1

परमाणु, अणु और रासायनिक अंकगणित

रसायन शास्त्र पदार्थ और उनमें होने वाले परिवर्तनों का अध्ययन है। रसायनशास्त्र प्रायः केंद्रिय विज्ञान कहलाती है क्योंकि रसायन शास्त्र का मूल ज्ञान जीवविज्ञान, भौतिक शास्त्र, भूगर्भ विज्ञान, पारस्थितिकी विज्ञान और बहुत अन्य विषयों के अध्ययन के लिए आवश्यक होता है।

यद्यपि रसायनशास्त्र पुरातन विज्ञान है इसकी आधुनिक आधारशिला उन्नीसवी सदी में डाली गई थी। जैव वैज्ञानिक और तकनीकी वैज्ञानिकों ने पदार्थो के छोटे घटकों में विखंडन का विचार दिया और उनके बहुत से भौतिक और रसायनिक गुणधर्मों का वर्णन किया।

रसायनशास्त्र का विज्ञान और तकनीक के बहुत से क्षेत्रों में बहुत महत्व है। उदाहरण के लिए स्वास्थ, औषधि, ऊर्जा और पर्यावरण, खाद्य, कृषि इत्यादि।

जैसा कि आप जानते हैं कि अणु और परमाणु बहुत छोटे होते हैं, हम उन्हें आँखों से नहीं देख सकते, न ही सूक्ष्मदर्शी की सहायता से। अतः यह आवश्यक है कि द्रव्य के जिस नमूने को हम देख सकें और उपयोग में ला सकें उसमें परमाणुओं/अणुओं की बहुत बड़ी संख्या मौजूद हो। रासायनिक अभिक्रियाओं में परमाणु/अणु एक दूसरे से एक निश्चित संख्या अनुपात में संयुक्त होते हैं। अतः यह उचित होगा कि दिए गए द्रव्य के नमूने में अणुओं/परमाणुओं की कुल संख्या ज्ञात हो। हम दैनिक जीवन में अनेक गणना मात्रक प्रयोग करते हैं। उदाहरण के लिए हम केलों या अंडों की संख्या 'दर्जन' में बतलाते हैं। रसायन विज्ञान में हम जिस गणना मात्रक का प्रयोग करते हैं उसे 'मोल' कहते हैं, यह बहुत बड़ा होता है।

यह **मोल संकल्पना** की सहायता से संभव है जिसमें तोलकर अपेक्षित अणुओं/परमाणुओं की संख्या ली जा सकती है। प्रयोगशाला में रासायनिक यौगिकों का अध्ययन करने के लिए उन पदार्थों की मात्राओं की जानकारी आवश्यक है जिनमें परस्पर क्रिया होनी है। समीकरणमिति (स्टाइकियोमेट्री stoichiometry) जिसे ग्रीक शब्द stoichion = 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।

उद्देश्य

इस पाठ को पढ़ने के बाद आप :

- रसायन शास्त्र के महत्व एवं कार्यक्षेत्र को बता सकेंगे;
- पदार्थ के कणिय प्रकृति का वर्णन कर सकेंगे;
- रासायनिक संयोजन के नियम को बता सकेंगे;
- द्रव्य के परमाणु सिद्धांत को बता सकेंगे;
- तत्व, परमाणु और अणु को परिभाषित कर सकेंगे;
- SI मात्रकों की आवश्यकता को बता सकेंगे;
- मौलिक SI मात्रक को बता सकेंगे;
- द्रव्यमान और कणों की संख्या के बीच संबंध की व्याख्या कर सकेंगे;
- आवोगाद्रो स्थिरांक की परिभाषा और उसकी महत्ता बता सकेंगे;
- विभिन्न तत्वों और यौगिकों के मोलर द्रव्यमान का परिकलन कर सकेंगे;
- STP पर गैसों के मोलर आयतन की व्याख्या कर सकेंगे;
- मूलानुपाती और आण्विक सूत्रों की परिभाषा दे सकेंगे;
- मूलानुपाती और आण्विक 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;
- मोल, द्रव्यमान और आयतन के बीच संबंधों की व्याख्या कर सकेंगे;
- संतुलित समीकरण और मोल संकल्पना की मदद से किसी रासायनिक अभिक्रिया में उपयुक्त और निर्मित पदार्थों की मात्रा का परिकलन कर सकेंगे; और
- सीमांतकर्मक का निर्मित उत्पाद की मात्रा को सीमित कर देने कि मूलिका का वर्णन कर सकेंगे।

1.1 रसायन शास्त्र के महत्व और कार्यक्षेत्र

रसायन विज्ञान हमारे जीवन के सभी आयामों में महत्वपूर्ण योगदान देता है। आइए कुछ ऐसे ही क्षेत्र में रसायन विज्ञान के योगदान को समझें।

1.1.1 स्वास्थ और औषधि

इस सदी के तीन मुख्य विकासों ने हमें बिमारी को रोकने और उपचार के लिए प्रेरित किया है। जन स्वास्थ साधन लोगो को संक्रामक बिमारियों से बचाने के लिए, सफाई तंत्रों का निर्माण

करना। एनसथैशिया के साथ सल्यशास्त्र तथा चिकित्सकों को समीवित घातक अवस्था में उपचार के लिए प्रेरित करने में बढ़ा जीन चिकित्सा औषधि में चौथी क्रांति है। (जीन वंशानुगत की एक मूल इकाई है) बहुत सारी स्थितियां जैसे कि सिस्टेटिक फाइब्रोसिस और हीमोफिलीया नवजातों में एकल जीन को हानि पहुचाते हैं। बहुत अन्य बिमारियों जैसे कि केंसर, हृदय बीमारी, एड्स और संधिशोध के परिणाम स्वरूप एक या अधिक जीनों, जो कि शरीर की रक्षा में शामिल होती हैं को दुर्बल कर देते हैं। जीन चिकित्सा में इस प्रकार की अव्यवस्था के इलाज व आराम के लिए बीमार कोशिकाओं में चयनित स्वस्थ जीन को पहुंचाया जाता है। इस प्रकार की प्रणाली के लिये चिकित्सक को सम्मलित सभी आणविक घटकों के रसायनिक गुणधर्मों एवं रासायनिक अभिक्रिया के क्रियाविधि का गहन ज्ञान होना चाहिए।

फार्माक्यूटिकल (औषध) उद्योगों में रसायन शास्त्री शक्तिशाली भेषजों की खोज कर रहे हैं जिनका केंसर, एड्स और अन्य बिमारियां के उपचार में अन्य प्रभाव कम या कोई न हो और औषधियाँ सफलतापूर्वक अंगों के प्रतिरोपण की संख्या में वृद्धि कर सकें।

1.1.2 ऊर्जा और पर्यावरण

ऊर्जा बहुत से रासायनिक प्रक्रमों का सह-उत्पाद होती हैं और जैसे जैसे ऊर्जा के खर्च करने की मांग बढ़ रही है तकनिकी रूप से अमेरिका जैसे विकसित देशों और विकासशील देश जैसे कि भारत, में रसायनशास्त्री ऊर्जा के नये स्त्रोतो का पता लगाने में क्रियाशील है। वर्तमान में ऊर्जा के मुख्य स्त्रोत जीवाश्म ईंधन (कोल, पेट्रोलियम और प्राकृतिक गैस) हैं। आज के खर्च के कारण इन ईंधनों को भण्डारण हमारे लिए 50-100 सालों तक रहेगा इसलिए वैक्लपिक संसाधनों का पता लगाना हमारे लिए आवश्यक है।

सौर ऊर्जा भविष्य के लिए ऊर्जा का एक अहम् स्त्रोत है। प्रत्येक वर्ष पृथ्वी पृष्ठ, सूर्य प्रकाश से लगभग 10 गुणा ऊर्जा प्राप्त होती है। लेकिन बहुत सी यह ऊर्जा नष्ट हो जाती है क्योंकि यह आकाश में वापिस परावर्तित हो जाती है। विगत तीस सालों की हुई खोज से ज्ञात हुआ है कि सौर ऊर्जा को प्रभावित रूप से नियंत्रण करने की दो विधियाँ हैं। एक प्रकाशीकीय बोल्टिक सेल का उपयोग करके सूर्य प्रकाश को सीधे विद्युत में परिवर्तित करना। और दूसरा सूर्य प्रकाश का उपभोग करके पानी से हाइड्रोजन प्राप्त करना। हाइड्रोजन को ईंधन सेल में प्रयोग करके विद्युत उत्पन्न की जाती है। 2050 तक यह कल्पना की जाती है कि हमारी आवश्यकताओं के 50 प्रतिशत से अधिक सौर ऊर्जा की आपूर्ति होगी। ऊर्जा का एक अन्य अहम स्त्रोत नाभिकीय विखंडन है, लेकिन विखंडन प्रक्रमों से उत्पन्न रेडियोधर्मी अपशिष्टों से पर्यावरण के प्रदूषण के कारण अमेरिका में नाभिकीय उद्योग का भविष्य अनिश्चित है। रसायनशास्त्री नाभिकीय अपशिष्ट को निपटाने के लिए उचित विधियों की खोज में सहायता कर सकते हैं। संलयन सूर्य और अन्य तारों में होने वाला प्रक्रम हैं जिसमें हानिकारक बिना अपशिष्ट पदार्थो के उत्पन्न हुये अत्यधिक ऊर्जा प्राप्त होती है। अगले 50 वर्षों में ऊर्जा के महत्वपूर्ण स्त्रोतों में नाभिकीय संलयन भी होगा।

ऊर्जा उत्पादन तथा ऊर्जा उपभोगिता हमारी पर्यावरणीय गुणवता से पूर्णत: जुड़ी हुई हैं। जीवाश्मीय ईंधन के जलाने से मुख्य हानि यह है कि ये कार्बन-डाइआक्सॉइड छोड़ते हैं जो कि

एक ग्रीन हाउस गैस है। (जो कि पृथ्वी के वायुमंडल को गर्म करने को प्रोत्साहित करती है), इसके साथ-साथ सल्फर डाइऑक्साइड तथा नाइट्रोजन ऑक्साइड भी छोड़ते हैं जिसके फलस्परूप अम्लीय वर्षा तथा धुंध बनती है। ऊर्जा-दक्षीय स्वचालित वाहनों तथा अधिक प्रभावी उत्प्रेरी परिवर्तकों के उपयोग द्वारा, हम हानिकारक स्वउत्सर्जनों के अत्यधिक मात्रा को कम कर सकते हैं तथा अधिक यातायात वाले क्षेत्रों में वायु की गुणवत्ता को सुधार सकते हैं। इनके साथ, विद्युतीय कार, जो कि अधिक देर तक चलने वाली बैटरियों से संचालित हों, अगली सदी में अधिक प्रचलित होनी चाहिए जिनके उपयोग से प्रदूषण को कम से कम किया जा सकेगा।

1.1.3 द्रव्यात्मक और प्रौद्योगिकी

रासायनिक खोज और इक्कीसवी सदी के विकास ने नये पदार्थ दिये हैं जिससे हमारे जीवन में अत्यधिक सुधार हुआ है। और अगिनत तरीको से हमारी विकसित प्रोद्योगिकी में सहायता की है। बहुलक (नाइलॉन और रबड़ शामिल है) सिरेमिक्स (जैसे की खाना पकाने के बर्तन) द्रव क्रिस्टल (जैसे जो कि इलेक्ट्रानिक यंत्रों में) चिपकाने वाले और परत चढ़ाने (उदाहरण के लिए लेटेक्स् पेंट) कुछ उदाहरण हैं

आने वाले भविष्य के लिए क्या भंडारण हैं? एक सम्भावना कक्षीय तापमान पर अधिसुचालक है। कापर तारों में विद्युत का वाहन होता है, दूसरे जो कि पूर्ण रूप में चालक नहीं है। इसके परिणामस्वरूप लगभग 20 प्रतिशत विद्युत ऊर्जा की ऊष्मा के रूप में हमारे घरों और पावर स्टेशनों के बीच में हानि हो जाती है। यह अत्यधिक फजूलखर्ची है। अधिसुचालक वे पदार्थ होते हैं जिनमें विद्युत प्रतिरोधिता नहीं होती है और जो कि ऊर्जा की हानि हुए बगैर विद्युत प्रवाहित करते हैं।

1.1.4 खाद्य और कृषि

संसार में निरंतर शीघ्रता से बढ़ती हुई जनसंख्या को किस प्रकार खिलाया जा सकता है? गरीब देशों में कृषि सक्रियता हमारी कार्य बलों का लगभग 80 प्रतिशत है और औसतन परिवार को औसतन बजट की आधी पूंजी खाद्य सामग्री पर व्यय हो जाती है। इससे राष्ट्र के संसाधन व्यर्थ चले जाते हैं। कृषि उत्पादन को प्रभावित करने वाले कारक है मिट्टी की गुणवत्ता, कीड़े और बीमीरयां जो कि फसल को नष्ट कर देते हैं और खरपतवार पोषकों को खत्म कर देते हैं। सिचाई के अतिरिक्त कृषक फसल की पैदाबार में वृद्धि करने के लिए उरवरकों और कीटनाशकों पर निर्भर रहते हैं।

1.2 द्रव्य की कणिकीय प्रकृति

सभी द्रव्य प्रकृति में कण होते हैं। इसका आधारिक अर्थ यह है कि द्रव्य के दो सिरों के बीच में रिक्त होता है जिसमें कोई द्रव्य नहीं होता। इस विज्ञान में इसे द्रव्य की परमाणुक प्रकृति कहते हैं। सामान्यत: यह माना जाता है कि इस तथ्य सबसे पहले लगभग 440 B.C. में ग्रीक दार्शनिक ल्यूसिपस तथा उसके शिष्य डेमोक्रिटस ने दिया था। यद्यपि महर्श कनाड ने इससे पहले (500 BC) में द्रव्य के परमाणुकीय संकल्पना को प्रस्तावित किया था और द्रव्य के सूक्ष्मतम कण को "परमाणु" नाम दिया था।

