

## 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 (स्टॉइकियोमित्री) 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 है। 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 व्याख्या कर सकेंगे (यौगिक रसमीकरणमिति)
- संतुलित समीकरण और मोल संकल्पना की मदद से किसी रासायनिक अभिक्रिया में उपयुक्त और निर्मित पदार्थों की मात्रा का परिकलन कर सकेंगे,
- इस बात की व्याख्या कर सकेंगे कि आरंभ में विद्यमान सीमांतकर्मक, निर्मित उत्पाद की मात्रा को सीमित 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 निरूपित 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 हैं 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 हैं।

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 ग्लूकोज 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 =  $n \times$  मूलानुपाती सूत्र; जिसमें  $n$  पूर्णांक है। उदाहरण के लिए ग्लूकोज का अणु सूत्र  $C_6H_{12}O_6$  है जो उसके मूलानुपाती सूत्र  $CH_2O$  का 6 गुना है। अर्थात् मूलानुपाती सूत्र  $\times 6 =$  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 सुक्रोज  $C_{12}H_{22}O_{11}$  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 ही मूलानुपाती सूत्र होता है। जैसा कि आप जानते हैं 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<sub>3</sub>, 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 <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
कार्बन डाइऑक्साइड	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
एथेन	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub>
फ्रक्टोस	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	CH <sub>2</sub> O
गंधक	S <sub>8</sub>	S
बेन्जीन	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	CH
सोडियम क्लोराइड	—	NaCl
कैल्सियम ऑक्साइड	—	CaO

### 3.4 रासायनिक संघटन और सूत्र

मीथेन का अणु सूत्र CH<sub>4</sub> है। उसके एक किलोग्राम में कार्बन की कितनी मात्रा होती है? एक किलोग्राम अमोनिया, NH<sub>3</sub> 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 हैं, हाँ, परमाणु द्रव्यमान, सूत्र और मोल संकल्पना वे आधारभूत अस्त्र हैं 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> से प्राप्त किया जा सकता है। (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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 पूर्णाकों 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  $CH_2$  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  $(CH_2) \times 2$  या  $C_2H_4$  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।

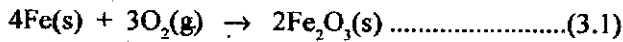
यहां आपको याद दिलाना आवश्यक है कि जल में हाइड्रोजन और आक्सीजन परमाणु एक निश्चित अनुपात में होते हैं। मोल संकल्पना के आधार पर हम कह सकते हैं कि  $H_2O$  के एक मोल में हाइड्रोजन परमाणु के 2 मोल और आक्सीजन परमाणुओं का 1 मोल होता है। दूसरे शब्दों में जल के एक मोल द्रव्यमान में (यानी  $H_2O$  के 18.0 g में) 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 हैं। उदाहरण के लिये,

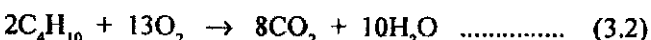


इस अभिक्रिया में लोहा ऑक्सीजन के साथ अभिक्रिया करके आयरन ऑक्साइड बनाता है। मात्रात्मक दृष्टि से एक संतुलित रासायनिक समीकरण अभिक्रिया के अभिकारकों और उत्पादों के गुणों में संख्यात्मक संबंध बतलाता है। इन सम्बंधों के परमाणु, अणु, सूत्र इकाई, आदि सूक्ष्म राशियों के रूप में अथवा परमाणुओं, अणुओं, सूत्र इकाइयों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

- (i) पहला, लोहे के 4 परमाणु, ऑक्सीजन के 3 अणुओं से संयोग करके आयरन ऑक्साइड की 2 सूत्र इकाइयाँ बनाते हैं और दूसरा
- (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।



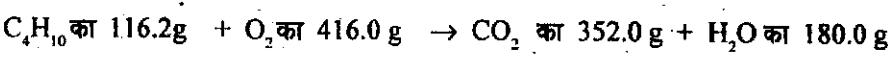
उपर्युक्त समीकरण की व्याख्या इस प्रकार की जा सकती है—

- (i)  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  के दो अणु +  $\text{O}_2$  के 13 अणु  $\rightarrow$   $\text{CO}_2$  के 8 अणु +  $\text{H}_2\text{O}$  के 10 अणु

