोजन होती है? यदि हम एक पदार्थ बनाएँ जिसमें कार्बन 58.8%, ऑक्सीजन 28.4%, नाइट्रोजन 8.28% और हाइड्रोजन 6.56% हो तो उसका मूलानुपाती सूत्र क्या होगा? आपने परमाणु द्रव्यमान, अणु-द्रव्यमान और मोल की संकल्पना का अध्ययन किया है। क्या आप इन मौलिक संकल्पनाओं की सहायता से उपर्युक्त प्रश्नों को हल कर सकते हैं? उत्तर है, हाँ, परमाणु द्रव्यमान, सूत्र और मोल संकल्पना वे आधारभूत अस्त्र है जिनसे आप इन प्रश्नों को सरलता से हल कर सकते हैं। आइए अब इस पहलू का कुछ विस्तार से अध्ययन कर उसे समझने का प्रयत्न करें।

3.4.1 प्रतिशत संघटन

यदि हमें किसी यौगिक का सूत्र ज्ञात हो तो हम उस यौगिक की किसी विशेष मात्रा में मौजूद प्रत्येक तत्व की मात्रा मालूम कर सकते हैं। ऐलुमिनियम, ऐलुमिनियम ऑक्साइड Al_2O_3 से प्राप्त किया जा सकता है। (Al_2O_3, बॉक्साइट अयस्क के रूप में पाया जाता है।)

सिद्धान्त रूप में इस सूत्र से हम मालूम कर सकते हैं कि ऐलुमिनियम ऑक्साइड की दी गई मात्रा से कितना ऐलुमिनियम प्राप्त किया जा सकता है। इसका परिकलन प्रतिशत संघटन के आधार पर किया जाता है। यह प्रतिशत संघटन यौगिक के कुल द्रव्यमान का प्रतिशत होता है। कुल द्रव्यमान में यौगिक के प्रत्येक तत्व का अंशदान होता है। यौगिक में विद्यमान किसी तत्व का प्रतिशत द्रव्यमान

है। प्रत्येक को उनमें से छोटी संख्या से भाग देने पर हम दोनों संख्याओं को पूर्णांकों में बदल सकते हैं।

$$\frac{11.10}{5.55} = 2 \text{ और } \frac{5.55}{5.55} = 1$$

इस प्रकार हाइड्रोजन और आक्सीजन परमाणुओं का अनुपात 2 : 1 है। और इसलिए जल का मूलानुपाती सूत्र H_2O है। यदि हमें आण्विक द्रव्यमान ज्ञात हो तो भी हम यौगिक का अणु सूत्र ज्ञात कर सकते हैं। प्रयोग द्वारा ज्ञात होता है कि जल का अणु-द्रव्यमान वही होता है जो उसका मूलानुपाती सूत्र द्रव्यमान है। दूसरे शब्दों में जल का अणु सूत्र और मूलानुपाती सूत्र एक ही है। किन्तु एथेन का मूलानुपाती सूत्र CH_3 है और उसका सूत्र द्रव्यमान 15.0 amu है। प्रयोग से ज्ञात होता है कि उसका अण्विक द्रव्यमान 30.0 amu है। इस प्रकार उसके आण्विक द्रव्यमान और मूलानुपाती सूत्र द्रव्यमान का अनुपात 2 हुआ इसलिए इसका अणु सूत्र $(CH_3) \times 2$ या C_2H_6 हुआ। इस प्रकार यदि किसी पदार्थ का मूलानुपाती सूत्र ज्ञात हो तो अणु सूत्र निर्धारित करने के लिए उसका अणु द्रव्यमान ज्ञात होना आवश्यक है।

यहां आपको याद दिलाना आवश्यक है कि जल में हाइड्रोजन और आक्सीजन परमाणु एक निश्चित अनुपात में होते हैं। मोल संकल्पना के आधार पर हम कह सकते है कि H_2O के एक मोल में हाइड्रोजन परमाणु के 2 मोल और आक्सीजन परमाणुओं का 1 मोल होता है। दूसरे शब्दों में जल के एक मोलर द्रव्यमान में (यानी H_2O के 18.0 g में) आक्सीजन के 16.0 g और हाइड्रोजन के 2.0 g विद्यमान है। इस पहलू का अध्ययन **यौगिक रससमीकरणमिति** के अंतर्गत किया जाता है। आप विभिन्न यौगिक लेकर परमाणु द्रव्यमान, अणु द्रव्यमान और मोलर संकल्पना की सहायता से उनकी रससमीकरणमिति ज्ञात कर सकते हैं।

पाठगत प्रश्न 3.1

1. यौगिक Fe_3O_4 में Fe और O का प्रतिशत ज्ञात कीजिए।

2. निम्नलिखित में प्रत्येक का प्रतिशत संघटन ज्ञात कीजिए।
   (अ) $SrCO_3$ में C का (ब) H_2SO_4 में SO_3 का