1.3 रासायनिक संयोजन के नियम

अठारवीं सदी के बाद रासयनिक विज्ञान में अत्याधिक उन्नति की है। इससे ऊष्मा की प्रकृति और किस प्रकार वस्तुएं जलती है को जानने में आनंद आया। मुख्य उन्नति रासायनिक तुला का सावधानी से प्रयोग करके होने वाली रासायनिक अभिक्रियाओं में द्रव्यमान में होने वाले परिवर्तन का पता लगा सकते हैं। महान फ्रेंच रसायनविद एंटिमिनी लेवाइजर ने रासायनिक अभिक्रियाओं का अध्ययन करने के लिए तुला का प्रयोग किया। उसने मरकरी को बन्द फ्लास्क में जिसमें हवा थी गर्म किया। बहुत दिनों के बाद मरकरी ऑक्साइड का लाल पदार्थ प्राप्त हुआ। फ्लास्क में बची गैस के द्रव्यमान में कमी आ गई। शेष गैस न तो दहन न ही जीवन में सहायक है। फ्लास्क में बची हुई गैस की नाइट्रोजन के रूप में पहचान हुई। मरकरी के साथ संयुक्त होने वाली गैस ऑक्सीजन थी। आगे उसने इस प्रयोग को सावधानी से मरकरी (II) आक्साइड की तुली हुई मात्रा के साथ किया। उसने पाया कि लाल रंग के मरकरी (II) आक्साइड को प्रबलता से गर्म करने पर मरकरी और आक्सलीन में विघटित हो जाता है उसने मरकरी और आक्सजीन में विघटित हो जाता है उसने मरकरी और आक्सीजन दोनों को तोला और पाया कि दोनों का संयुक्त द्रव्यमान लिए गए मरकरी (II) आक्साइड के द्रव्यमान के बराबर था। लेवाइजर ने अंतिम निष्कर्ष निकाला कि ''प्रत्येक रासायनिक अभिक्रिया में सभी अभिकर्मकों का सम्पूर्ण द्रव्यमान सभी उत्पादों के सम्पूर्ण द्रव्यमान के बराबर होता है। यह द्रव्यमान-संरक्षण का नियम माना जाता है।''

रसायनविदों द्वारा अभिकर्मकों और उत्पादों का सही द्रव्यमानों का पता लगाने के बाद विज्ञान में शीघ्रता से उन्नति हुई। फ्रेन्च रसायविदो क्लाउडे बर्थोलेट और जोसेफ प्राडस्ट ने दो तत्वों जो कि संयुक्त होकर यौगिक बनाते हैं के अनुपातों (द्रव्यमान) पर कार्य किया। सावधानी से कार्य करने के बाद प्राउस्ट ने 1808 में निश्चित या स्थिर अनुपात का नियम दिया। ''दिये गये रासायनिक यौगिक में तत्वों के द्रव्यमानों का अनुपात जो कि संयुक्त होते हैं निश्चित होता है और यौगिक के स्रोत और विरचन पर निर्भर नहीं करता है।''

उदाहरण के लिए शुद्ध जल में हाइड्रोजन और ऑक्सीजन के द्रव्यमानों का अनुपात 1:8 होता है। दूसरे शब्दों में द्रव्यमान के रूप में शुद्ध जल में हाइड्रोजन 11.11% और ऑक्सीजन 88.89% होती है चाहे जल को कुआं, नदी या तलाब से लिया गया है। इस प्रकार यदि 9.0 ग्राम जल का विघटन किया जाए तो हमेंशा 1.0 ग्राम हाइड्रोजन और 8.0 ग्राम ऑक्सीजन प्राप्त होती है। यदि 3.0 ग्राम हाइड्रोजन को 8.0 ग्राम ऑक्सीजन के साथ मिश्रित करते हैं और मिश्रण को जलाया जाता है तो 9.0 ग्राम जल बनता है और 2.0 ग्राम हाइड्रोजन अन अनिभिकृत बच जाती है। इसी प्रकार सोडियम क्लोराइड में 60.66% क्लोरीन और 39.34% सोडियम द्रव्यमान के रूप में होते है चाहे हम इसे लवण खदानों, समुद्र के जल या सोडियम और क्लोरीन से बनाये। वास्तव में इस वाक्य में ''शुद्ध'' मुख्य शब्द है। पुन: प्रयोगात्मक परिणाम वैज्ञानिक विचारों की विशिष्टता होती है। वास्तव में आधुनिक विज्ञान प्रयोगात्मक अनुसंधान पर निर्भर करती है पुन: परिणाम अप्रत्यक्ष रूप सत्य की तरफ संकेत करते हैं जो कि छिपे होते हैं। वैज्ञानिक हमेशा इस सत्य पर अनुसंधान करते हैं और इस प्रकार बहुत से सिद्धांत और नियमों की खोज की। इस सत्य की खोज विज्ञान के विकास में अहम कार्य करती है।

डाल्टन परमाणु सिद्धांत केवल द्रव्यमान संरक्षण और स्थिर अनुपात के नियमों का उल्लेख करता है लेकिन नए की भी कल्पना करता है। उसने अपने सिद्धांत के आधार पर गुणित अनुपात नियम दिया। इस नियम के अनुसार ''यदि दो तत्व संयोजित होकर एक से अधिक यौगिक बनाते हैं, तो एक तत्व के साथ दूसरे तत्व के संयुक्त होने वाले द्रव्यमान छोटे पूर्णांकों के अनुपात में होते हैं।'' उदाहरण के लिए कार्बन और आक्सीजन दो यौगिक कार्बन मोनोक्साइड और कार्बनडाई आक्साइड बनाते हैं। कार्बन मोनोक्साइड में प्रत्येक 1.0000 ग्राम कार्बन के लिए 1.3321 ग्राम ऑक्सीजन होती है जबकि कार्बनडाई ऑक्साइड में प्रत्येक 1.0000 ग्राम कार्बन के लिए 2.6642 ग्राम ऑक्सीजन होती है। दूसरे शब्दों में कार्बनडाईआक्साइड में कार्बनमोनोआक्साइड (2 × 1.3321 = 2.6642) की तुलना में दिये गये कार्बन के द्रव्यमान में दो गुणा आक्सीजन होती है। परमाणु सिद्धांत यह उल्लेख करता है कि दिये गये कार्बन परमाणुओं में कार्बनमोनोक्साइड की तुलना में कार्बनडाईआक्साइड में आक्सीजन परमाणुओं की संख्या दो गुणी होती है। परमाणु सिद्धांत से उत्पन्न गुणित अनुपात रसायनविदो के लिए इस सिद्धांत की वैधता को स्वीकार करने में महत्वपूर्ण था।

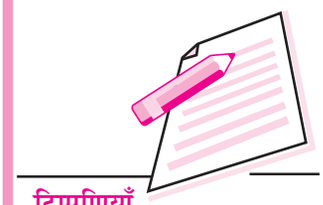
1.4 द्रव्य का परमाणु सिद्धांत

जैसा कि हम पहले पढ़ चुके हैं कि लेवाइजर ने आधुनिक रसायन की प्रयोगात्मक नींव रखी। लेकिन ब्रिटिश रसायनविद् डाल्टन (1766–1844) ने मूल सिद्धांत दिया। सभी तत्व, यौगिक या मिश्रण सभी द्रव्य होते है छोटे कणों जिन्हें परमाणु कहते हैं से बने होते हैं। इस खंड में डाल्टन की अवधारणाएं या मूल कथनों का उल्लेख किया गया है।

1.4.1 डाल्टन परमाणु सिद्धांत की अवधाारणाएं

बहुत छोटे कणों के विभिन्न संयोजनों के चरणों में द्रव्य की संरचना का उल्लेख करना डाल्टन सिद्धांत का मुख्य बिंदु है यह निम्नलिखित अवधारणाओं द्वारा दिया गया है।

1. सभी द्रव्य अविभाजित परमाणुओं के बने होते है। एक परमाणु द्रव्य का अत्यधिक छोटा कण है जो रासायनिक अभिक्रिया के समय अपनी पहचान बनायें रखता है।
2. एक तथ्य केवल एक ही प्रकार के परमाणुओं से बना द्रव्य होता है दिये गये एक प्रकार में प्रत्येक परमाणु के गुणधर्म एक समान होते हैं। द्रव्यमान एक ऐसा गुणध र्म है। इस प्रकार दिये गये परमाणुओं का अभिलाक्षणिक द्रव्यमान होता है।
3. यौगिक एक प्रकार का द्रव्य है जो कि दो या अधिक तत्वों के निश्चित अनुपात में रासायनिक संयोजन से बनता है। यौगिक में दो प्रकार के परमाणुओं सापेक्ष संख्या एक साधारण अनुपात में होती है उदाहरण के लिए पानी हाइड्रोजन और आक्सीजन तत्वों से बना होता है जिसमें हाइड्रोजन और आक्सीजन का अनुपात 2 :1 होता है।
4. **रासयनिक अभिक्रिया:** अभिकृत पदार्थों में उपस्थित परमाणुओं को पुनः व्यवस्थित करके, नये रासायनिक संयोजनों देते है जो पदार्थ कि अभिक्रिया के द्वारा बनते हैं। परमाणु किसी भी रासायनिक अभिक्रिया द्वारा न तो पैदा, न ही नष्ट या छोटे कणों में तोड़े जा सकते हैं।



आज हम जानते हैं कि परमाणु सत्य रूप में अविभाजित नहीं होते हैं। ये स्वयं कणों से बने होते हैं। डॉल्टन की अवधारणाएं आवश्यक रूप में सत्य हैं।

1.4.2 परमाणु क्या है?

जैसा कि हमने पिछले खंड में देखा कि परमाणु एक तत्व का छोटे से छोटा कण है जो कि इसके तत्व रासायनिक गुणधर्मों को धारण करता है। एक तत्व का परमाणु दूसरे तत्व के परमाणु से आकार और द्रव्यमान में भिन्न होता है। शुरू में भारतीय और ग्रीक दार्शनिकों ने ''परमाणु'' नाम दिया। आज हम जानते हैं यह मूल दार्शनिकता को दर्शाता है कि परमाणु अविभाजित नहीं होते हैं। उन्हें छोटे कणों में तोड़ा जा सकता है यद्यपि इस प्रक्रम में रासायनिक पहचान खो देते हैं। लेकिन इन विकासों के बावजूद परमाणु द्रव्य का नींव का पत्थर हैं।

1.4.3 अणु

रासायनिक बलों के द्वारा जुड़े हुए कम से कम दो परमाणुओं के निश्चित व्यवस्थित समूहों को अणु कहते हैं। स्थिर अनुपात के नियम के अनुसार एक अणु में एक समान तत्व और दो या अधिक तत्वों के परमाणु एक निश्चित अनुपात में होते हैं। इस प्रकार यह आवश्यक नहीं है कि अणु एक यौगिक हो जो कि परिभाषा के अनुसार दो या अधिक तत्वों से बना होता है। उदाहरण के लिए हाइड्रोजन गैस एक शुद्ध तत्व है लेकिन इसमें अणु होते हैं जो कि दो H परमाणुओं के बने होते हैं। दूसरी ओर पानी एक आणविक यौगिक है जिसमें हाइड्रोजन और ऑक्सीजन का अनुपात दो और एक (2 : 1) परमाणु होता है। परमाणुओं के समान अणु विद्युतीय उदासीन होते हैं।

हाइड्रोजन अणु जिसे H_2 से संकेतिक किया जाता है द्विपरमाणुविक अणु कहलाता है क्योंकि इसमें केवल दो परमाणु हाते हैं। अन्य द्विपरमाणुविक है नाइट्रोजन (N_2), ऑक्सीजन (O_2) और वर्ग 17 के तत्व फ्लोरीन (F_2), क्लोरीन (Cl_2), ब्रोमीन (Br_2), और आयोडीन (I_2) वास्तव में द्विपरमाणुक अणु विभिन्न तत्वों के परमाणुओं से भी बनते हैं। उदाहरण के लिए हाइड्रोक्लोरिक अम्ल (HCl) और कार्बन मोनोक्साइड (CO)।

अधिकतर अणुओं में दो से अधिक परमाणु होते हैं। ये एक ही तत्व के परमाणु हो सकते परमाणुओं से बना है या दो या दो से अधिक तत्वों के संयोजन से बन सकते हैं। दो से अधिक परमाणुओं से बनने वाले अणुओं को बहु-परमाणुविक अणु कहते हैं जैसे कि ओजोन, पानी (H_2O) और अमोनिया (NH_3) बहुपरमाणुविक अणु है।

1.4.4 तत्व (Elements)

पदार्थ तत्व या योगिकों के बने हो सकते हैं। एक तत्व एक पदार्थ है जिसे रासायनिक विधियों द्वारा सरल पदार्थों में अलग नहीं किया जा सकता है। अब तक 118 तत्वों को निश्चित रूप से पहचाना जा चुका है। जिनमें से 83 तत्व पृथ्वी में प्राकृतिक रूप में पाये जाते हैं। और शेष को वैज्ञानिकों ने कृत्रिम रूप से नाभकीय क्रिया पद्धतियों (प्रक्रमों) द्वारा संशलेषित किया है। सुविधा के लिये रसायन शास्त्रीयों ने तत्वों को एक, दो या तीन अक्षरों से बने संकेतों द्वारा प्रदर्शित किया है। संकेत का पहला अक्षर सदैव बड़ा अक्षर होता है।

जब शेष अक्षर बड़े नहीं होते हैं। उदाहरण के लिये Co कोबाल्ट तत्व का संकेत है जबकि CO कार्बन मोनोक्साइड अणु का सूत्र है। तालिका-1 में अधिक प्रचलित तत्वों में से कुछ के नाम व संकेत दिये हैं। तत्वों की पूर्ण सूचि पुस्तक के मुख्य पृष्ठ के पीछे दी गई है। कुछ तत्वों के संकेत उनके लेटिन नामों से लिये गये हैं। उदाहरणतया Au को औरम (सोना) से, Fe को फेरम (लोहा) से और Na को नट्रियम (सोडियम) से है जबकि अधिकतर नाम इंगलिश नामों से आये हैं।

तालिका-1 कुछ सामान्य तत्व व उनके संकेत

नाम	संकेत	नाम	संकेत	नाम	संकेत
एल्युमिनियम	Al	फ्लोरीन	F	ऑक्सीजन	0
आर्सेनिक	As	सोना	Au	फास्फोरस	P
बेरियम	Ba	हाइड्रोजन	H	प्लेटिनम	Pt
बिस्मथ	Bi	आयोडीन	I	पोटाशियम	K
ब्रोमीन	Br	आयरन	Fe	सिलिकान	Si
कैल्सियम	Ca	लैड	Pb	सिल्वर	Ag
कार्बन	C	मैग्निशियम	Mg	सोडियम	Na
क्लोरीन	Cl	मैगंनिज	Mn	सल्फर	S
क्रोमियम	Cr	मरकरी	Hg	टिन	Sn
कोबाल्ट	Co	निकल	Ni	टंगस्टेन	W
कॉपर	Cu	नाइट्रोजन	N	जिंक	Zn

रसायन शास्त्री अणुओं के संघटन के प्रदर्शित करने के लिये किये रासायनिक सूत्रों तथा आयनिक यौगिकों को प्रदर्शित करने के लिए रासायनिक संकेतों का प्रयोग करते हैं। संघटन का अर्थ न केवल तत्वों के उपस्थिति से है बल्कि परमाणु किस अनुपात में संयोग करते हैं से भी है। यहाँ हमारा सम्बन्ध दो प्रकार के सूत्रों से है। आणिवक सूत्र और मूलानुपाति सूत्र।

पाठगत प्रश्न 1.1

1. रसायन विज्ञान, विज्ञान एवं प्राद्योगिकी के विभिन्न क्षेत्रों में अपना योगदान देता है। वे सभी क्षेत्र क्या हैं?
2. पदार्थ के कणिय प्रकृति को किसने प्रतिस्थापित किया था?
3. द्रव्यमान संरक्षण का नियम क्या है?
4. परमाणु क्या है?
5. अणु क्या है?
6. सोडियन का संकेत Na क्यों है?
7. कैसे यौगिक किसी तत्व से अलग है?