अथवा

- (ii)  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  के दो मोल +  $\text{O}_2$  के 13 मोल  $\rightarrow$   $\text{CO}_2$  के 8 मोल +  $\text{H}_2\text{O}$  के 10 मोल

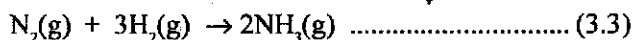
यदि हम इस अभिक्रिया में पदार्थों के मोलर द्रव्यमानों को ज्ञात कर प्रत्येक को संतुलित समीकरण को निरूपित करने वाले मोलों की संख्या से गुणा करें तो हम लिख सकते हैं कि



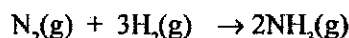
इस प्रकार किसी संतुलित समीकरण से अभिकारकों और उत्पादों के द्रव्यमानों के परस्पर मात्रात्मक सम्बंध प्राप्त होता है। इस प्रकार हमने देखा कि रससमीकरणमिति, रासायनिक समीकरण पर तथा द्रव्यमान और मोल के बीच सम्बंधों पर आधारित है। रसायन में अधिकांश मात्रात्मक कार्यों के लिए ये परिकलन आधारभूत होते हैं।

### 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



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।

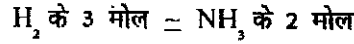


	नाइट्रोजन का एक अणु	+	हाइड्रोजन के 3 अणु	→	अमोनिया के 2 अणु (आणविक व्याख्या)
	$1 \times 6.022 \times 10^{23} +$ $\text{N}_2$ अणु		$3 \times 6.022 \times 10^{23}$ $\text{H}_2$ के अणु	→	$2 \times 6.022 \times 10^{23}$ $\text{NH}_3$ के अणु
अथवा	$\text{N}_2$ का 1 मोल	+	$\text{H}_2$ के 3 मोल	→	$\text{NH}_3$ के 2 मोल (मोलर व्याख्या)
अथवा	28.0 g नाइट्रोजन	+	$3 \times 2.0 = 6\text{g}$ हाइड्रोजन	→	$2 \times 17.0 = 34\text{g}$ 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  $\text{N}_2$ । 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।



(= अर्थ है रासायनिक दृष्टि से तुल्य)

हम ऐसा गुणक प्राप्त कर सकते हैं जो हाइड्रोजन के मोलों को अमोनिया के मोलों से 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 हैं 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

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

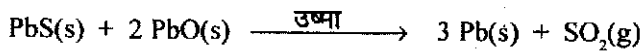
रासायनिक समीकरण से हमें मालूम होता है कि  $NH_3$  के 2 मोलों के लिए हाइड्रोजन के 3 मोलों की आवश्यकता होती है। इस जानकारी के आधार पर हम  $NH_3$  के मोलों को हाइड्रोजन के मोलों में परिवर्तित कर लेते हैं।

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

अब हम हाइड्रोजन के मोलों को  $H_2$  के ग्रामों 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 डाइऑक्साइड  $SO_2$ , उत्पाद प्राप्त होते हैं।



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

(अ) लेड परमाणुओं के मोल

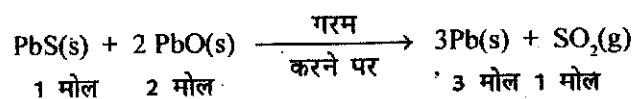
(ब) ग्राम लेड

(स) लेड परमाणु, और

(द) ग्राम सल्फर डाइऑक्साइड

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

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



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 इकाईयों के 2 मोल, लेड परमाणुओं के 3 मोल बनाते हैं। इसलिए PbO सूत्र इकाईयों के  $6.28 \times 10^{-2}$  मोल से प्राप्त लेड परमाणु इस प्रकार होंगे

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

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

(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  $9.42 \times 10^{-2}$  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  $9.42 \times 10^{-2}$  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 इकाईयों के 2 मोल  $\text{SO}_2$  अणुओं का 1 मोल बनाते हैं। इसलिए PbO सूत्र इकाईयों के  $6.28 \times 10^{-2}$  मोल से

$$6.28 \times 10^{-2} \text{ मोल PbO सूत्र इकाईयां} \times \frac{\text{SO}_2 \text{ सूत्र का 1 मोल}}{\text{PbO सूत्र इकाईयों के 2 मोल}}$$

$$= 3.14 \times 10^{-2} \text{ मोल SO}_2 \text{ अणु प्राप्त होंगे।}$$

$$\text{अब SO}_2 \text{ का आणविक द्रव्यमान} = 32.1 + 2(16.0) = 64.1$$

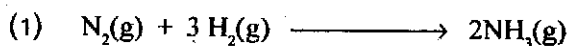
SO<sub>2</sub> अणुओं के 1 मोल का द्रव्यमान 64.1 g है।