3. नीचे दिये गए अणु सूत्र वाले पदार्थों के मूलानुपाती सूत्र बताइए।
   H_2O_2, C_6H_{12}, Li_2CO_3, $C_2H_4O_2$, S_8, H_2O, B_2H_6, O_3, S_3O_9, N_2O_3

4. एक यौगिक कार्बन और आक्सीजन केवल दो तत्वों का बना है। यदि इस यौगिक में 53.1% कार्बन है तो उसका मूलानुपाती सूत्र बताइए।

3.6 रासायनिक समीकरण और अभिक्रिया रससमीकरणमिति

आपने पढ़ा कि रासायनिक अभिक्रिया को रासायनिक समीकरण के रूप में लिखा जा सकता है। गुणात्मक दृष्टि से रासायनिक समीकरण केवल यह बतलाता है कि उसके अभिकर्मक और उत्पाद कौन-कौन है। उदाहरण के लिये,

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) \quad ....(3.1)$$

इस अभिक्रिया में लोहा ऑक्सीजन के साथ अभिक्रिया करके आयरन ऑक्साइड बनाता है। मात्रात्मक दृष्टि से एक संतुलित रासायनिक समीकरण अभिक्रिया के अभिकारकों और उत्पादों के गुणों में संख्यात्मक संबंध बतलाता है। इन सम्बंधों के परमाणु, अणु, सूत्र इकाई, आदि सूक्ष्म राशियों के रूप में अथवा परमाणुओं, अणुओं, सूत्र इकाइयों के मोल आदि स्थूल राशियों के रूप में व्यक्त किया जाता है।
समीकरण 3.1 के दो गुणात्मक अर्थ है।

(i) पहला, लोहे के 4 परमाणु, ऑक्सीजन के 3 अणुओं से संयोग करके आयरन ऑक्साइड की 2 सूत्र इकाईयाँ बनाते हैं और दसूरा

(ii) आयरन परमाणुओं के 4 मोल, आक्सीजन अणु के 3 मोलों से संयोग कर आयरन आक्साइड इकाई के 2 मोल बनाते हैं।

संतुलित समीकरण में गुणांक अभिकारकों और उत्पादों की मात्राओं के परस्पर निश्चित अनुपातों को प्रकट करते हैं।

आइए ब्यूटेन के दहन के रासायनिक समीकरण को देखें।

$$2C_4H_{10} + 13O_2 \rightarrow 8CO_2 + 10H_2O \quad .... \quad (3.2)$$

उपर्युक्त समीकरण की व्याख्या इस प्रकार की जा सकती है–

(i) C_4H_{10} के दो अणु + O_2 के 13 अणु $\rightarrow$ CO_2 के 8 अणु + H_2O के 10 अणु

अथवा

(ii) C_4H_{10} के दो मोल + O_2 के 13 मोल $\rightarrow$ CO_2 के 8 मोल + H_2O के 10 मोल

यदि हम इस अभिक्रिया में पदार्थों के मोलर द्रव्यमानों को ज्ञात कर प्रत्येक को संतुलित समीकरण को निरूपित करने वाले मोलों की संख्या से गुणा करें तो हम लिख सकते हैं कि

C_4H_{10} का 116.2g + O_2 का 416.0 g $\rightarrow$ CO_2 का 352.0 g + H_2O का 180.0 g

इस प्रकार किसी संतुलित समीकरण से अभिकारकों और उत्पादों के द्रव्यमानों के परस्पर मात्रात्मक सम्बंध प्राप्त होता है। इस प्रकार हमने देखा कि रससमीकरणमिति, रासायनिक समीकरण पर तथा द्रव्यमान और मोल के बीच सम्बंधों पर आधारित है। रसायन में अधिकांश मात्रात्मक कार्यों के लिए ये परिकलन आधारभूत होते हैं।

3.6.1 रासायनिक समीकरणों की मोलर व्याख्या (पुनरावर्तित)

आइए, हाबर प्रक्रम से अमोनिया के निर्माण पर विचार करें। हम जानते हैं कि उच्च ताप और दाब पर किसी उत्प्रेरक की उपस्थिति में नाइट्रोजन और हाइड्रोजन अभिक्रिया करके अमोनिया बनाते हैं

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g) \quad \text{..............................} \quad (3.3)$$