1.5 SI मात्रक (पुनरावृत्ति)

जीवन के हर क्षेत्र में मापन की आवश्यकता है। जैसा कि आप जानते हैं हर मापन के लिए एक 'मात्रक' या एक 'निश्चित मानक' की आवश्यकता होती है। विभिन्न देशों ने मात्रकों की भिन्न-भिन्न प्रणालियाँ विकसित कीं। इससे एक देश को दूसरे देश के साथ व्यापार आदि में समस्याओं का सामना करना पड़ता था। वैज्ञानिकों को अक्सर एक दूसरे के आंकड़े इस्तेमाल करने पड़ते थे इससे उन्हें अत्यधिक परेशानी होती थी। प्रयोग में लाने के लिए, पहले आंकड़ों को स्थानीय प्रणाली में बदलना पड़ता था।

सन् 1960 में, 'General Confrence of Weights and Measures' मात्रकों की अंतर्राष्ट्रीय समिति ने मीट्रिक प्रणाली पर आधारित एक नई प्रणाली को प्रस्तावित किया। इसे 'International System of Units' कहा गया, इसको संक्षेप में SI लिखते हैं जोकि इसके फैंच नाम 'System Internationale unites' से लिया गया है। आप अपनी पिछली कक्षाओं में SI मात्रकों के बारे में पढ़ चुके हैं और जानते हैं कि ये सात मौलिक मात्रकों पर आधारित हैं जो सात मौलिक भौतिक राशियों के संगत हैं। अन्य भौतिक राशियों के मात्रकों की व्युत्पत्ति मूल मात्रकों से की जाती है। सात मौलिक SI मात्रकों को सारणी 1.2 में दिया गया है।

सारणी 1.2: SI भौतिक मात्रक

भौतिक राशि	मात्रक का नाम	SI मात्रक के लिए संकेत
लंबाई	मीटर	m
द्रव्यमान	किलाग्रोम	kg
समय	सेकंड	s
विद्युत धारा	ऐम्पियर	A
ताप	केल्विन	K
तत्व की मात्रा	मोल	mol
प्रदीप्त गहनता	केंडेला	cd

बहुत बड़ी या बहुत छोटी राशियों को मापने के लिए इन मात्रकों के गुणजों और अपवर्तकों का प्रयोग किया जाता है। प्रत्येक के लिए प्रतीक हैं जिन्हें मात्रकों में उपसर्ग की तरह लगाया जाता है। उदाहरण के लिए लंबी दूरी को नापने के लिए किलोमीटर मात्रक का प्रयोग किया जाता है, यह लंबाई के मौलिक मात्रक मीटर का गुणांक है। यहाँ 10^3 गुणज के लिए किलो उपसर्ग है। इसे k से निरूपित करते हैं जिसे मीटर के प्रतीक m के आगे लगाया जाता है। अत: किलोमीटर का प्रतीक हुआ km और

$$1 \text{ km} = 1.0 \times 10^3 \text{ m} = 1000 \text{ m}$$

इसी प्रकार, छोटी दूरी नापने के लिए सेंटीमीटर (cm) और मिलीमीटर (mm) का प्रयोग करते हैं। यहाँ

$$1 \text{ cm} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ m} = 0.01 \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.001 \text{ m}$$

SI मात्रकों के साथ लगाए जाने वाले कुछ उपसर्ग सारणी 1.3 में दिखाए गए हैं।

सारणी 1.3: SI मात्रक के साथ प्रयुक्त होने वाले उपसर्ग

उपसर्ग	संकेत	अर्थ	उदाहरण
टेरा	T	10^{12}	1 टेरामीटर (Tm) = 1.0×10^{12} m
गीगा	G	10^{9}	1 गीगा मीटर (Gm) = 1.0×10^{9} m
मेगा	M	10^{6}	1 मेगामीटर (Mm) = 1.0×10^{6} m
किलो	k	10^{3}	1 किलोमीटर (km) = 1.0×10^{3} m
हेक्टा	h	10^{2}	1 हेक्टामीटर (hm) = 1.0×10^{2} m
डेका	da	10^{1}	1 डेकामीटर (dam) = 1.0×10^{1} m
डेसी	d	10^{-1}	1 डेसीमीटर (dm) = 1.0×10^{-1} m
सेंटी	c	10^{-2}	1सेंटीमीटर (cm) = 1.0×10^{-2} m
मिली	m	10^{-3}	1मिलीमीटर (mm) = 1.0×10^{-3} m
माइक्रो	μ	10^{-6}	1माइक्रोमीटर (μm) = 1.0×10^{-6} m
नैनो	n	10^{-9}	1नैनोमीटर (nm) = 1×10^{-9} m
पीको	p	10^{-12}	1पीकोमीटर (pm) = 1×10^{-12}m

आगे बढ़ने से पहले निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर देने का प्रयत्न करें।

पाठगत प्रश्न 1.2

1. द्रव्यमान का SI मात्रक बताइए?
2. 1.0×10^{-6} g के लिए किस प्रतीक का उपयोग होना चाहिए?
3. (i) 10^{2} और (ii) 10^{-9} के लिए प्रयोग होने वाले उपसर्गों के नाम लिखिए।

   (i) .....

   (ii) .....
4. निम्नलिखित प्रतीक क्या व्यक्त करते हैं?

   (i) Ms (ii) ms

   (i) .....

   (ii) .....

1.5.1 द्रव्यमान और कणों की संख्या में संबंध

मान लीजिए आप 500 पेंच (स्क्रू) खरीदना चाहते हैं। आप क्या सोचते हैं, दुकानदार आपको यह संख्या कैसे देगा? प्रत्येक पेंच गिनकर? नहीं, वह उन्हें तोल कर देगा क्योंकि गिनने में उसे बहुत समय लगेगा। यदि प्रत्येक पेंच का भार 0.8 g है तो वह 400 g पेंच तोलेगा क्योंकि ($0.8 \times 500 = 400$ g) यह 500 पेंचों का भार है। आपको आश्चर्य होगा कि रिजर्व बैंक ऑफ इण्डिया सिक्कों की इच्छित संख्या तोलकर देता है गिनकर नहीं। जैसे-जैसे वस्तुओं की संख्या बड़ी होती

जाती है यह *तोल से गिनती* का प्रक्रम बहुत मेहनत बचाने वाला होता जाता है। हम इस प्रक्रम का उल्टा भी कर सकते हैं। उदाहरण के लिए, अगर हम 5000 बहुत छोटी कमानी (स्प्रिंग, जो घड़ियों में प्रयोग होते हैं) लें, और उनका भार लें। यदि इनका भार 1.5g हो तो हम प्रत्येक स्प्रिंग का भार ज्ञात कर सकते हैं – $1.5g \div 5000 = 3 \times 10^{-4}$ g

अत: हम देख सकते हैं कि समान वस्तुओं या कणों के लिए द्रव्यमान और संख्या अंतरसंबंधित होते हैं। परमाणु व अणु बहुत ही सूक्ष्म कण होते हैं इसलिए प्रत्येक को गिनना या तोलना असंभव है। इस कारण हमें अणुओं और परमाणुओं (कण) के द्रव्यमान और संख्या के बीच संबंध की आवश्यकता है। यह संबंध 'मोल' की संकल्पना से प्राप्त होता है।

1.5.2 मोल – एक संख्या मात्रक

अणु या परमाणु का द्रव्यमान एक महत्त्वपूर्ण गुण धर्म है। परंतु रासायनिक अभिक्रिया के मात्रात्मक आयाम की चर्चा करते हुए, क्रिया करने वाले अणुओं या परमाणुओं की संख्या उनके द्रव्यमान से अधिक महत्त्वपूर्ण होती है। आइए, इसे हम निम्नलिखित क्रियाकलाप से समझें –

क्रियाकलाप 1.1

उद्देश्य: किसी अभिक्रिया में अभिकारक एक दूसरे से द्रव्यमान के सरल अनुपात में अभिक्रिया करते हैं, इस तथ्य का अध्ययन करना।

क्या चाहिए?

चाइना डिश, सल्फर पाउडर, लौह पाउडर, एक चुंबक और एक आवर्धक लेंस (मैग्निफाइंग ग्लास)

क्या करना है?

1g सल्फर पाउडर और 1 g लौह पाउडर, चाइना डिश में मिलाकर तब तक गर्म करें जब तक कि अभिक्रिया पूरी होकर उत्पाद के रूप में एक ठोस संहति न दे। इस ठोस टुकड़े को छोटे टुकड़ों में तोड़ लें। यही प्रक्रम अब 2g लौह पाउडर और 1g सल्फर पाउडर के साथ दोहराएँ।

क्या देखें?

- पहले प्रक्रम के टुकड़ों, *जहाँ अभिक्रिया मिश्रण में लौह और सल्फर 1:1 द्रव्यमान अनुपात* प्रत्येक का 1g) में हैं, को आवर्धक लेंस से देखने पर सल्फर के पीले कण दिखाई देंगे। चुंबक पास लाने पर वे आकर्षित नहीं होते, यह दिखाता है कि कुछ भी अनाभिकृत लोहा नहीं है।
- दूसरे प्रक्रम के टुकड़ों *जिनमें लौह और सल्फर 2:1 द्रव्यमान अनुपात* में थे (2g लोहा और 1g सल्फर), में पीले कण नहीं दिखते और वे चुंबक से आकर्षित होते हैं। इनमें कुछ भी अनाभिकृत सल्फर नहीं है पर कुछ अनाभिकृत लोहा है।

निष्कर्ष

आप निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि लोहा और सल्फर एक दूसरे से सरल द्रव्यमान अनुपात में क्रिया नहीं करते। Fe और S 1:1 द्रव्यमान अनुपात में लेने पर कुछ सल्फर अनभिकृत रह जाती है और 2:1 द्रव्यमान अनुपात लेने पर कुछ लोहा अनाभिकृत रह जाता है।

अब हम अभिक्रिया की रासायनिक समीकरण लिखते हैं

$$Fe + S \rightarrow FeS$$

इस समीकरण के अनुसार लोहे का 1 परमाणु सल्फर के 1 परमाणु के साथ मिलकर आयरन (II) सल्फाइड (FeS) का 1 अणु बनता है। इसका मतलब अगर हम लोहे और सल्फर के परमाणुओं की समान संख्या लेते तो दोनों पूरी तरह क्रिया करते। अत: हम निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि पदार्थ अणु अथवा परमाणुओं की संख्या के सरल अनुपात में अभिक्रिया करते हैं।

अत: अब हम कह सकते हैं कि अणुओं या परमाणुओं की संख्या उनके द्रव्यमान से अधिक तर्कसंगत है। इनकी संख्या को निरूपित करने के लिए एक संख्या मात्रक होना चाहिए। हम अक्सर संख्या मात्रक 'दर्जन' का प्रयोग करते हैं जिसका तात्पर्य है 12 का समूह। अन्य संख्या मात्रक है 'स्कोर' (20) और 'ग्रुस' (144 या 12 दर्जन)। ये मात्रक छोटी संख्याओं के लिए प्रयुक्त होते हैं। अणु और परमाणु इतने छोटे होते हैं कि किसी पदार्थ के छोटे से **नमूने** में भी इनकी संख्या बहुत बड़ी होती है। उदाहरण के लिए धूल के छोटे से कण में भी लगभग 10^{16} अणु होते हैं। रसायन विज्ञान में इतनी बड़ी संख्या को मात्रक 'मोल' (mole) से जाना जाता है। इसका प्रतीक **'मोल' (mole)** है और इसकी परिभाषा है-

मोल किसी पदार्थ की वह मात्रा है जिसमें उस पदार्थ के मूल कणों (जैसे परमाणु, अणु आदि) की उतनी संख्या होती है जितनी कार्बन 12 समस्थानिक के 0.012 kg में परमाणुओं की संख्या होती है।

मोल शब्द को लगभग सौ साल पहले विलहेम ओस्टवाल्ड ने प्रयुक्त किया था। इस शब्द की व्युत्पत्ति लैटिन शब्द 'मोल्स' से की थी जिसका अर्थ है 'ढेर'।

यह ध्यान रखने योग्य बात है कि सभी पदार्थों के एक मोल में कणों की संख्या एकसमान होती है। अत: *'मोल'* मौलिक कणों जैसे परमाणु, अणु, सूत्र, इकाई, इलेक्ट्रॉन आदि का गणना मात्रक है, जैसे दर्जन, केलों और संतरों का गणना मात्रक होता है। अगले भाग में हम इसके विषय में और पढ़ेंगे।

1.5.3 आवगाद्रो स्थिरांक

उपर्युक्त 'मोल' की परिभाषा हमें एक विधि देती है जिससे यदि हमें मौलिक कणों की संख्या ज्ञात हो तो हम उस पदार्थ की मात्रा (मोलों में) निकाल सकते हैं और इसका उलट यानि 'मोलों' की संख्या ज्ञात होने पर मौलिक कणों की संख्या निकाल सकते हैं। अब प्रश्न यह उठता है कि 0.012kg या 12g कार्बन-12 में कितने परमाणु होते हैं? प्रयोगों द्वारा यह प्रमाणित हो चुका है कि यह संख्या 6.022045×10^{23} है। अत: 1 mol = 6.022045×10^{23} कण या सत्ताएँ।