इसलिए SO<sub>2</sub> अणुओं के 3.14 × 10<sup>-2</sup> 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



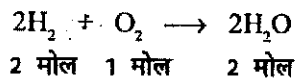
इस अभिक्रिया के अनुसार (अ) 0.207 g मोल N<sub>2</sub> (ब) 22.6 g H<sub>2</sub> से NH<sub>3</sub> के कितने ग्राम बनेंगे ?



इस अभिक्रिया में (अ) O<sub>2</sub> के अणुओं के कितने मोल उपयुक्त होंगे ? (ब) यदि C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> अणुओं के 4.16 × 10<sup>-2</sup> मोल अभिक्रिया करें तो H<sub>2</sub>O 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 स्पुलिंग (चिनगारि) प्रवाहित की जाए तो जल बनाता है। समीकरण के अनुसार

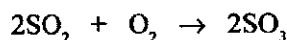


यहाँ हाइड्रोजन के 2 मोल आक्सीजन के केवल 1 मोल से अभिक्रिया करते हैं और इस प्रकार आक्सीजन का 1 मोल अनाभिकृत रह जाता है। इस उदाहरण में हाइड्रोजन को सीमांत अभिकारक कहा जाता है क्योंकि हाइड्रोजन की सांद्रता शून्य हो जाती है और दूसरे अभिकारक यानी आक्सीजन के पूर्णतया प्रयुक्त होने से पहले ही अभिक्रिया रुक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

**उदाहरण 3.3 :** SO<sub>2</sub> के 3 मोल, आक्सीजन के O<sub>2</sub> के 2 मोलों से अभिक्रिया करके SO<sub>3</sub> बनाते हैं। इस अभिक्रिया में

- (i) सीमांत अभिकर्मक क्या हैं ?  
 (ii)  $\text{SO}_3$  की अधिकतम कितनी मात्रा बनेगी ?

हल : सबसे पहले हम संतुलित समीकरण लिखते हैं



$\text{SO}_2$  के 2 मोल आक्सीजन के 1 मोल से संयोग करके  $\text{SO}_3$  के 2 मोल बनाते हैं और  $\text{O}_2$  का 1 मोल  $\text{SO}_3$  के 2 मोल देता है। लेकिन हमारे पास  $\text{SO}_2$  के 3 मोल और आक्सीजन ( $\text{O}_2$ ) के 2 मोल हैं, अतः  $\text{SO}_3$  की संगत मात्राएं इस प्रकार होगी :

$$(3 \text{ मोल } \text{SO}_2) \times \frac{2 \text{ मोल } \text{SO}_3}{2 \text{ मोल } \text{SO}_2} = 3 \text{ मोल } \text{SO}_3$$

$$(2 \text{ मोल } \text{O}_2) \times \frac{2 \text{ मोल } \text{SO}_3}{1 \text{ मोल } \text{O}_2} = 4 \text{ मोल } \text{SO}_3$$

जो अभिकारक उत्पाद की न्यूनतम मात्रा बनाता है वह सीमांत अभिकारक कहलाता है। इस अभिक्रिया में  $\text{SO}_2$  सीमांत अभिकारक है।

- (ii) किसी अभिक्रिया में सीमांत अभिकारक द्वारा निर्मित मात्रा उत्पाद की अधिकतम मात्रा होती है। इस प्रकार  $\text{SO}_3$  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।

### पाठान्त प्रश्न

1. निम्न यौगिकों के मूलानुपाती सूत्र लिखिये  
CO, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KCl

---

2. ग्लूकोस का मूलानुपाती सूत्र CH<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> यौगिकों में आक्सीजन के उन द्रव्यमानों का अनुपात बताइए 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।

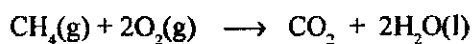
---

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<sub>2</sub> और 0.0826 g H<sub>2</sub>O उत्पन्न होता है। हाइड्रोकार्बन में इन तत्वों का प्रतिशत ज्ञात कीजिए।