शायद आपको विदित होगा कि हाइड्रोजन प्राकृतिक गैस अथवा पेट्रोलियम से प्राप्त की जाती है और इसलिए अपेक्षाकृत महँगी होती है। सम्भवतः इसी कारण से अमोनिया की कीमत आंशिक रूप से हाइड्रोजन की कीमत से आँकी जाती है। मान लीजिए कोई आपसे पूछता है कि अमोनिया के एक मेट्रिक टन का उत्पादन करने में कितनी हाइड्रोजन की आवश्यकता होगी ? संपूर्ण रासायनिक अनुसंधान और उद्योग में ऐसे ही प्रश्न उठते रहते हैं। प्रत्येक मात्रात्मक प्रश्न के लिए हमें रासायनिक समीकरण पर विचार करना होगा।

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$$

	नाइट्रोजन का एक अणु	+	हाइड्रोजन के 3 अणु	→	अमोनिया के 2 अणु (आण्विक व्याख्या)
	$1 \times 6.022 \times 10^{23}$ N_2 अणु	+	$3 \times 6.022 \times 10^{23}$ H_2 के अणु	→	$2 \times 6.022 \times 10^{23}$ NH_3 के अणु
अथवा	N_2 का 1 मोल	+	H_2 के 3 मोल	→	NH_3 के 2 मोल (मोलर व्याख्या)
अथवा	28.0 g नाइट्रोजन	+	$3 \times 2.0 = 6g$ हाइड्रोजन	→	$2 \times 17.0 = 34g$ अमोनिया (द्रव्यमान व्याख्या)

यदि हमसे पूछा जाए कि 6.0 g हाइड्रोजन से नाइट्रोजन के कितने ग्राम अभिक्रिया करेंगे, तो हम संतुलित रासायनिक समीकरण देखकर उत्तर दे सकते हैं कि 28.0 g N_2। इस प्रकार हम हाइड्रोजन की उस मात्रा का आसानी से परिकलन कर सकते हैं जिससे हाबर प्रक्रम में अमोनिया का 1 मेट्रिक टन (1000 kg) प्राप्त होगा। इस समस्या का हल यह तथ्य है कि अभिक्रिया में शामिल मोलों की संख्या संतुलित समीकरण में गुणांक के समानुपाती होती है।

आइए अमोनिया निर्माण की अभिक्रिया पर विचार करें और 1000 kg अमोनिया को बनाने के लिए आवश्यक हाइड्रोजन की मात्रा का परिकलन करें।

समीकरण (3.3) से ज्ञात होता है कि H_2 के 3 मोलों से NH_3 के 2 मोल बनते हैं। गणितीय समीकरण के रूप में हम इस प्रकार लिख सकते हैं।

$$H_2 \text{ के 3 मोल} \simeq NH_3 \text{ के 2 मोल}$$

($\simeq$ अर्थ है रासायनिक दृष्टि से तुल्य)

हम ऐसा गुणक प्राप्त कर सकते हैं जो हाइड्रोजन के मोलों को अमोनिया के मोलों में परिवर्तित कर दे (NH_3 के 2 मोल / H_2 के 3 मोल)। अथवा अमोनिया के मोलों को हाइड्रोजन के मोलों में परिवर्तित कर दे (H_2 का 3 मोल / NH_3 का 2 मोल)। अब हम हाइड्रोजन की उस मात्रा का परिकलन करते है जो NH_3 के 1000 kg प्राप्त करने के लिए आवश्यक है। रासायनिक समीकरण NH_3 के मोलों का H_2 के मोलों के साथ सीधा संबंध बतलाता है। सबसे पहले हम अमोनिया के ग्रामों को अमोनिया के मोलों में बदलते हैं

$$1.0 \times 10^6 \text{ g } NH_3 \times \frac{1 \text{ मोल } H_2}{17.0 \text{ g } NH_3} = 5.88 \times 10^4 \text{ मोल } NH_3$$

रासायनिक समीकरण से हमे मालूम होता है कि NH_3 के 2 मोलों के लिए हाइड्रोजन के 3 मोलों की आवश्यकता होती है। इस जानकारी के आधार पर हम NH_3 के मोलों को हाइड्रोजन के मोलों में परिवर्तित कर लेते हैं।

$$5.88 \times 10^4 \text{ मोल } NH_3 \times \frac{3 \text{ मोल } H_2}{2 \text{ मोल } NH_3} = 8.82 \times 10^4 \text{ मोल } H_2$$

अब हम हाइड्रोजन के मोलों को H_2 के ग्रमों में बदल देते हैं।

$$8.82 \times 10^4 \text{ मोल } H_2 \times \frac{2.0 \text{ g } H_2}{1 \text{ मोल } H_2} = 1.76 \times 10^5 \text{ g } H_2$$