व्यावहारिक रूप से यह संख्या 6.022×10^{23} लिखी जाती है।

इस संख्या की कल्पना सबसे पहले इटली के वैज्ञानिक एमीडो आवगाद्रो ने की थी। किन्तु वे इसका मान नहीं ज्ञात कर पाए थे। इसका मान बाद में निर्धारित किया गया और उनके सम्मान में इसे आवगाद्रो स्थिरांक कहा गया।

इस संख्या को पहले आवगाद्रो संख्या कहा गया। मात्रक के साथ यह संख्या यानि, 6.022×10^{23} mol^{-1} आवगाद्रो स्थिरांक कहलाई। इसका प्रतीक N_A है। आपको यह ध्यान रखना होगा कि गणित के अनुसार किसी संख्या का मात्रक नहीं होता, इसलिए आवगाद्रो संख्या 6.022×10^{23} का कोई मात्रक नहीं है परंतु आवगाद्रो स्थिरांक का मात्रक mol^{-1} होगा। अत: आवगाद्रो स्थिरांक $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ mol^{-1}

आवगाद्रो स्थिरांक की सार्थकता

आप जानते हैं कि 0.012kg या 12g कार्बन-12 में एक मोल कार्बन परमाणु होते हैं। मोल को परिभाषित किया जा सकता है- किसी पदार्थ की वह मात्रा जिसमें 6.022×10^{23} मौलिक कण जैसे अणु परमाणु आदि होते हैं। जब हम एक मोल कार्बन-12 कहते हैं तो हमारा तात्पर्य 6.022×10^{23} कार्बन-12 के परमाणु जिनका द्रव्यमान 12g से होता है, यह द्रव्यमान कार्बन-12 का मोलर द्रव्यमान कहलाता है। एक *मोल पदार्थ का द्रव्यमान (ग्राम में) मोलर द्रव्यमान कहलाता है।* किसी पदार्थ के एक मोल में 6.022×10^{23} कण या मौलिक सत्ताएँ होंगी। मौलिक सत्ताओं की प्रकृति पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करती है, जैसा कि नीचे दिखाया गया है-

क्र. सं.	पदार्थ का प्रकार	मौलिक सत्ता
1.	Na, K, Cu जैसे तत्व जो परमाणु के रूप में होते हैं।	परमाणु
2.	O, N, H, जैसे तत्व जो अणु के रूप में होते हैं (O_2, N_2, H_2)	अणु
3.	आण्विक यौगिक जैसे NH_3, H_2O, CH_4	अणु
4.	Na^+, Cu^{2+}, Ag^+, Cl^-, O^{2-} जो आयन के रूप में होते हैं	आयन
5.	आयनी यौगिक जैसे NaCl, $NaNO_3$, K_2SO_4	सूत्र इकाई

सूत्र इकाई किसी यौगिक के लिए विभिन्न परमाणुओं या आयनों की वह संख्या देता है जो उसके रासायनिक सूत्र में उपस्थित हैं। यह संकल्पना सभी प्रकार के यौगिकों पर लागू होती है। निम्नलिखित उदाहरण इस संकल्पना को और अधिक समझा पाएंगे।

सूत्र	एक सूत्र इकाई में उपस्थित परमाणु/आयन
H_2O	H के दो परमाणु और O का एक परमाणु
NH_3	N का एक परमाणु और H के तीन परमाणु
NaCl	एक Na^+ आयन और एक Cl^- आयन
$NaNO_3$	एक Na^+ आयन और एक NO_3^- आयन
K_2SO_4	दो K^+ आयन और एक SO_4^{2-} आयन
$Ba_3(PO_4)_2$	तीन Ba^{2+} आयन और दो PO_4^{3-} आयन

अब हम उदाहरण के लिए विभिन्न प्रकार के पदार्थों की मात्रा का उनके मौलिक सत्ताओं की संख्या से संबंध, देखेंगे–

1 मोल C	$= 6.022 \times 10^{23}$	C परमाणु
1 मोल O_2	$= 6.022 \times 10^{23}$	O_2 अणु
1 मोल H_2O	$= 6.022 \times 10^{23}$	H_2O अणु
1 मोल NaCl	$= 6.022 \times 10^{23}$	सूत्र इकाई NaCl की
1 मोल Ba^{2+} आयन	$= 6.022 \times 10^{23}$	Ba^{2+} आयन

अब हम इस संबंध की सहायता से एक मोल के अलावा अन्य मात्राओं के लिए कणों की संख्या का संबंध देखेंगे–

मौलिक सत्ताओं की संख्या = मोलों की संख्या × आवगाद्रो स्थिरांक।

1 मोल O_2	$= 1 \times (6.022 \times 10^{23})$	$= 6.022 \times 10^{23}$ O_2 अणु
0.5 मोल O_2	$= 0.5 \times (6.022 \times 10^{23})$	$= 3.011 \times 10^{23}$ O_2 अणु
0.1 मोल O_2	$= 0.1 \times (6.022 \times 10^{23})$	$= 6.022 \times 10^{22}$ O_2 अणु

पाठगत प्रश्न 1.3

1. नाइट्रोजन गैस के एक नमूने में नाइट्रोजन के 4.22×10^{23} अणु हैं। नाइट्रोजन गैस के मोलों की संख्या ज्ञात कीजिए।
2. मैग्नीशियम धातु के एक टुकड़े में 8.46×10^{24} परमाणु हैं। मैग्नीशियम के मोलों की संख्या का परिकलन कीजिए।
3. Cl_2 गैस के 0.25 मोलों में Cl_2 अणु और Cl परमाणुओं की संख्या का परिकलन कीजिए।

1.5.4 मोल, द्रव्यमान और क्रमांकों का संबंध

आप जानते हैं कि 1 मोल $= 6.022 \times 10^{23}$ मौलिक सत्ताएँ

और मोलर द्रव्यमान = पदार्थ के एक मोल का द्रव्यमान

$= 6.022 \times 10^{23}$ मौलिक सत्ताओं का द्रव्यमान

जैसा कि पहले कहा जा चुका है मौलिक सत्ताएँ अणु, परमाणु, आयन या सूत्र इकाई हो सकती हैं। जहाँ तक मोल – क्रमांक संबंध का प्रश्न है तो यह ज्ञात है कि किसी पदार्थ के एक मोल

में 6.022×10^{23} कण होते हैं। मोलर द्रव्यमान जानने के लिए अर्थात मोल-द्रव्यमान संबंध के लिए हमें परमाण्विक द्रव्यमान पैमाने का प्रयोग करना पड़ेगा।

1.5.5 परमाण्विक द्रव्यमान मात्रक (Atmoic mass unit)

अंतर्राष्ट्रीय समझौते के अनुसार, परमाण्विक और आण्विक द्रव्यमानों के लिए द्रव्यमान का एक मात्रक निर्धारित किया गया। इसे *'परमाण्विक द्रव्यमान मात्रक'* कहते हैं जिसका प्रतीक 'amu' है। एक C-12 परमाणु का द्रव्यमान 12 amu लिया जाता है। अत: C-12 परमाणु मानक की तरह कार्य करता है। परिभाषा के अनुसार **'परमाण्विक द्रव्यमान मात्रक'** वह द्रव्यमान है जो कार्बन-12 के एक परमाणु के द्रव्यमान के 1/12 वाँ भाग के बराबर है।

$$1 \text{ amu} = \frac{\text{C-12 के एक परमाणु का द्रव्यमान}}{12}$$

परमाण्विक द्रव्यमान इकाई को **'एकीकृत परमाण्विक द्रव्यमान मात्रक' (unified atomic mass unit)** भी कहा जाता है जिसका प्रतीक 'u' है। परमाण्विक द्रव्यमान इकाई का दूसरा नाम **डाल्टन** (प्रतीक Da) है। इसका प्रयोग मुख्यत: जीवविज्ञान में होता है।

1.5.6 सापेक्षिक परमाणु और अणु द्रव्यमान

आप जानते हैं कि परमाणु *द्रव्यमान पैमाना* C-12 परमाणु (^{12}C की तरह भी लिख सकते हैं), के सापेक्षिक है जिसे मानक चुना गया है। इसका द्रव्यमान ठीक 12 लिया जाता है। कोई भी अणु या परमाणु C-12 के परमाणु द्रव्यमान के $\frac{1}{12}$ वाँ भाग से कितना गुना अधिक भारी है, यह संख्या अणु या परमाणु का सापेक्षिक द्रव्यमान कहलाती है। अक्सर हम विभिन्न समस्थानिक वाले तत्वों या यौगिकों का प्रयोग करते हैं इसलिए हम परमाणुओं और अणुओं के औसत द्रव्यमान लेते हैं। अत:

$$\text{सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान} = \frac{\text{तत्व के एक परमाणु का औसत द्रव्यमान}}{\text{C-12 के एक परमाणु के द्रव्यमान का } \frac{1}{12} \text{ वाँ भाग}}$$

और

$$\text{सापेक्ष अणु द्रव्यमान} = \frac{\text{पदार्थ के 1 अणु का औसत द्रव्यमान}}{\text{C-12 के एक परमाणु के द्रव्यमान का } \frac{1}{12} \text{ वाँ भाग}}$$

प्रयोगों से पता चलता है कि O-16 परमाणु, C-12 परमाणु से 1.333 गुना भारी है। अत:

$$\text{O-16 का सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान} = 1.333 \times 12 = 15.996 \simeq 16.0$$

सभी तत्वों का सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान इसी प्रकार निर्धारित किया गया है। इसी प्रकार प्रयोगों द्वारा सापेक्ष अणु द्रव्यमान भी निर्धारित किए जा सकते हैं यदि हमें किसी अणु का अणु सूत्र ज्ञात हो,

तो हम उसके संघटक परमाणुओं के सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान का योग लेकर सापेक्ष अणु द्रव्यमान परिकलित कर सकते हैं। आइए पानी H_2O का सापेक्ष अणु द्रव्यमान परिकलित करें।

पानी का सापेक्ष अणु द्रव्यमान = (2 × H का सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान) + (O का सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान)

$= (2 \times 1) + (16) = 2 + 16 = 18$

सापेक्ष परमाणु और अणु द्रव्यमान मात्र संख्याएँ हैं, और ये विमाहीन, मात्रकहीन मात्राएँ हैं।

1.5.7 परमाण्विक, आण्विक और सूत्र द्रव्यमान

परमाणु द्रव्यमान मात्रक की परिभाषा के आधार पर हम परमाणु द्रव्यमानों का परिकलन कर सकते हैं। आइए O-16 जिसका सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान 16 है का उदाहरण लें। परिभाषा अनुसार

$$\text{O-16 का सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान} = 16 = \frac{\text{O-16 के एक परमाणु का द्रव्यमान}}{\text{C-12 परमाणु के द्रव्यमान का } \frac{1}{12} \text{ वाँ भाग}}$$

$$\text{क्योंकि } 1 \text{ amu} = \text{C-12 परमाणु के द्रव्यमान का } \frac{1}{12} \text{ वाँ भाग}$$

$$\therefore 16 = \frac{\text{O-16 के एक परमाणु का द्रव्यमान}}{1 \text{ amu}}$$

O-16 के 1 परमाणु का द्रव्यमान = 16 amu

या O-16 का परमाणु द्रव्यमान = 16 amu.

इस उदाहरण से हम देख सकते हैं कि सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान और परमाणु द्रव्यमान का सांख्यिक मान समान है। केवल पहली संख्या का कोई मात्रक नहीं है जबकि दूसरी संख्या का मात्रक *amu* है।

अणुओं के संघटक परमाणुओं और सूत्र इकाई के संघटक आयनों के परमाणु या आयनी द्रव्यमानों का योग लेने से आण्विक और सूत्र द्रव्यमान निकाले जा सकते हैं। आइए, निम्नलिखित उदाहरणों की सहायता से इस परिकलन को समझें।

उदाहरण 1.1 : अमोनिया NH_3 का अणु द्रव्यमान परिकलित कीजिए।

हल : NH_3 के एक अणु में N का एक परमाणु और H के तीन परमाणु होते हैं।

NH_3 का अणु द्रव्यमान = (N का परमाणु द्रव्यमान) + 3 (H का परमाणु द्रव्यमान)

$= [14 + (3 \times 1)]$ amu = 17 amu

उदाहरण 1.2: सोडियम क्लोराइड (NaCl) का सूत्र द्रव्यमान परिकलित कीजिए।

हल : सोडियम क्लोराइड के एक सूत्र इकाई में एक Na^+ आयन और एक Cl^- आयन होता है।

NaCl का सूत्र द्रव्यमान = (Na^+ का आयन द्रव्यमान) + (Cl^- का आयन द्रव्यमान)

= 23 amu + 35.5 amu

= 58.5 amu.