---

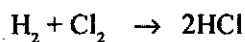
6. एक कार्बन, हाइड्रोजन और आक्सीजन से बने यौगिक का 2.4 g दहन करने पर 3.52 g CO<sub>2</sub> और 1.44 g H<sub>2</sub>O प्राप्त हुआ। यौगिक का आपेक्षिक आण्विक द्रव्यमान 60 पाया गया।  
(अ) यौगिक के 2.4 g में कार्बन, हाइड्रोजन और आक्सीजन के द्रव्यमान परिकलित कीजिए।  
(ब) यौगिक के मूलानुपाती सूत्र और अणु सूत्र बताइए।

7. (i) निम्नलिखित अभिक्रिया में  $\text{CH}_4$  के 24 ग्राम से पूर्ण अभिक्रिया करने के लिए ऑक्सीजन के कितने ग्रामों की आवश्यकता होगी ?



- (ii) ऊपर दिए गए अभिक्रिया के अनुसार  $\text{O}_2$  के 96 g के साथ अभिक्रिया के लिए  $\text{CH}_4$  के कितने ग्राम की आवश्यकता होगी ?

8. निम्नलिखित अभिक्रिया में हाइड्रोजन के 0.245g से पूर्ण रूप से अभिक्रिया करने के लिए  $\text{Cl}_2$  के कितने ग्रामों की आवश्यकता होगी ? कितना  $\text{HCl}$  बनेगा ?



9. 3.65 g  $\text{H}_2$  और 26.7 g  $\text{O}_2$  को परस्पर मिलाकर अभिक्रिया करने से  $\text{H}_2\text{O}$  के कितने ग्राम बनेंगे ?

अपने उत्तरों की जाँच कीजिए

पाठगत प्रश्न 3.1

1.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  का मोलर द्रव्यमान =  $3 \times 56.0 + 4 \times 16.0 = 168.0 + 64.0 = 232.0 \text{ g}$

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

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

2(a)  $\text{SrCO}_3$  का मोलर द्रव्यमान =  $87.6 + 12.0 + 48.0 = 147.6 \text{ g}$

$\text{SrCO}_3$  में C का प्रतिशत =  $\frac{12.0}{147.6} \times 100\% = 8.13\%$

(b)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  का मोलर द्रव्यमान =  $2.0 + 32.1 + 64.0 = 98.1 \text{ g}$

$\text{SO}_3$  का मोलर द्रव्यमान =  $32.1 + 48.0 = 80.1 \text{ g}$

$\text{H}_2\text{SO}_4$  में  $\text{SO}_3$  का प्रतिशत =  $\frac{80.1}{98.1} \times 100\% = 81.65\%$

3. पदार्थ	मूलानुपाती सूत्र
$\text{H}_2\text{O}_2$	HO
$\text{C}_6\text{H}_{12}$	$\text{CH}_2$
$\text{Li}_2\text{CO}_3$	$\text{Li}_2\text{CO}_3$
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	$\text{CH}_2\text{O}$
$\text{S}_8$	S
$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}$
$\text{B}_2\text{H}_6$	$\text{BH}_3$
$\text{S}_3\text{O}_9$	$\text{SO}_3$
$\text{N}_2\text{O}_3$	$\text{N}_2\text{O}_3$

4. C का प्रतिशत = 53.1%

O का प्रतिशत = 46.9%

यदि हम 100g पदार्थ लेते हैं तो

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

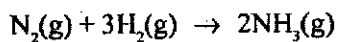
O का मोल =  $\frac{46.9}{16.0} = 2.93 \text{ mol}$

$$\begin{aligned} \text{C और O का मोलर अनुपात} &= \frac{4.43}{2.93} : \frac{2.93}{2.93} \\ &= 1.50 : 1.0 \end{aligned}$$

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

### पाठगत प्रश्न 3.2

1. दिए गए अभिक्रिया में



1मोल      3मोल      2मोल

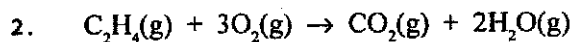
0.207 मोल  $N_2$ , 0.414 मोल  $NH_3$  बनाता है

$NH_3$  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  $= 7.46 \times 17.0g = 126.8g$