उदाहरण 3.2 : जब लेड सल्फाइड, PbS और लेड ऑक्साइड, PbO को एक साथ गर्म किया जाता है तो लेड धातु और सल्फर डाइआक्साइड SO_2, उत्पाद प्राप्त होते हैं।

$$PbS(s) + 2\,PbO(s) \xrightarrow{\text{उष्मा}} 3\,Pb(s) + SO_2(g)$$

यदि उपर्युक्त अभिक्रिया के अनुसार लेड ऑक्साइड के 14.0 g अभिक्रिया करें तो कितने

(अ) लेड परमाणुओं के मोल

(ब) ग्राम लेड

(स) लेड परमाणु, और

(द) ग्राम सल्फर डाइऑक्साइड

बनते हैं? (परमाणु द्रव्यमान Pb = 207.0, S = 32.1, O = 16.0)

हल : प्रश्न के प्रत्येक भाग के लिए हम संतुलित समीकरण का उपयोग करेंगे

$$PbS(s) + 2\,PbO(s) \xrightarrow[\text{करने पर}]{\text{गरम}} 3Pb(s) + SO_2(g)$$

1 मोल 2 मोल 3 मोल 1 मोल

PbO का सूत्र द्रव्यमान = (207.0 + 16.0) = 223.0 amu

अतः PbO के सूत्र इकाई के एक मोल का द्रव्यमान = 223.0 g

इस लिए 14.0 g PbO में

$$14.0\text{ g PbO} \times \frac{1\text{ मोल PbO सूत्र इकाईयां}}{223.0\text{ g PbO}} = 6.28 \times 10^{-2}\text{ मोल PbO सूत्र इकाईयां}$$

(अ) संतुलित समीकरण से यह पता चलता है कि PbO सूत्र इकाइयों के 2 मोल, लेड परमाणुओं के 3 मोल बनाते हैं। इसलिए PbO सूत्र इकाइयों के 6.28 x 10^{-2} मोल से प्राप्त लेड परमाणु इस प्रकार होंगे

$$6.28 \times 10^{-2}\text{ PbO मोल सूत्र इकाइयां} \times \frac{\text{Pb परमाणु के 3 मोल}}{\text{PbO सूत्र इकाइयों के 2 मोल}}$$

$$= 9.42 \times 10^{-2}\text{ मोल Pb परमाणु}$$

(ब) लेड का परमाणु द्रव्यमान 207.0 है। इससे ज्ञात होता है कि लेड परमाणु के एक मोल का द्रव्यमान 207.0 g है। अतः 9.42 x 10^{-2} मोल लेड के परमाणुओं का द्रव्यमान इस प्रकार होगा :

$$9.42 \times 10^{-2}\text{ मोल Pb परमाणु} \times \frac{207.0\text{ g Pb}}{1\text{ मोल Pb परमाणु}} = 19.5\text{ g Pb}$$

(स) लेड परमाणुओं के 9.42 x 10^{-2} मोल

$$= 9.42 \times 10^{-2}\text{ मोल Pb परमाणु} \times \frac{6.022 \times 10^{23}\text{ Pb परमाणु}}{1\text{ मोल Pb परमाणु}}$$

$$= 5.67 \times 10^{22}\text{ Pb परमाणु}$$

(द) संतुलित समीकरण से ज्ञात होता है कि PbO सूत्र इकाइयों के 2 मोल SO_2 अणुओं का 1 मोल बनाते हैं। इसलिए PbO सूत्र इकाइयों के 6.28 x 10^{-2} मोल से

$$6.28 \times 10^{-2}\text{ मोल PbO सूत्र इकाइयां} \times \frac{SO_2\text{ सूत्र का 1 मोल}}{\text{PbO सूत्र इकाइयों के 2 मोल}}$$

$$= 3.14 \times 10^{-2}\text{ मोल } SO_2\text{ अणु प्राप्त होंगे।}$$

अब SO_2 का आण्विक द्रव्यमान = 32.1 + 2 (16.0) = 64.1

SO_2 अणुओं के 1 मोल का द्रव्यमान 64.1 g है।

इसलिए SO_2 अणुओं के 3.14×10^{-2} मोलों का द्रव्यमान

$$= 3.14 \times 10^{-2} \text{ मोल } SO_2 \text{ अणु} \times \frac{64.1 \text{ g } SO_2}{1 \text{ मोल } SO_2 \text{ अणु}}$$

$$= 2.01 \text{ g } SO_2$$

पाठगत प्रश्न 3.2

(1) $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

इस अभिक्रिया के अनुसार (अ) 0.207 g मोल N_2 (ब) 22.6 g H_2 से NH_3 के कितने ग्राम बनेंगे ?

(2) $C_2H_4(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(l)$

इस अभिक्रिया में (अ) O_2 के अणुओं के कितने मोल उपयुक्त होंगे ? (ब) यदि C_2H_4 अणुओं के 4.16×10^{-2} मोल अभिक्रिया करें तो H_2O के अणुओं के कितने मोल बनेंगे ?