आपने ध्यान दिया होगा कि उपर्युक्त उदाहरण में Na^+ का आयनी द्रव्यमान 23 amu लिया गया है जोकि Na परमाणु के परमाणु द्रव्यमान के समान है। कुछ इलेक्ट्रॉन के लाभ या हानि से द्रव्यमान पर अधिक प्रभाव नहीं पड़ता इसलिए परमाणु द्रव्यमान ही आयन द्रव्यमान की तरह प्रयुक्त होते हैं। इसी प्रकार Cl^- आयन का द्रव्यमान भी 35.5 amu लिया गया है जोकि Cl के परमाणु द्रव्यमान के बराबर है।

1.5.9 मोलर द्रव्यमान

हम जानते हैं कि 1 मोल पदार्थ का द्रव्यमान मोलर द्रव्यमान कहलाता है। यह भी कि किसी पदार्थ के 1 मोल में 6.022×10^{23} मौलिक सत्ताएँ होती हैं।

अत: मोलर द्रव्यमान = 6.022×10^{23} मौलिक सत्ताओं का द्रव्यमान

(i) किसी तत्व का मोलर द्रव्यमान

आप जानते हैं कि C–12 का सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान 12 है। इसके एक 12g के नमूने में 6.022×10^{23} परमाणु होंगे। अत: C-12 का मोलर द्रव्यमान 12 g mol^{-1} होगा। अन्य तत्वों का मोलर द्रव्यमान ज्ञात करने के लिए हम उनके सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान का प्रयोग कर सकते हैं।

O-16 का सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान 16 है, एक 16 g के नमूने में ऑक्सीजन के 6.022×10^{23} परमाणु होंगे और वे इसका 1 मोल बनाएंगे। अत: ऑक्सीजन O–16 का मोलर द्रव्यमान होगा 16 g mol^{-1}। कुछ अन्य तत्वों के सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान सारणी 1.4 में दिए गए हैं।

सारणी 1.4 : कुछ तत्वों के सापेक्ष परमाण्विक द्रव्यमान

तत्व	सापेक्ष परमाण्विक द्रव्यमान	तत्व	सापेक्ष परमाण्विक द्रव्यमान
हाइड्रोजन, H	1.0	फॉस्फोरस, P	31.0
कार्बन, C	12.0	सल्फर, S	32.1
नाइट्रोजन, N	14.0	क्लोरीन, Cl	35.5
ऑक्सीजन, O	16.0	पोटेशियम, K	39.1
सोडियम, Na	23.0	आयरन, Fe	55.9

(ii) आण्विक पदार्थ का मोलर द्रव्यमान

आण्विक पदार्थों के लिए मौलिक सत्ता अणु होते हैं। अत: ऐसे *पदार्थ का मोलर द्रव्यमान उसके* 6.022×10^{23} *अणुओं का द्रव्यमान होगा,* जोकि उसके सापेक्ष अणु द्रव्यमान से निकाला जा सकता है या पदार्थ के 1 मोल में उपस्थित तत्वों के मोलर द्रव्यमानों को प्रत्येक के मोलों की संख्या से गुण कर के और फिर उनका योग करने पर प्राप्त किया जा सकता है।

आइए, इसे जल, H_2O के उदाहरण से समझें। इसका सापेक्ष अणु द्रव्यमान 18 है। अत: 18 g में 6.022×10^{23} पानी के अणु होंगे। इसलिए इसका मोलर द्रव्यमान 18 g mol^{-1} हुआ। अन्यथा, इसका परिकलन ऐसे भी हो सकता है :

$$H_2O \text{ का मोलर द्रव्यमान } = (2 \times H \text{ का मोलर द्रव्यमान}) + (O \text{ का मोलर द्रव्यमान})$$

$$= (2 \times 1 \text{ g mol}^{-1}) + (16 \text{ g mol}^{-1})$$

$$= 18 \text{ g mol}^{-1}$$

सारणी 1.5 में कुछ पदार्थों के अणु द्रव्यमान और मोलर द्रव्यमान दिए गए हैं।

सारणी 1.5 : कुछ पदार्थों के अणु द्रव्यमान तथा मोलर द्रव्यमान

तत्व या यौगिक	अणु द्रव्यमान	मोलर द्रव्यमान (g mol^{-1})
O_2	32.0	32.0
P_4	124.0	124.0
S_8	256.8	256.8
H_2O	18.0	18.0
NH_3	17.0	17.0
HCl	36.5	36.5
CH_2Cl_2	85.0	85.0

(iii) आयनी यौगिकों के मोलर द्रव्यमान

आयनी यौगिक का **मोलर द्रव्यमान** उसके 6.022×10^{23} *सूत्र इकाइयों* का द्रव्यमान होता है। इसे पदार्थ के इकाई सूत्र में उपस्थित आयनों के मोलर द्रव्यमानों का योग करके भी निकाला जा सकता है। NaCl के लिए इसका परिकलन इस प्रकार होगा :

$$NaCl \text{ का मोलर द्रव्यमान } = Na^+ \text{ का मोलर द्रव्यमान} + Cl^- \text{ का मोलर द्रव्यमान}$$

$$= (23 \text{ g mol}^{-1}) + (35.5 \text{ g mol}^{-1})$$

$$= 58.5 \text{ g mol}^{-1}$$

आयनी यौगिकों के कुछ और उदाहरण लेकर उनके मोलर द्रव्यमान का परिकलन करते हैं।

उदाहरण 1.3 : (i) K_2SO_4 (ii) $Ba_3(PO_4)_2$ का मोलर द्रव्यमान परिकलित कीजिए।

हल :

(i) K_2SO_4 का मोलर द्रव्यमान = (2 × K^+ का मोलर द्रव्यमान) + (SO_4^{2-} का मोलर द्रव्यमान)

= (2 × K^+ का मोलर द्रव्यमान) +
(S का मोलर द्रव्यमान + 4 × O का मोलर द्रव्यमान)

= [(2 × 39.1) + (32.1 + 4 × 16)] g mol^{-1}]

= (78.2 + 32.1 + 64) g mol^{-1} = 174.3 g mol^{-1}

(ii)$Ba_3(PO_4)_2$ का मोलर द्रव्यमान

= (3 × Ba^{2+} का मोलर द्रव्यमान) + 2 (PO_4^{3-} का मोलर द्रव्यमान)

= (3 × Ba^{2+} का मोलर द्रव्यमान) +
2 (P का मोलर द्रव्यमान + 4 × O का मोलर द्रव्यमान)

= [(3 × 137.3) + 2 (31.0 + 4 × 16.0)] g mol^{-1}

= (411.9 + 190.0) g mol^{-1} = 601.9 g mol^{-1}

अब आप सभी प्रकार के पदार्थों के लिए मोल, द्रव्यमान और संख्या के संबंधों के बारे में पढ़ चुके हैं। निम्नलिखित उदाहरणों से इन संबंधों की उपयोगिता की व्याख्या होगी।

उदाहरण 1.4 : कार्बन -12 के किस द्रव्यमान में उसके 1.0×10^{19} परमाणु होंगे?

हल : कार्बन -12 के 6.022×10^{23} परमाणुओं का द्रव्यमान = 12 g mol^{-1}

कार्बन -12 के 1.0×10^{19} परमाणुओं का द्रव्यमान = $\frac{12\text{g mol}^{-1} 1\times1\times10^{19}}{6.022\times10^{23}\text{ g mol}^{-1}}$ g

= 1.99×10^{-4} g

उदाहरण 1.5 : NH_3 के 100 g में उसके अणुओं की संख्या ज्ञात कीजिए?

हल : NH_3 का मोलर द्रव्यमान= (14 + 3) g mol^{-1} = 17 g mol^{-1}

∴ 17 g NH_3 में 6.022×10^{23} अणु होते हैं।

इसलिए, 100 g के नमूने में $\frac{6.022\times10^{23}\text{ अणु mol}^{-1}}{17\text{g mol}^{-1}}$ × 100g NH_3 के अणु होंगे।

= 35.42×10^{23} अणु

= 3.542×10^{24} अणु

उदाहरण 1.6 : O का मोलर द्रव्यमान 16 g mol^{-1} है। ऑक्सीजन के एक अणु और एक परमाणु का द्रव्यमान बताइए।

हल : ऑक्सीजन के 1 मोल या 6.022×10^{23} परमाणुओं का द्रव्यमान = 16 g mol^{-1}

$$\therefore \quad \text{O के 1 परमाणु का द्रव्यमान} = \frac{16\text{g mol}^{-1}}{6.022\times10^{23}\,\text{mol}^{-1}}$$

$$= 2.66 \times 10^{-23}\ \text{g}$$

क्योंकि ऑक्सीजन के एक अणु में दो परमाणु होते हैं (O_2) उसका
अणु द्रव्यमान = $2 \times 2.66 \times 10^{-23}$ g = 5.32×10^{-23} g

पाठगत प्रश्न 1.4

1. हाइड्रोजन क्लोराइड HCl का मोलर द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।
2. आर्गन परमाणुओं के मोलर द्रव्यमान का परिकलन कीजिए, दिया हुआ है कि उसके एक परमाणु का द्रव्यमान 6.634×10^{-26} kg है।
3. पोटेशियम नाइट्रेट KNO_3 के 1.0 मोल का द्रव्यमान परिकलित कीजिए। (परमाणु द्रव्यमान : K = 39 amu; N = 14 amu, O = 16 amu)
4. सोडियम फास्फेट का सूत्र Na_3PO_4 है, इसके 0.146 मोल का द्रव्यमान बताइए। (परमाणु द्रव्यमान Na = 23.0 amu, P = 31.0 amu; O = 16.0 amu)

1.6. द्रव्यमान, मोलर द्रव्यमान और मोलों की संख्या

किसी पदार्थ के लिए द्रव्यमान, मोलर द्रव्यमान और मोलों की संख्या अंतर्संबंधित मात्राएँ हैं। हम जानते हैं कि :

मोलर द्रव्यमान (M) = पदार्थ के एक मोल का द्रव्यमान

पानी का मोलर द्रव्यमान 18 g mol^{-1} है। यदि हमारे पास 18 g पानी है तो हम कह सकते हैं कि हमारे पास 1 मोल पानी है। यदि पानी 36 g है तो (18×2), हमारे पास 2 मोल पानी है। अत: $(n \times 18)$ g, पानी में हम पानी के n मोल कहेंगे। अंतत: हमें यह संबंध प्राप्त होता है :

$$\text{किसी पदार्थ के मोलों की संख्या} = \frac{\text{पदार्थ का द्रव्यमान}}{\text{पदार्थ का मोलर द्रव्यमान}}$$

$$n = \frac{m}{M}$$

अथवा $$m = n \times M$$

ये संबंध पदार्थों के मोल संबंधित परिकलन में उपयोगी सिद्ध होते हैं।

उदाहरण 1.7 : किसी अभिक्रिया में 0.5 मोल एलुमिनियम की आवश्यकता पड़ती है। ग्राम में एलुमिनियम की आवश्यक मात्रा का परिकलन कीजिए। (परमाणु द्रव्यमान Al = 27 amu)

हल :

Al का मोलर द्रव्यमान $= 27 \text{ g mol}^{-1}$

आवश्यक द्रव्यमान = मोलों की संख्या × मोलर द्रव्यमान

$= (0.5 \text{ mol}) \times (27 \text{ g mol}^{-1})$

$= 13.5 \text{ g}$

1.6.1 मोलर आयतन, V_m

किसी पदार्थ के 1 मोल का आयतन मोलर आयतन होता है। यह ताप और दाब पर निर्भर करता है। यह घनत्व से इस प्रकार संबंधित होता है :

$$\text{मोलर आयतन} = \frac{\text{मोलर द्रव्यमान}}{\text{घनत्व}}$$

गैसों का आयतन, **मानक ताप और दाब (STP)** पर लिया जाता है। इसके लिए **0° C** या **273 K** ताप, **मानक ताप** और **1 बार दाब** मानक दाब के रूप में लिया जाता है। STP पर आदर्श गैस का मोलर आयतन 22.7 litre* होता है। आप पढ़ेंगे कि गैसें आदर्श व्यवहार नहीं दिखाती हैं इसलिए उनका मोलर आयतन ठीक 22.7 L नहीं होता है। फिर भी यह 22.7 L के बहुत करीब होता है और व्यावहारिक रूप में हम सभी गैसों का STP पर मोलर आयतन 22.7 L mol^{-1} ही लेते हैं।

पाठगत प्रश्न 1.5

1. 3.05 g ताम्र में ताम्र परमाणु के कितने मोल होते हैं (ताम्र का परमाणु द्रव्यमान = 63.5)।
2. सोने के एक टुकड़े का द्रव्यमान 12.6 g है। उसमें सोने के कितने मोल विद्यमान हैं?

   (Au का सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान = 197 amu)
3. एक कार्बनिक यौगिक की दहन अभिक्रिया में 2.5 मोल CO_2 बनती है। STP (273K, 1bar) पर इसका आयतन क्या होगा?

* पहले 1 एटमास्फियर दाब, मानक दाब माना जाता था। STP (273K, 1atm) पर आदर्श गैस का मोलर आयतन 22.4 L mol^{-1} लिया जाता था। इस मान में अंतर, मानक दाब में बदलाव के कारण है (1 bar) जोकि 1 atm से थोड़ा कम होता है।

1.7 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, मिथेन को CH_4 द्वारा और नाइट्रोजन पेन्टाआक्साइड को N_2O_5 द्वारा निरूपित किया जाता है। आप जानते हैं कि किसी अणु के सूत्र में परमाणुओं का प्रतीक लिखा जाता है और 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 अत: 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 लिए ग्लूकोज का मूलानुपाती सूत्र CH_2O है। इसमें 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 $= X_n$ जहाँ X मूलानुपाती सूत्र तथा n एक 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, उदाहरण के लिए सुक्रोज $C_{12}H_{22}O_{11}$ 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 हैं। अन्य आयनी पदार्थों की स्थिति भी ऐसी ही होती है। $KCl, NaNO_3, MgO$ मूलनुपाती सूत्र के उदाहरण हैं क्योंकि उनके अणु नहीं पाए जाते हैं। सारणी 1.5 में कुछ अन्य उदाहरण दिए गए हैं।

सारणी 1.5 आण्विक और मूलानुपाती सूत्र

पदार्थ	आण्विक 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
सल्फर	S_8	S
बेंजीन	C_6H_6	CH
सोडियम क्लोराइड	—	NaCl
कैल्शियम ऑक्साइड	—	CaO

1.7.1 रासायनिक संघटन और सूत्र

मिथेन का अणु सूत्र CH_4 है, उसके एक किलोग्राम में कार्बन की मात्रा कितनी होगी? 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, सूत्र और मोल संकल्पना का अध्ययन किया है, क्या आप इनकी सहायता से उपर्युक्त प्रश्नों को हल कर सकते हैं? उत्तर है 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।

1.7.2 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)। सिद्धांत 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।

यौगिक में विद्यमान किसी तत्व का प्रतिशत द्रव्यमान

$$= \frac{\text{एक अणु सूत्र अथवा एक मूलानुपाती सूत्र में तत्व का द्रव्यमान}}{\text{यौगिक का अणु द्रव्यमान या मूलानुपाती द्रव्यमान}} \times 100$$

आइए Al_2O_3 का प्रतिशत संघटन परिकलित करें

$$\text{ऐलुमिनियम का प्रतिशत} = \frac{1 \text{ मोल } Al_2O_3 \text{ में Al का द्रव्यमान}}{Al_2O_3 \text{ का मोलर द्रव्यमान}} \times 100$$

Al_2O_3 का मोलर द्रव्यमान $= (2 \times 27.0)\ g + (3 \times 16.0)\ g = 102.0\ g$

चूँकि Al_2O_3 के 1 मोल में Al परमाणुओं के 2 मोल होते हैं, अत: Al का द्रव्यमान है

$$2 \times 27.0\ g = 54.0\ g\ Al$$

$$\text{ऐलुमिनियम का प्रतिशत} = \frac{54.0\ g}{102.0\ g} \times 100 = 52.9\ \%$$

इसी प्रकार हम ऑक्सीजन का प्रतिशत परिकलित कर सकते हैं; Al_2O_3 के 1 मोल में O परमाणुओं के 3 मोल होते हैं, इसलिए

$$\text{ऑक्सीजन का प्रतिशत} = \frac{3 \times 16.0\ g}{102.0\ g} \times 100 = 47.1\%$$