1मोल      3मोल      2मोल      2मोल

(अ)  $C_2H_4$  के  $4.16 \times 10^{-2}$  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  $H_2O$

### पाठगत प्रश्न

1.  $CO, Na_2SO_3, C_2H_5, HO, KCl$

2. ग्लूकोस का मूलानुपाती सूत्र  $= CH_2O$

ग्लूकोस का मूलानुपाती द्रव्यमान  $= 30 \text{ amu}$

ग्लूकोस का आण्विक द्रव्यमान  $= 180 \text{ amu}$

आण्विक द्रव्यमान और मूलानुपाती द्रव्यमान का अनुपात

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

$$\begin{aligned} \text{अतः अणु सूत्र} &= (\text{CH}_2\text{O}) \times 6 \\ &= \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \end{aligned}$$

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<sub>2</sub> संयोग करेगा  
 इसी तरह N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> यौगिक में नाइट्रोजन के 28g, ऑक्सीजन के 48g से संयोग करते हैं  
 अतः नाइट्रोजन का 1g, O<sub>2</sub> के 48/28g से संयोग करेगा  
 आक्सीजन के द्रव्यमानों का अनुपात

$$\begin{aligned} \frac{16}{14} &: \frac{48}{28} \\ &\text{या} \\ \frac{1}{1} &: \frac{3}{2} \\ &\text{या} \\ 1 &: \frac{3}{2} \text{ या } 2 : 3 \end{aligned}$$

(NO में) O के 2 द्रव्यमान इकाइयों और (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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

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

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

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

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<sub>2</sub> है।

5. हाइड्रोकार्बन के नमूने का द्रव्यमान = 0.1647g  
 दहन करने पर 0.1647g नमूने से 0.5694g CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> का आणविक द्रव्यमान = 12.0 + 32.0 = 44.0 amu  
 H<sub>2</sub>O का आणविक 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

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

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

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

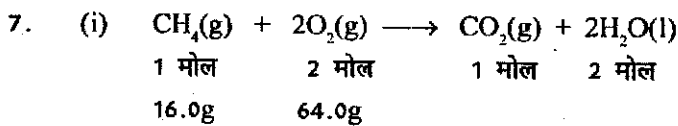
$$= 1 : 2 : 1$$

मूलानुपाती सूत्र =  $\text{CH}_2\text{O}$

मूलानुपाती सूत्र द्रव्यमान =  $12.0 + 2.0 + 16.0 = 30.0 \text{ amu}$

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

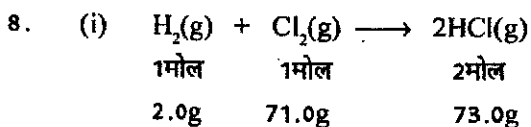
$$\begin{aligned} \text{अतः अणु सूत्र} &= (\text{CH}_2\text{O}) \times 2 \\ &= \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 \end{aligned}$$



$\text{CH}_4$  के 24g से अभिक्रिया करने के लिये आवश्यक आक्सीजन का द्रव्यमान

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

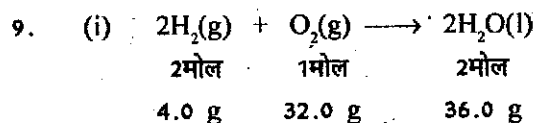
(ii) 96g आक्सीजन से अभिक्रिया करने के लिए आवश्यक  $\text{CH}_4$  का द्रव्यमान 24 g होगा। यह ऊपर के परिकलन से देखा जा सकता है।



0.245g हाइड्रोजन से अभिक्रिया करने के लिए क्लोरीन का द्रव्यमान

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

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



$\text{O}_2$  के 26.7g के पूरी तरह प्रयुक्त होने पर बने  $\text{H}_2\text{O}$  का द्रव्यमान

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

$$= 30.1 \text{ g H}_2\text{O}$$

3.65 g  $\text{H}_2$  पूरी तरह से प्रयुक्त होने पर बने  $\text{H}_2\text{O}$  का द्रव्यमान

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

स्पष्ट है कि 26.7 g आक्सीजन से बने  $\text{H}_2\text{O}$  का द्रव्यमान कम है अतः आक्सीजन सीमांत अभिकारक होगा।

इस प्रकार 30.1 g जल प्राप्त होगा।