3.7 सीमांत अभिकारक

साधारणतया हमें ज्ञात होता है कि जो पदार्थ एक दूसरे से अभिक्रिया करते हैं वे सुतुलित समीकरण के अनुसार ठीक उसी अनुपात में विद्यमान नहीं होते हैं जिसमें होना चाहिए। उदाहरण के लिये यदि हाइड्रोजन के 2 मोल और आक्सीजन के एक मोल को आपस में मिलाकर मिश्रण में स्फुलिंग (चिनगारि) प्रवाहित की जाए तो जल बनाता है। समीकरण के अनुसार

$$\underset{\text{2 मोल}}{2H_2} + \underset{\text{1 मोल}}{O_2} \longrightarrow \underset{\text{2 मोल}}{2H_2O}$$

यहाँ हाइड्रोजन के 2 मोल आक्सीजन के केवल 1 मोल से अभिक्रिया करते हैं और इस प्रकार आक्सीजन का 1 मोल अनाभिकृत रह जाता है। इस उदाहरण में हाइड्रोजन को **सीमांत अभिकारक** कहा जाता है क्योंकि हाइड्रोजन की सांद्रता शून्य हो जाती है और दूसरे अभिकारक यानी आक्सीजन के पूर्णतया प्रयुक्त होने से पहले ही अभिक्रिया रूक जाती है। इस तरह हाइड्रोजन की प्रारंभ में विद्यमान मात्रा उत्पाद की मात्रा को सीमित कर देती है।

उदाहरण 3.3 : SO_2 के 3 मोल, आक्सीजन के O_2 के 2 मोलों से अभिक्रिया करके SO_3 बनाते हैं। इस अभिक्रिया में

(i) सीमांत अभिकर्मक क्या हैं?

(ii) SO_3 की अधिकतम कितनी मात्रा बनेगीं?

हल : सबसे पहले हम संतुलित समीकरण लिखते हैं

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$$

SO_2 के 2 मोल आक्सीजन के 1 मोल से संयोग करके SO_3 के 2 मोल बनाते हैं और O_2 का1 मोल SO_3 के 2 मोल देता है। लेकिन हमारे पास SO_2 के 3 मोल और आक्सीजन (O_2) के 2 मोल हैं, अतः SO_3 की संगत मात्राएं इस प्रकार होगी :

$$(3 \text{ मोल } SO_2) \times \frac{2 \text{ मोल } SO_3}{2 \text{ मोल } SO_2} = 3 \text{ मोल } SO_3$$

$$(2 \text{ मोल } O_2) \times \frac{2 \text{ मोल } SO_3}{1 \text{ मोल } O_2} = 4 \text{ मोल } SO_3$$

जो अभिकारक उत्पाद की न्यूनतम मात्रा बनाता है वह सीमांत अभिकारक कहलाता है। इस अभिक्रिया में SO_2 सीमांत अभिकारक है।

(ii) किसी अभिक्रिया में सीमांत अभिकारक द्वारा निर्मित मात्रा उत्पाद की अधिकतम मात्रा होती है। इस प्रकार SO_3 की अधिकतम प्राप्त मात्रा 3 मोल है।

3.8 आपने पढ़ा कि

- रासायनिक सूत्र न केवल यौगिक का नाम बतलाता है बल्कि वह (i) परमाणुओं की आपेक्षिक संख्या (ii) परमाणुओं के मोलों की आपेक्षिक संख्या के रूप में उसके संघटन को भी व्यक्त करता है।
- अणु सूत्र अणुओं के एक मोल में (i) परमाणुओं की संख्या (ii) अणुओं के एक मोल में परमाणुओं के मोलों की संख्या बतलाता है।
- मूलानुपाती सूत्र (i) परमाणुओं का अनुपात और (ii) यौगिक में परमाणुओं के मोलों का अनुपात बतलाता है।
- अणु सूत्र, मूलानुपाती सूत्र का पूर्णांक गुणज होता है।
- किसी यौगिक के मूलानुपाती सूत्र को उसके रासायनिक विश्लेषण द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।
- किसी यौगिक का अणु सूत्र ज्ञात करने के लिए उसका अणु द्रव्यमान मालूम होना चाहिए।
- रससमीकरणमिति के अंतर्गत रासायनिक यौगिकों के संघटन का मात्रात्मक अध्ययन (यौगिक अथवा सूत्र रससमीकरणमिति) तथा रासायनिक अभिक्रियाओं में उपयुक्त अथवा निर्मित पदार्थों का मात्रात्मक अध्ययन (अभिक्रिया अथवा समीकरण रससमीकरणमिति) किया जाता है।