उदाहरण 1.8 : ब्यूटानोइक अम्ल का सूत्र $C_4H_8O_2$ है। ब्यूटानोइक अम्ल का तत्व विश्लेषण कीजिए।

हल : ब्यूटानोइक अम्ल का अणु सूत्र $C_4H_8O_2$ है।

ब्यूटानोइक अम्ल के 1 मोल में कार्बन परमाणुओं के 4 मोल, हाइड्रोजन परमाणुओं के 8 मोल और ऑक्सीजन परमाणुओं के 2 मोल हैं। इस प्रकार ब्यूटानोइक अम्ल का एक मोलर द्रव्यमान, कार्बन परमाणुओं के 4 मोलर द्रव्यमान, हाइड्रोजन परमाणु के 8 मोलर द्रव्यमान और ऑक्सीजन परमाणुओं के 2 मोलर द्रव्यमान के योग के बराबर होगा अथवा

ब्यूटानोइक अम्ल का 1 मोलर द्रव्यमान $= 4 \times 12.0\ g + 8 \times 1.0\ g + 2 \times 16.0\ g = 88.0\ g$

द्रव्यमान की दृष्टि से

$$\text{C का प्रतिशत} = \frac{48.0\ g}{88.0\ g} \times 100 = 54.5\%$$

$$\text{H का प्रतिशत} = \frac{8.0\ g}{88.0\ g} \times 100 = 9.1\%$$

$$\text{O का प्रतिशत} = \frac{32.0\ g}{88.0\ g} \times 100 = 36.4\%$$

ब्यूटानोइक अम्ल में O का प्रतिशत निम्नलिखित ढंग से भी परिकलित किया जा सकता है।

द्रव्यमान की दृष्टि से O का प्रतिशत= 100 – (द्रव्यमान से C का प्रतिशत + द्रव्यमान से H का प्रतिशत)

$$= 100 - (54.5 + 9.1) = 36.4\%$$

1.8 मूलानुपाती सूत्र का निर्धारण – सूत्र रससमीकरणमिति

अभी-अभी हमने पढ़ा कि यदि किसी यौगिक का सूत्र ज्ञात हो तो हम प्रतिशत संघटन परिकलित कर सकते हैं। अब प्रश्न उठता है कि यदि किसी यौगिक का प्रतिशत संघटन ज्ञात हो तो क्या

हम उसका सूत्र निर्धारित कर सकते हैं? इसका उत्तर होगा हाँ, परन्तु यह अणु सूत्र ना होकर मूलानुपाती सूत्र होगा क्योंकि इससे हमें यौगिक में विद्यमान परमाणुओं की आपेक्षिक संख्या ज्ञात होती है। साधारणतया हम अज्ञात यौगिक में विद्यमान विभिन्न तत्वों का प्रतिशत संघटन निर्धारित करते हैं और फिर उससे उसका सूत्र ज्ञात करते हैं। आइए जल का सरल उदाहरण लें। जल में द्रव्यमान से 11.11% हाइड्रोजन और 88.89% ऑक्सीजन होती है। आँकड़ों से हम जल का मूलानुपाती सूत्र ज्ञात कर सकते हैं। मान लीजिए हमारे पास जल के 100.00 g हैं, तो उसके प्रतिशत संघटन से ज्ञात होता है कि 100.0 g जल में 11.11 g हाइड्रोजन और 88.89 g ऑक्सीजन होती है।

परमाणु द्रव्यमान तालिका से ज्ञात होता है कि हाइड्रोजन परमाणुओं के एक मोल का द्रव्यमान 1.0g होता है और ऑक्सीजन परमाणुओं के एक मोल का द्रव्यमान 16.0 g होता है। अब हम इकाई रूपांतरण गुणक लिख सकते हैं, जिससे हाइड्रोजन और ऑक्सीजन के द्रव्यमानों को क्रमशः उनके परमाणुओं के मोलों में बदला जा सके चूँकि हाइड्रोजन परमाणु के 1 मोल का द्रव्यमान 1.0 g है। इसका रूपांतरण गुणक

$$\frac{1\text{मोल H परमाणु}}{1.0\text{ g H}}$$

इसलिए

$$11.11\text{ g H} = (11.11\text{ g H})\ \frac{1\text{मोल H परमाणु}}{1.0\text{ g H}} = 11.11\text{ मोल H परमाणु}$$

इसी प्रकार ऑक्सीजन के लिए रूपांतर गुणक

$$\frac{1\text{ मोल O परमाणु}}{16.0\text{ g O}}$$

$$\text{अतः, } 88.89\text{ g O} = (88.89\text{ g O})\ \frac{1\text{ मोल O परमाणु}}{16.0\text{ g O}} = 5.55\text{ मोल O परमाणु}$$

इस तरह जल में हाइड्रोजन और ऑक्सीजन परमाणुओं के मोलों का अनुपात 11.11 : 5.55 है। चूँकि **किसी तत्व के एक मोल में उस तत्व के परमाणुओं की जो संख्या होती है, वही संख्या दूसरे तत्व के एक मोल में होती है।** अतः किसी यौगिक के परमाणुओं के मोलों का अनुपात परमाणुओं की संख्या का अनुपात भी होता है।

इसलिए जल में हाइड्रोजन और ऑक्सीजन के परमाणुओं का अनुपात 11.11 : 5.55 होता है। प्रत्येक को उनमें से छोटी संख्या से भाग देने पर हम दोनों संख्याओं को पूर्णांकों में बदल सकते हैं।

$$\frac{11.11}{5.55} = 2 \text{ और } \frac{5.55}{5.55} = 1$$

इस प्रकार हाइड्रोजन और ऑक्सीजन परमाणुओं का अनुपात 2 : 1 है और इसलिए जल का मूलानुपाती सूत्र H_2O है।

पाठगत प्रश्न 1.6

1. यौगिक Fe_3O_4 में Fe और O का प्रतिशत ज्ञात कीजिए।
2. निम्नलिखित में प्रत्येक का प्रतिशत संघटन ज्ञात कीजिए :

   (a) $SrCO_3$ में C का (b) H_2SO_4 में SO_3 का
3. नीचे दिए 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 ऑक्सीजन केवल दो तत्वों का बना है। यदि इस यौगिक में 53.1% कार्बन है तो उसका मूलानुपाती सूत्र बताइए।

1.9 रासायनिक समीकरण और अभिक्रिया रससमीकरणमिति

आपने पढ़ा कि रासायनिक अभिक्रिया को रासायनिक समीकरण के रूप में लिखा जा सकता है। एक संतुलित रासायनिक समीकरण मात्रात्मक एवं गुणात्मक, दोनों तथ्य दर्शाता है। निम्नलिखित समीकरण के अवलोकन से देखें क्या पता चलता है :

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) \quad ...(2.1)$$

(1) गुणात्मक अर्थ

गुणात्मक दृष्टि से समीकरण (2.1) दर्शाती है कि लोहा ऑक्सीजन के साथ अभिक्रिया करके आयरन आक्साइड बनाता है।

(2) मात्रात्मक अर्थ

मात्रात्मक दृष्टि से एक संतुलित रासायनिक अभिक्रिया अभिकारकों और उत्पादों की मात्राओं में संख्यात्मक संबंध दर्शाती है। इन संबंधों को प्रकट करती है :

(i) **सूक्ष्म राशियाँ** जैसे परमाणु, अणु, सूत्र इकाई

(ii) **स्थूल राशियाँ** जैसे अभिकारकों और उत्पादों के मोल, द्रव्यमान और आयतन *(गैसीय पदार्थों के लिए)* आदि।

अब फिर से अभिक्रिया (2.1) के मात्रात्मक अर्थों को देखते हैं।

1.10 सूक्ष्म मात्रात्मक अर्थ

अभिक्रिया (2.1)

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) \quad ...(2.1)$$

के अनुसार – *लोहे के 4 परमाणु, ऑक्सीजन के 3 अणुओं से संयोग करके आयरन ऑक्साइड की 2 सूत्र इकाइयाँ बनाते हैं।* अक्सर इन मात्राओं को अभिकारक और उत्पाद के नीचे लिख दिया जाता है, जैसे कि नीचे दिखाया गया है–

$$\underset{\text{Fe के 4 परमाणु}}{4Fe(s)} + \underset{\text{O}_2\text{ के 3 अणु}}{3O_2(g)} \rightarrow \underset{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{ के 2 सूत्र इकाई}}{2Fe_2O_3(s)} \quad ...(2.1a)$$

1.11 स्थूल मात्रात्मक अर्थ

ऊपर दिए गए सूक्ष्म मात्रात्मक अर्थ को स्थूल मात्रात्मक अर्थ में मोल संकल्पना (जो कि आप पाठ 1 में पढ़ चुके हैं) की सहायता से बदला जा सकता है।

(a) मोल संबंध

हम जानते हैं कि किसी पदार्थ की मौलिक सत्ताएँ जैसे परमाणु, अणु, आयन अथवा सूत्र इकाई का एक मोल आवोगाद्रो संख्या से बनता है। चलिए, अब हम (समीकरण 2.1a) के अणुओं, परमाणुओं और सूत्र द्रव्यमान की संख्या को आवोगाद्रो स्थिरांक N_A से गुणा कर देते हैं

$$\underset{\text{Fe के 4 परमाणु}}{4\,Fe(s)} + \underset{\text{O}_2\text{ के 3 अणु}}{3O_2(g)} \rightarrow \underset{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{ के 2 सूत्र इकाई}}{2Fe_2O_3(s)} \quad ..(2.1)$$

$$\underset{\text{Fe के 4 मोल}}{4 \times N_A\ Fe \text{ के परमाणु}} \quad \underset{\text{O}_2\text{ के 3 मोल}}{3 \times N_A\ O_2 \text{ के अणु}} \quad \underset{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{ के 2 मोल}}{2 \times N_A\ Fe_2O_3 \text{ के सूत्र इकाई}}$$

इस समीकरण को लिख सकते हैं :

$$\underset{\text{Fe के 4 मोल}}{4Fe(s)} + \underset{\text{O}_2\text{ के 3 मोल}}{3O_2(g)} \rightarrow \underset{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{ के 2 मोल}}{2Fe_2O_3(s)} \quad ...(2.1b)$$

समीकरण (2.1b) अभिकारकों और उत्पादों के मोल संबंध दर्शाती है। इसके अनुसार लोहे के 4 मोल O_2 के 3 मोल के साथ क्रिया करके Fe_2O_3 के 2 मोल देते हैं।

(b) द्रव्यमान संबंध

पिछले भाग में आपने मोल संबंध के बारे में पढ़ा, इसे द्रव्यमान संबंध में बदलने के लिए हम इस तथ्य का प्रयोग करेंगे कि किसी पदार्थ के एक मोल का द्रव्यमान उसके मोलर द्रव्यमान के बराबर होता है। मोलर द्रव्यमान का परिकलन सूत्र में उपस्थित विभिन्न तत्वों के आपेक्षित परमाणुक द्रव्यमानों की सहायता से किया जाता है।

जिस समीकरण की हम चर्चा कर रहे हैं उसमें लोहे और ऑक्सीजन के आपेक्षिक परमाणुक द्रव्यमान क्रमशः 55.8 और 16.0 हैं। इसलिए

(i) Fe का मोलर द्रव्यमान $= 55.8\ g\ mol^{-1}$

(ii) O_2 का मोलर द्रव्यमान $= 2 \times 16.0 = 32\ g\ mol^{-1}$

(iii) Fe_2O_3 का मोलर द्रव्यमान $= (2 \times 55.8 + 3 \times 16.0)\ g\ mol^{-1}$

$= 159.6\ g\ mol^{-1}$

इन मोलर द्रव्यमानों का प्रयोग करते हुए हम समीकरण (2.1b) में दिए गए मोल संबंध को द्रव्यमान संबंध में नीचे दिए गए ढंग से बदल सकते हैं :

$4Fe(s)$	+	$3O_2(g)$	$\rightarrow$	$2Fe_2O_3(s)$
Fe के 4 मोल		**O_2 के 3 मोल**		**Fe_2O_3 के 2 मोल**
(4×55.8) g Fe		(3×32) g O_2		(2×159.6) g Fe_2O_3
223.2 g Fe		96 g O_2		319.2 g Fe_2O_3

अत: 223.2 g लोहा 96 g ऑक्सीजन से क्रिया करके 319.2 g आयरन ऑक्साइड बनाता है। हम उपर्युक्त समीकरण को इस प्रकार भी लिख सकते हैं :

$4Fe(s)$	+	$3O_2(g) \rightarrow$	$2Fe_2O_3(s)$	(2.1c)
223.2 g Fe		**96 g O_2**	**319.2 g Fe_2O_3**	

(c) आयतन संबंध

हम जानते हैं कि किसी भी गैस का STP (मानक ताप और दाब, 0ºC और 1 बार दाब) पर आयतन 22.7 L* होता है। इस तथ्य से हम गैसीय पदार्थों के बीच आयतन संबंध निकाल सकते हैं। जिस समीकरण की हम चर्चा कर रहे हैं उसमें केवल एक गैसीय पदार्थ O_2 है। हम समीकरण (2.1b) को लिख सकते हैं:

$4Fe(s)$	+	$3O_2(g)$	$\rightarrow$	$2Fe_2O_3(s)$	(2.1b)
4 मोल		**3 मोल**		**2 मोल**	
		STP पर (3×22.7) L			
		STP पर 68.1 L			
		STP पर 68.1 L			

अत: 4 मोल लोहा, STP पर 68.1 L ऑक्सीजन के साथ क्रिया करके 2 मोल आयरन ऑक्साइड बनाता है। (आयतन संबंध, उन समीकरणों के लिए अधिक लाभदायक होता है जिनमें दो या दो से अधिक गैसीय पदार्थ हों।)

हम उपर्युक्त समीकरण के सूक्ष्म तथा स्थूल मात्रात्मक संबंध इस प्रकार लिख सकते हैं :

$4Fe(s)$	+	$3O_2(s)$	$\rightarrow$	$2Fe_2O_3(s)$
4 परमाणु		**3 अणु**		**2 सूत्र इकाई**
4 मोल		3 मोल		2 मोल
223.2 g		96 g		319.2 g
–		68.1 L (STP पर)		–

हम मिश्रित संबंध भी प्रयोग कर सकते हैं। उदाहरणार्थ, हम कह सकते हैं कि 4 मोल लोहा 68.1 L (STP पर) ऑक्सीजन से क्रिया करके 319.2 g आयरन ऑक्साइड बनाता है।

आइए, दो अन्य उदाहरणों के साथ इन संबंधों को समझें।

---

* पूर्व में, मानक दाब 1 एटमॉस्फियर लिया गया और STP पर गैस के एक अणु का आयतन 22.4 L लिया गया।

(क) हाबर प्रक्रम से अमोनिया के निर्माण के लिए मोल, द्रव्यमान और आयतन संबंधों को देखें।

सूक्ष्म संबंध	$N_2(g)$	$+3H_2(g)$ $\longrightarrow$	$2NH_3(g)$	...(2.2)
स्थूल संबंध	1 अणु	3 अणु	2 अणु	
(i) मोल	1 मोल	3 मोल	2 मोल	
(ii) द्रव्यमान	28 g	$(3 \times 2.0) = 6.0$ g	$(2 \times 17.0) = 34$ g	
(iii) आयतन	1×22.7 L $= 22.7$ L	(3×22.7) L $= 68.1$ L	(2×22.7)L $= 45.4$ L	
अथवा	1 आयतन	3 आयतन	2 आयतन	

(ख) आइए, अब ब्यूटेन की दहन प्रक्रिया के लिए विभिन्न संबंध देखें। समीकरण हैं :

$2C_4H_{10}(g)$	+	$13O_2(g)$	$\rightarrow$	$8CO_2(g)$	+	$10H_2O(g)$
2 अणु		13 अणु		8 अणु		10 अणु
2 मोल		13 मोल		8 मोल		10 मोल
$2 \times (4 \times 12 + 10 \times 1)$ g		(13×32) g		$8 \times (12 + 2 \times 16)$ g		$10 \times (2 \times 1 + 16)$ g
116 g		416 g		352 g		180 g
$2 \times 22.7 = 45.4$ L		$13 \times 22.7 = 295.1$ L		$8 \times 22.7 = 181.6$ L		$10 \times 22.7 = 227$ L
2 आयतन		13 आयतन		8 आयतन		10 आयतन

आइए, अब मोल, द्रव्यमान और आयतन संबंधों से कुछ परिकलन करें।

उदाहरण 1.9 : हाबर प्रक्रम द्वारा अमोनिया के निर्माण में नाइट्रोजन, हाइड्रोजन के साथ उच्च ताप और दाब पर उत्प्रेरक की उपस्थिति में क्रिया करके अमोनिया बनाती है

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

एक मीट्रिक टन अमोनिया बनाने के लिए कितनी हाइड्रोजन की आवश्यकता होगी?

हल : सबसे पहले समीकरण के लिए द्रव्यमान संबंध निकालते हैं :

$N_2(g)$	+	$3H_2(g)$	$\longrightarrow$	$2NH_3(g)$
1 मोल		**3 मोल**		**2 मोल**
$1 \times 28g = 28$ g		$3 \times 2g = 6.0$ g		$2 \times 17g = 34$ g

हम जानते हैं

$$1 \text{ मीट्रिक टन} = 1000 \text{ kg} = 10^3 \text{ kg} = 10^6 \text{ g}$$

द्रव्यमान संबंध से 34 g NH_3 अमोनिया के निर्माण के लिए 6.0 g H_2 की आवश्यकता है

$$\therefore 10^6 \text{g } NH_3 \text{ के लिए } \frac{6.0 \times 10^6}{34} \text{ g} = 1.76 \times 10^5 \text{g of } H_2 \text{की आवश्यकता होगी}$$

अत: 1 मीट्रिक टन अमोनिया, 1.176×10^5g H_2 से मिलेगी।

उदाहरण 1.10 : ब्यूटेन C_4H_{10}, को ईंधन के रूप में प्रयोग करने वाली रॉकेट मोटर को, प्रत्येक kg ब्यूटेन के पूर्ण दहन के लिए कितने kg ऑक्सीजन की आवश्यकता होगी?

हल : ब्यूटेन की दहन अभिक्रिया इस प्रकार है :

$$2C_4H_{10}(g) + 13O_2(g) \longrightarrow 8CO_2(g) + 10H_2O(g)$$

2 मोल   **13 मोल**

$2 \times 58 = 116$ g   **$13 \times 32 = 416$ g**

अत: पूर्ण दहन के लिए 116 g ब्यूटेन को 416g ऑक्सीजन की आवश्यकता होगी

$$1000 \text{ g ब्यूटेन को} = \frac{416 \times 1000}{116} \text{ g} = 3586 \text{ g } O_2 \text{ की आवश्यकता होगी}$$

$$= 3.586 \text{ kg } O_2 \approx 3.59 \text{ kg } O_2$$

उदाहरण 1.11 : लेड सल्फाइड PbS और लेड ऑक्साइड PbO, को एक साथ गर्म करने पर लेड धातु और SO_2 सल्फर डाइऑक्साइड बनते हैं

$$PbS(s) + 2PbO(s) \xrightarrow{\text{गर्म करने पर}} 3Pb\ (l) + SO_2(g)$$

यदि 14.0 g लेड ऑक्साइड ऊपर दी गई समीकरण के अनुसार क्रिया करें तो कितने (a) मोल लेड (b) ग्राम लेड (c) लेड के परमाणु और (d) ग्राम सल्फर डाइऑक्साइड बनेंगे?

(परमाणुक द्रव्यमान : Pb = 207.0, S = 32.1 ; O =16.0)

हल : संतुलित समीकरण इस प्रकार है

$$PbS(s) + 2PbO(s) \xrightarrow{\text{गर्म करने पर}} 3Pb\ (l) + SO_2(g)$$

1मोल   **2मोल**   **3 मोल**   **1मोल**

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

1 मोल PbO सूत्र इकाई का द्रव्यमान है 223.0 g

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

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

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

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

(b) लेड का परमाणु द्रव्यमान 207.0 है। इससे ज्ञात होता है कि लेड परमाणु के 1 मोल का द्रव्यमान 207.0 g है। अत: 9.42×10^{-2} मोल लेड के परमाणुओं का द्रव्यमान इस प्रकार होगा :

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

(c) लेड परमाणुओं के 9.42×10^{-2} मोल

9.42×10^{-2} मोल Pb परमाणु $\times 6.022 \times 10^{23}$ atoms $mol^{-1} = 5.67 \times 10^{22}$ Pb परमाणु

(d) संतुलित समीकरण के अनुसार PbO सूत्र इकाइयों के 2 मोल, SO_2 अणुओं का 1 मोल बनाते हैं।

इसलिए, PbO सूत्र इकाइयों के 6.28×10^{-2} मोल से –

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

$$= 3.14 \times 10^{-2} \text{ mol } SO_2$$

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

SO_2 अणुओं के 1 मोल का द्रव्यामन = 64.1 g mol^{-1} है

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

$= 3.14 \times 10^{-2} \text{ mol}^{-1} \times 64.1 \text{ g mol}^{-1} = 2.01$ g

पाठगत प्रश्न 1.7

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

इस अभिक्रिया के अनुसार (a) 0.207 मोल N_2 (b) 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 (a) O_2 के अणुओं के कितने मोल उपयुक्त होंगे, (b) H_2O के अणुओं के कितने मोल बनेंगे यदि C_2H_4 अणुओं के 4.16×10^{-2} मोल अभिक्रिया करें?

1.12 सीमांत अभिकारक

अक्सर देखा जाता है कि जो पदार्थ एक दूसरे से अभिक्रिया करते हैं वे संतुलित समीकरण के अनुसार ठीक उसी अनुपात में विद्यमान नहीं होते हैं जिसमें होना चाहिए। उदाहरण के लिए यदि हाइड्रोजन के 2 मोल और ऑक्सीजन के 2 मोल को आपस में मिलाकर मिश्रण में स्फुलिंग

(चिन्गारी) प्रवाहित की जाए तो जल बनता है। समीकरण के अनुसार

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

यहाँ हाइड्रोजन के 2 मोल ऑक्सीजन के केवल 1 मोल से अभिक्रिया करते हैं और इस प्रकार ऑक्सीजन का 1 मोल अनाभिकृत रह जाता है। इस उदाहरण में हाइड्रोजन को सीमांत अभिकारक कहा जाता है क्योंकि हाइड्रोजन की मात्रा शून्य हो जाती है और दूसरे अभिकारक यानि ऑक्सीजन 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 1.12 : SO_2 के 3 मोल, ऑक्सीजन O_2 के 2 मोलों से अभिक्रिया करके SO_3 बनाते हैं। इस अभिक्रिया में

(i) सीमांत अभिकर्मक क्या है?

(ii) SO_3 की अधिकतम मात्रा कितनी बनेगी?

हल : (i) सबसे पहले हम संतुलित समीकरण लिखते हैं

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

SO_2 के 2 मोल ऑक्सीजन के 1 मोल से संयोग करके SO_3 के 2 मोल बनाते हैं और O_2 का 1 मोल SO_3 के 2 मोल बनाते हैं। लेकिन हमारे पास SO_2 के 3 मोल और ऑक्सीजन (O_2) के 2 मोल हैं, अत: SO_3 की संगत मात्राएँ इस प्रकार होंगी :

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

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

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।

उदाहरण 1.13 : STP (273 K, 1 bar) पर 2L क्लोरीन गैस के फ्लास्क में 2.3 g सोडियम धातु रखी जाती है। अभिक्रिया के बाद, बताइए

(i) इस अभिक्रिया में सीमांत अभिकारक कौन-सा है?

(ii) सोडियम क्लोराइड के कितने मोल बनते हैं?

(iii) अभिक्रिया के बाद कौन सा अभिकारक अनाभिकृत रह जाता है? उसका द्रव्यमान ग्राम में निकालें।

(iv) अधिकता में उपस्थित पदार्थ का कितना प्रतिशत सोडियम क्लोराइड में परिवर्तित हुआ है?

(दिया है : Na = 23, Cl = 35.5)

हल :

$$\underset{\text{2 मोल}}{2\,Na\,(s)} + \underset{\text{1 मोल}}{Cl_2(g)} \longrightarrow \underset{\text{2 मोल}}{2NaCl\,(s)}$$

अथवा STP पर 22.7 L

(i) रखे गए Na के मोल $= \dfrac{2.3\,g}{23\,g\,mol^{-1}} = 0.1$ मोल

उपर्युक्त समीकरण के अनुसार, 2 मोल Na से 2 मोल NaCl बनता है।

इसलिए 0.1 मोल Na से $= \dfrac{2\times0.1}{2} = 0.1$ मोल NaCl बनेगा।

STP पर मोलर आयतन = 22.7 L

इसलिए STP पर 2 L क्लोरीन के मोल $= \dfrac{2L}{22.7\,L\,mol^{-1}} = 0.088$ mol

समीकरण से : 1 मोल Cl_2, 2 मोल NaCl देती है।

यहाँ 0.088 मोल Cl_2 बनाएगी $2 \times 0.088 = 0.176$ मोल NaCl

क्योंकि Na, NaCl की कम मात्रा बनाता है, इसलिए Na सीमांत अभिकारक है।

(ii) भाग (i) के अनुसार Na सीमांत अभिकारक है, NaCl के मोल बनते हैं = 0.1 मोल

(iii) उपर्युक्त समीकरण से, 1 मोल Cl_2 से 2 मोल NaCl बनते हैं

यहाँ 0.1 मोल NaCl बनेगा $\dfrac{1\times0.1}{2} = 0.05$ मोल Cl_2 से।

Cl_2 के आरंभिक मोल = 0.088 mol

अनाभिकृत Cl_2 मोलों की संख्या = (0.088 – 0.05) मोल = 0.038 मोल

यहाँ अनाभिकृत Cl_2 का द्रव्यमान $= 0.038\ mol \times 71.0\ g\ mol^{-1} = 2.698\ g$

(Cl_2 का मोलर द्रव्यमान है $= 2 \times 35.5 = 71.0\ g\ mol^{-1}$)

(iv) अभिकृत हुए Cl_2 के मोल = 0.05 मोल 0.088 मोल में से

$\therefore$ Cl_2 का अभिकृत प्रतिशत जो NaCl बनाता है $= \dfrac{0.05}{0.088} \times 100 = 56.8\ \%$

उदाहरण 1.14 : $MgCO_3$ और $CaCO_3$ के 2.0g मिश्रण को, भार में कमी होने तक गर्म किया गया। अवशेष का भार है 1.04g। मिश्रण का प्रतिशत संघटन निकालिए। (Mg = 24, Ca = 40, C = 12, O = 16)

हल : दिए गए $MgCO_3$ और $CaCO_3$ के मिश्रण का भार = 2.0 g

यदि $MgCO_3$ का द्रव्यमान = x g

तो $CaCO_3$ का द्रव्यमान होगा = $(2.0 - x)$ g

दोनों की अपघटन प्रक्रिया इस प्रकार है :

$$\underset{\substack{(24+12+48)\ g \\ 84\ g}}{MgCO_3(s)} \rightarrow \underset{\substack{(24+16)\ g \\ 40\ g\ (\text{अवशेष})}}{MgO(s)} + CO_2(g) \qquad \text{(i)}$$

$$\underset{\substack{(40+12+48)\ g \\ 100\ g}}{CaCO_3(s)} \rightarrow \underset{\substack{(40+16)\ g \\ 56\ g\ (\text{अवशेष})}}{CaO(s)} + CO_2(g) \qquad \text{(ii)}$$