- रासायनिक समीकरण द्वारा न केवल अभिक्रिया में बनने या उपयुक्त होने वाले पदार्थों की पहचान की जा सकती है बल्कि सत्ताओं के रूप में पदार्थों की आपेक्षिक मात्राओं को (अ) परमाणु, अणु और सूत्र इकाई के रूप में (ब) मोलों के रूप में भी व्यक्त किया है।
- एक संतुलित समीकरण प्रदर्शित करता है कि अभिकारकों में विद्यमान सभी परमाणु उत्पादों में विद्यमान है क्योंकि किसी अभिक्रिया में न तो परमाणु बनते हैं और न ही नष्ट होते हैं।
- किसी संतुलित समीकरण में अभिकारकों के मोलों के रससमीकरणमितीय अनुपात यह ज्ञात करने में उपयोगी होता है कि कौन सा पदार्थ पूर्णतया उपयुक्त हो गया है और कौन सा पदार्थ शेष बच गया है।

पाठांत प्रश्न

1. निम्न यौगिकों के मूलानुपाती सूत्र लिखिये
   $CO, Na_2SO_3, C_4H_{10}, H_2O_2, KCl$

---

2. ग्लूकोस का मूलानुपाती सूत्र CH_2O है जिसका सूत्र द्रव्यमान 30 amu है। यदि ग्लूकोस का आण्विक द्रव्यमान 180 amu हो तो उसका अणु सूत्र ज्ञात कीजिए।

---

3. NO और N_2O_3 यौगिकों में आक्सीजन के उन द्रव्यमानों का अनुपात बतलाइए जो नाइट्रोजन के 1.0 g के साथ संयुक्त है।

---

4. एक यौगिक में गंधक और आक्सीजन हैं विश्लेषण करने पर यह ज्ञात होता है कि उसमें द्रव्यमान की दृष्टि से 50.1% गंधक और 49.9% आक्सीजन है। यौगिक सरलतम सूत्र बताइए।

---

5. हाइड्रोकार्बन, हाइड्रोजन और कार्बन से बने कार्बनिक यौगिक होते हैं। एक शुद्ध हाइड्रोकार्बन के 0.1647 g नमूने को दहन नली में जलाने पर 0.5694 g CO_2 और 0.0826 g H_2O उत्पन्न होता है। हाइड्रोकार्बन में इन तत्वों का प्रतिशत ज्ञात कीजिए।

---

6. एक कार्बन, हाइड्रोजन और आक्सीजन से बने यौगिक का 2.4 g दहन करने पर 3.52 g CO_2 और 1.44 g H_2O प्राप्त हुआ। यौगिक का आपेक्षिक आण्विक द्रव्यमान 60 पाया गया।
   (अ) यौगिक के 2.4 g में कार्बन, हाइड्रोजन और आक्सीजन के द्रव्यमान परिकलित कीजिए।
   (ब) यौगिक के मूलानुपाती सूत्र और अणु सूत्र बताइए।

---

7. (i) निम्नलिखित अभिक्रिया में CH_4 के 24 ग्राम से पूर्ण अभिक्रिया करने के लिए ऑक्सीजन के कितने ग्रामों की आवश्यकता होगी ?

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2 + 2H_2O(l)$$

(ii) ऊपर दिए गए अभिक्रिया के अनुसार O_2 के 96 g के साथ अभिक्रिया के लिए CH_4 के कितने ग्राम की आवश्यकता होगी ?

---

8. निम्नलिखित अभिक्रिया में हाइड्रोजन के 0.245g से पूर्ण रूप से अभिक्रिया करने के लिए Cl_2 के कितने ग्रामों की आवश्यकता होगी ? कितना HCl बनेगा ?

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$$

---

9. 3.65 g H_2 और 26.7 g O_2 को परस्पर मिलाकर अभिक्रिया करने से H_2O के कितने ग्राम बनेंगे ?

अपने उत्तरों की जाँच कीजिए

पाठगत प्रश्न 3.1

1. Fe_3O_4 का मोलर द्रव्यमान $= 3 \times 56.0 + 4 \times 16.0 = 168.0 + 64.0 = 232.0$ g

Fe का प्रतिशत $= \dfrac{168.0}{232.0} \times 100\% = 72.41\%$

O का प्रतिशत $= \dfrac{64.0}{232.0} \times 100\% = 27.58\%$

2(a) $SrCO_3$ का मोलर द्रव्यमान $= 87.6 + 12.0 + 48.0 = 147.6$ g

$SrCO_3$ में C का प्रतिशत $= \dfrac{12.0}{147.6} \times 100\% = 8.13\%$

(b) H_2SO_4 का मोलर द्रव्यमान $= 2.0 + 32.1 + 64.0 = 98.1$ g

SO_3 का मोलर द्रव्यमान $= 32.1 + 48.0 = 80.1$ g

H_2SO_4 में SO_3 का प्रतिशत $= \dfrac{80.1}{98.1} \times 100\% = 81.65\%$

3. पदार्थ	मूलानुपाती सूत्र
H_2O_2	HO
C_6H_{12}	CH_2
Li_2CO_3	Li_2CO_3
$C_2H_4O_2$	CH_2O
S_8	S
H_2O	H_2O
B_2H_6	BH_3
S_3O_9	SO_3
N_2O_3	N_2O_3

4. C का प्रतिशत = 53.1%

O का प्रतिशत = 46.9%

यदि हम 100g पदार्थ लेते हैं तो

C का मोल $= \dfrac{53.1}{12.0} = 4.43$ mol

O का मोल $= \dfrac{46.9}{16.0} = 2.93$ mol

C और O का मोलर अनुपात $= \frac{4.43}{2.93} : \frac{2.93}{2.93}$

$= 1.50 : 1.0$

पदार्थ का मूलानुपाती सूत्र $(C_{1.5}O)_2 = C_3O_2$

पाठगत प्रश्न 3.2

1. दिए गए अभिक्रिया में

   $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

   1मोल 3मोल 2मोल

   0.207 मोल N_2, 0.414 मोल NH_3 बनाता है

   NH_3 का 0.414 मोल $= 0.414 \times 17.0 = 7.03g\ NH_3$

   H_2 का 22.6g $= \frac{22.6}{2.0} = 11.3$ मोल H_2

   H_2 का 11.3 मोल, $\frac{2}{3} \times 11.3$ मोल NH_3 बनाता है

   $= 7.46$ मोल NH_3

   अतः NH_3 का द्रव्यमान $= 7.46 \times 17.0g = 126.8g$

2. $C_2H_4(g) + 3O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$

   1मोल 3मोल 2मोल 2मोल

(अ) C_2H_4 के 4.16×10^{-2} मोल अणु O_2 के $3 \times 4.16 \times 10^{-2}$ मोल के साथ अभिक्रिया करता है।

$= 12.48 \times 10^{-2} = 1.248 \times 10^{-1}$ मोल O_2

(ब) H_2O के मोल $= 2 \times 4.16 \times 10^{-2}$ मोल

$= 8.32 \times 10^{-2}$ मोल H_2O

पाठांत प्रश्न

1. CO, Na_2SO_3, C_2H_5, HO, KCl

2. ग्लूकोस का मूलानुपाती सूत्र $= CH_2O$

   ग्लूकोस का मूलानुपाती द्रव्यमान = 30 amu

   ग्लूकोस का आण्विक द्रव्यमान = 180 amu

   आण्विक द्रव्यमान और मूलानुपाती द्रव्यमान का अनुपात

$$= \frac{180}{30} = 6$$

अतः अणु सूत्र = $(CH_2O) \times 6$
= $C_6H_{12}O_6$

3. NO यौगिक में नाइट्रोजन के 14g, ऑक्सीजन के 16g से संयोग करते हैं
NO यौगिक में नाइट्रोजन के 1g, ऑक्सीजन के 16/14g O_2 संयोग करेगा
इसी तरह N_2O_3 यौगिक में नाइट्रोजन के 28g, ऑक्सीजन के 48g से संयोग करते हैं
अतः नाइट्रोजन का 1g, O_2 के 48/28g से संयोग करेगा
आक्सीजन के द्रव्यमानों का अनुपात

$$\frac{16}{14} : \frac{48}{28}$$
या
$$\frac{1}{1} : \frac{3}{2}$$
या
$$1 : \frac{3}{2} \text{ या } 2 : 3$$

(NO में) O के 2 द्रव्यमान इकाइयों और (N_2O_3 में) O के 3 द्रव्यमान इकाइयों के साथ अनुपात

4. यदि हम यौगिक का 100g लें तो प्रतिशत संघटन से पता चलता है कि इसमें गंधक के 50.1g और आक्सीजन के 9.9g है। परमाणु द्रव्यमान सारणी से हम पाते हैं कि गंधक परमाणुओं के 1 मोल का द्रव्यमान 32.1g और आक्सीजन परमाणुओं का 1 मोल का द्रव्यमान 16.0g होता है।
रूपांतरण गुणक का इस्तेमाल करते हुए

$$\frac{\text{गंधक परमाणुओं का 1 मोल}}{32.0\text{ g S}} = 1$$

अतः $50.1\text{g S} = \frac{(50.1\text{g S})(1 \text{ मोल S परमाणु})}{32.0\text{ g S}} = $ S परमाणुओं के 1.56 मोल

इसी तरह $49.9\text{g O} = \frac{(49.9\text{g O})(1 \text{ मोल O परमाणु})}{16.0\text{ g O}} = $ O परमाणुओं के 3.11 मोल

इस प्रकार यौगिक में सल्फर परमाणुओं के मोलों और आक्सीजन परमाणुओं के मोलों का अनुपात इस प्रकार है :

$$\frac{1.56}{1.56} : \frac{3.11}{1.56} \text{ या } 1 : 2$$

अतः यौगिक का सरलतम सूत्र SO_2 है।

5. हाइड्रोकार्बन के नमूने का द्रव्यमान = 0.1647g
दहन करने पर 0.1647g नमूने से 0.5694g CO_2 प्राप्त होता है।
इसलिए नमूने में कार्बन का द्रव्यमान

$$= \frac{12.0 \times 0.5694}{44.0} \text{ g}$$

∴ 0.1647 g नमूने से $\frac{12.0 \times 0.5694}{44.0}$ g कार्बन प्राप्त होता है।

∴ नमूने में C का प्रतिशत

$$= \frac{12.0 \times 0.5694}{44.0 \times 0.1647} \times 100\%$$

$$= 94.3\%$$

नमूने में हाइड्रोजन का द्रव्यमान $= \frac{2.0 \times 0.0826}{18.0}$ g

∴ 0.1647g नमूने से $\frac{2.0 \times 0.0826}{18.0}$ g हाइड्रोजन प्राप्त होता है

नमूने में हाइड्रोजन का प्रतिशत

$$= \frac{2.0 \times 0.0826}{18.0 \times 0.1647} \times 100\% = 5.58\%$$

6. CO_2 का आण्विक द्रव्यमान = 12.0 +32.0 = 44.0 amu
H_2O का आण्विक द्रव्यमान = 2.0 + 16.0 = 18.0 amu

(अ) कार्बन का द्रव्यमान $= \frac{12.0 \times 3.52}{44.0}$ g = 0.96g

हाइड्रोजन का द्रव्यमान $= \frac{2.0 \times 1.44}{18.0}$ g = 0.16g

अतः ऑक्सीजन का द्रव्यमान = (2.4 g) – (0.96 + 0.16 g
= 2.4 g – 1.12 g = 1.28 g

(ब) C के मोल $= \frac{0.96\text{g}}{12.0\text{g/मोल}}$ = 0.08 मोल

H के मोल $= \frac{0.16g}{1.0g/\text{मोल}} = 0.16$ मोल

O के मोल $= \frac{1.28g}{16.0g/\text{मोल}} = 0.08$ मोल

C:H:O का मोलर अनुपात $= \frac{0.08}{0.08} : \frac{0.16}{0.08} : \frac{0.08}{0.08}$

$= 1 : 2 : 1$

मूलानुपाती सूत्र $= CH_2O$

मूलानुपाती सूत्र द्रव्यमान $= 12.0 + 2.0 + 16.0 = 30.0$ amu

$$\frac{\text{आपेक्षिक अणु सूत्र द्रव्यमान}}{\text{मूलानुपाती सूत्र द्रव्यमान}} = \frac{60 \text{ amu}}{30 \text{ amu}} = 2$$

अतः अणु सूत्र $= (CH_2O) \times 2$

$= C_2H_4O_2$

7. (i) $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$

1 मोल　　2 मोल　　1 मोल　　2 मोल

16.0g　　64.0g

CH_4 के 24g से अभिक्रिया करने के लिये आवश्यक आक्सीजन का द्रव्यमान

$$= \frac{64.0 \times 24}{16} = 96 \text{ g}$$

(ii) 96g आक्सीजन से अभिक्रिया करने के लिए आवश्यक CH_4 का द्रव्यमान 24 g होगा। यह ऊपर के परिकलन से देखा जा सकता है।

8. (i) $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$

1मोल　　1मोल　　2मोल

2.0g　　71.0g　　73.0g

0.245g हाइड्रोजन से अभिक्रिया करने के लिए क्लोरीन का द्रव्यमान

$$= \frac{71.0 \times 0.245}{2.0} = 8.69 \text{ g}$$

निर्मित HCl का द्रव्यमान $= \dfrac{73.0 \times 0.245}{2.0} = 8.94g$

9. (i) $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$

$2H_2(g)$	$O_2(g)$	$2H_2O(l)$
2मोल	1मोल	2मोल
4.0 g	32.0 g	36.0 g

O_2 के 26.7g के पूरी तरह प्रयुक्त होने पर बने H_2O का द्रव्यमान

$$= \frac{36.0 \times 26.7}{32.0} g$$

$$= 30.1 \, g \, H_2O$$

3.65 g H_2 पूरी तरह से प्रयुक्त होने पर बने H_2O का द्रव्यमान

$$= \frac{36 \, g \times 3.65 \, g}{4.0 \, g} = 32.85 \, g$$

स्पष्ट है कि 26.7 g आक्सीजन से बने H_2O का द्रव्यमान कम है अतः आक्सीजन सीमांत अभिकारक होगा।

इस प्रकार 30.1 g जल प्राप्त होगा।