समीकरण (i) से

84 g $MgCO_3$ से अवशेष बचता है = 40 g

x g $MgCO_3$ से अवशेष बचेगा = $\dfrac{40x}{84}$ g

समीकरण (ii) से

100 g $CaCO_3$ से अवशेष बचता है = 56 g

$(2.0 - x)$ g $CaCO_3$ से अवशेष बचेगा = $\dfrac{56 \times (2.0 - x)}{100}$ g

कुल अवशेष का द्रव्यमान = $\dfrac{40x}{84} + \dfrac{56 \times (2.0 - x)}{100}$ = 1.04 g (दिया है)

$$40 \times 100x + 84 \times 56 \times 2 - 84 \times 56x = 84 \times 100 \times 1.04$$

$$4000x + 9408 - 4704x = 8736$$

$$9408 - 8736 = (4704 - 4000)x$$

$$672 = 704x$$

इसलिए, मिश्रण में $MgCO_3$ का द्रव्यमान = $x = \dfrac{672}{704} = 0.96$ g

इसलिए, $MgCO_3$ का प्रतिशत = $\dfrac{0.96}{2.0} \times 100 = 48\ \%$

$CaCO_3$ का प्रतिशत = 100 – 48 = 52 %

आपने क्या सीखा

- मोल पदार्थ की वह मात्रा है जिसमें उस पदार्थ की उतनी सत्ताएँ होती हैं जितने C-12 के 0.012 kg अथवा 12 g में परमाणु होते हैं। इस प्रकार मोल एक संख्या का द्योतक है।
- पदार्थ के एक मोल में उसकी सत्ताओं की संख्या 6.022×10^{23} होती है।
- किसी पदार्थ के एक मोल के द्रव्यमान को उसका मोलर द्रव्यमान कहते हैं। यह संख्या में सापेक्ष परमाणु द्रव्यमान अथवा सापेक्ष अणु द्रव्यमान के बराबर होता है जिसे ग्राम प्रति मोल अथवा ($g\ mol^{-1}$) या किलोग्राम प्रति मोल ($kg\ mol^{-1}$) में व्यक्त किया जाता है।
- किसी पदार्थ के एक मोल के आयतन को उसका मोलर आयतन कहते हैं। मानक दाब और ताप पर, STP (273 K,1 bar) किसी आदर्श गैस के एक मोल का आयतन = 22.7 L होता है।
- आयनी पदार्थों का मोलर द्रव्यमान सांख्यिक रूप में यौगिक के सूत्र द्रव्यमान के बराबर होता है जिसे ग्राम में व्यक्त करते हैं।
- अगर किसी पदार्थ का मोलर द्रव्यमान ज्ञात हो तो निश्चित द्रव्यमान वाले नमूने में विद्यमान पदार्थ की मात्रा/मोलों का परिकलन किया जा सकता है। यदि मोलर द्रव्यमान M हो तो m द्रव्यमान वाले नमूने में विद्यमान पदार्थ के मोलों की संख्या n को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है $n = \frac{m}{M}$
- रासायनिक सूत्र न केवल यौगिक का नाम निरूपित करता है बल्कि वह (i) परमाणुओं की अपेक्षिक संख्या (ii) परमाणुओं के मोलों की आपेक्षिक संख्या, के रूप में उसके संघटन को भी व्यक्त करता है।
- किसी पदार्थ का अणु सूत्र (i) एक अणु में विभिन्न तत्वों के परमाणुओं की संख्या (ii) अणुओं के एक मोल में विभिन्न परमाणुओं के मोलों की संख्या दर्शाता है।
- मूलानुपाती सूत्र (i) परमाणुओं का अनुपात और (ii) यौगिक में परमाणुओं के मोलों का अनुपात दर्शाता 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 मालुम 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 (अभिक्रिया अथवा समीकरण रससमीकरणमिति) अध्ययन 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 जाता है।
- एक संतुलित समीकरण प्रदर्शित करती है कि अभिकारकों में विद्यमान सभी परमाणु अणुओं उत्पादों में विद्यमान हैं क्योंकि किसी अभिक्रिया में न तो परमाणु बनते हैं और न ही नष्ट होते हैं।
- किसी संतुलित समीकरण में अभिकारकों के मोलों का रससमीकरणमिति 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. लोहे के एक टुकड़े का द्रव्यमान 65.0 g है। उसमें विद्यमान परमाणुओं की संख्या बताइए? (परमाणु द्रव्यमान; Fe = 55.9 amu)।

2. फॉस्फोरस के एक टुकड़े का द्रव्यमान 99.2 g है। उसमें विद्यमान फॉस्फोरस P_4 के मोलों की संख्या बताइए? (परमाणु द्रव्यमान, P = 31.0 amu)

3. फ्लोरीन के 8.46×10^{24} परमाणुओं का द्रव्यमान 266.95 g है। फ्लोरीन का परमाण्विक द्रव्यमान परिकलित कीजिए।

4. मैग्नीशियम के एक नमूने में 1.92×10^{22} परमाणु हैं इस नमूने का द्रव्यमान ग्रामों में ज्ञात कीजिए। (परमाणु द्रव्यमान = 24.3 amu)

5. नीचे दिए गए रासायनिक पदार्थों के मोलर द्रव्यमान ($g\ mol^{-1}$ में) ज्ञात कीजिए :

   (i) सोडियम हाइड्रॉक्साइड, NaOH (ii) कॉपर सल्फेट, $CuSO_4 .5H_2O$.

   (iii) सोडियम कार्बोनेट, $Na_2CO_3 .10H_2O$

6. फॉस्फोरस ट्राइक्लोराइड (PCl_3) के 150 g के नमूने के लिए निम्नलिखित परिकलन कीजिए:

   (i) एक PCl_3 अणु का द्रव्यमान

   (ii) नमूने में PCl_3 और Cl के मोलों की संख्या

   (iii) नमूने में Cl परमाणुओं के ग्राम की संख्या

   (iv) नमूने में PCl_3 अणुओं की संख्या

7. कार्बन-12 का वह द्रव्यमान ज्ञात करिए जिसमें 1×10^{19} परमाणु हों?

8. कार्बन-12 परमाणुओं के 100g के नमूने में उसके परमाणुओं की संख्या बताइए?

9. $CaCO_3$ के कितने मोलों का द्रव्यमान 5 g होगा?

10. यदि $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ अभिक्रिया के लिए 1.0×10^{23} नाइट्रोजन अणुओं की आवश्यकता होती है, तो

    (i) आवश्यक N_2 का ग्राम में द्रव्यमान निकालिए?

    (ii) N_2 के 1.0×10^{23} अणुओं से उपर्युक्त अभिक्रिया में NH_3 के कितने मोल बनेंगे?

    (iii) भाग (ii) में बनने वाली NH_3 का STP पर क्या आयतन होगा?

11. निम्न यौगिकों के मूलानुपाती सूत्र लिखिए

    $CO, Na_2SO_3, C_4H_{10}, H_2O_2, KC1$

12. 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।

13. NO और N_2O_3 यौगिकों में, ऑक्सीजन के उन द्रव्यमानों का अनुपात बतलाइए जो नाइट्रोजन के 1.0 gram के साथ संयुक्त है।

14. एक यौगिक में गंधक और ऑक्सीजन है, विश्लेषण करने पर यह ज्ञात होता है कि उसमें द्रव्यमान की दृष्टि से 50.1% गंधक और 49.9% ऑक्सीजन है। यौगिक का सरलतम सूत्र बताइए।

15. 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 0.0845 g H_2O उत्पन्न होता है। हाइड्रोकार्बन में इन तत्वों का प्रतिशत ज्ञात करिए।

16. एक कार्बन, हाइड्रोजन और ऑक्सीजन 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 आण्विक द्रव्यमान 60amu पाया गया।

    (क) यौगिक के 2.4 g में कार्बन, हाइड्रोजन और ऑक्सीजन के द्रव्यमान परिकलित कीजिए।

    (ख) यौगिक के मूलानुपाती सूत्र और अणु सूत्र बताइए।

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

    $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(1)$

    (ii) ऊपर दी गई अभिक्रिया के अनुसार, O_2 के 96g के साथ अभिक्रिया करने के लिए CH_4 के कितने ग्रामों की आवश्यकता होगी?

18. 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?

    $H_2 + C1_2 \rightarrow 2HC1$

19. 3.65 g H_2 और 26.7 g O_2 को परस्पर मिलाकर अभिक्रिया करने से H_2O के कितने ग्राम बनेंगे?

20. कास्टिक सोडा NaOH का व्यावसायिक निर्माण Na_2CO_3 की अभिक्रिया गरम दूधिया चूने $Ca(OH)_2$ के साथ करा कर होता है। 2 किग्रा. Na_2CO_3 के साथ $Ca(OH)_2$ की अभिक्रिया कराने पर कितने ग्राम NaOH प्राप्त होगा?

21. एक स्थानांतरित हो सकने वाले हाइड्रोजन जेनेरेटर में निम्नलिखित अभिक्रिया होती है

$$CaH_2 + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H_2$$

CaH_2 के 100g वाले कैप्सूल से कितने ग्राम H_2 बनेगी?

22. $2Al + 3MnO \rightarrow Al_2O_3 + 3Mn$ उपर्युक्त अभिक्रिया सीमांत पदार्थ के उपयुक्त होने तक होती है। 220 g Al और 400 g MnO के मिश्रण को गर्म करके अभिक्रिया शुरू की गई। कौन-सा प्रारंभिक पदार्थ अनभिकृत बचा और कितना? (Al = 27, Mn = 55).

23. $KClO_4$ का निर्माण अभिक्रियाओं के निम्नलिखित क्रम द्वारा किया जा सकता है :

$$Cl_2 + 2KOH \rightarrow KCl + KClO + H_2O$$

$$3KClO \rightarrow 2KCl + KClO_3$$

$$4KClO_3 \rightarrow 3KClO_4 + KCl$$

उपर्युक्त क्रम के अनुसार 400g $KClO_4$ बनाने के लिए कितनी Cl_2 की आवश्यकता होगी?

(K = 39, Cl = 35.5, O = 16, H = 1)

24. Na_2CO_3 और $NaHCO_3$ के 2.0g मिश्रण को गर्म करने पर उसका भार 1.876 g रह गया। मिश्रण का प्रतिशत संघटन ज्ञात कीजिए।

25. 150g चाक (कैल्सियम कार्बोनेट) के अपघटन के लिए, 60 % सल्फ्यूरिक अम्ल की आवश्यक मात्रा का परिकलन कीजिए। (दिया है Ca = 40, C = 12, O = 16, S = 32)

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

1.1

1. स्वास्थ्य, औषधि, ऊर्जा, खाद्य, खेती इत्यादि।
2. लूसियस एवं उसका विद्यार्थी डेमोक्राइटस।
3. सभी अभिक्रियाओं में सभी अभिकारक का कुल द्रव्यमान, उत्पाद के कुल द्रव्यमान के बराबर हेता है।
4. परमाणु एक अत्यधिक सूक्ष्म कण है जो अपनी पहचान सभी रासायनिक अभिक्रियाओं में बनाए रखता है।

5. अणु कम से कम दो परमाणुओं का संयुक्त रूप है जिसमें सभी परमाणु एक निश्चित व्यवस्था द्वारा बंधे होते हैं।
6. यह लैटिन शब्द नेट्रियम से बना है। अतः संकेत Na है।
7. तत्व में केवल एक प्रकार के ही परमाणु रहते हैं जबकि किसी यौगिक में एक से अधिक प्रकार के परमाणु आपस में एक सामान्य अनुपात में बंधे होते हैं।

1.2

1. किलोग्राम
2. μg
3. (i) h (ii) n
4. (i) मैगासेकेण्ड, 10^6 s (ii) मिलिसेकेण्ड, 10^{-3} s

1.3

1. N_2 गैस के मोल = $\frac{4.22\times10^{23}\text{ अणु}}{6.022\times10^{23}\text{ अणु मोल}^{-1}} = 0.70$ mol

2. मैग्नीशियम की मात्रा (मोलों में) = $\frac{8.46\times10^{24}\text{ परमाणु}}{6.022\times10^{23}\text{ परमाणु मोल}^{-1}} = 14.05$ मोल

3. Cl_2 के 0.25 मोल में Cl_2 अणुओं की संख्या = $0.25 \times 6.022 \times 10^{23}$ अणु

   $= 1.5055 \times 10^{23}$ अणु

   क्योंकि प्रत्येक Cl_2 अणु में 2Cl परमाणु होते हैं, Cl परमाणुओं की संख्या = $2 \times 1.5055 \times 10^{23} = 3.011 \times 10^{23}$ परमाणु

1.4

1. हाइड्रोजन क्लोराइड का मोलर द्रव्यमान = HCl का मोलर द्रव्यमान

   = H का 1 मोल + Cl का 1 मोल

   = 1.0 g mol^{-1} + 35.5 g mol^{-1}

   = 36.5 g mol^{-1}

2. आर्गन परमाणुओं का मोलर द्रव्यमान = 1 मोल आर्गन का द्रव्यमान

   = आर्गन के 6.022×10^{23} परमाणुओं का द्रव्यमान

   = 6.634×10^{-26} kg $\times 6.022 \times 10^{23}$ mol^{-1}

   = 39.95×10^{-3} kg mol^{-1}

   = 39.95 g mol^{-1}

3. KNO_3 का मोलर द्रव्यमान = 1 मोल K का द्रव्यमान + 1 मोल N का द्रव्यमान + 3 मोल O का द्रव्यमान

क्योंकि किसी तत्व का मोलर द्रव्यमान संख्या में उसके परमाणु द्रव्यमान के बराबर होता है, पर उसका मात्रक amu की जगह g mol^{-1} होता है,

$$= 39.1\ g + 14.0\ g + 3 \times 16.0\ g$$

$\therefore$ KNO_3 का मोलर द्रव्यमान = 39.1 g + 14.0 g + 48.0 g = 101.1 g mol^{-1}

4. Na_3PO_4 के 1 मोल का द्रव्यमान = 3 × (1 मोल Na का द्रव्यमान) + (1 मोल P का द्रव्यमान) + 4 × (1 मोल O का द्रव्यमान)

$$= 3\ (23.0\ g) + 31.0\ g + 4(16.0)\ g$$

$$= 69.0\ g + 31.0\ g + 64.0\ g = 164.0\ g$$

$\therefore$ Na_3PO_4 के 0.146 मोल का द्रव्यमान = 0.146 × 164.0 g = 23.94 g

1.5

1. 3.05 g ताम्र में ताम्र परमाणुओं के मोल = $\frac{3.05\ g}{63.5\ g\ mol^{-1}} = 0.048$ मोल

2. सोने, Au के मोल = $\frac{12.6\ g}{197\ g\ mol^{-1}} = 0.064$ मोल

3. STP (273 K, 1 bar) पर किसी गैस का मोलर द्रव्यमान = 22.7 L

$\therefore$ STP पर 2.5 मोल CO_2 का आयतन = 2.5 × 22.7 L = 56.75 L

1.6

(1) Fe_3O_4 का मोलर द्रव्यमान = 3 × 56.0 + 4 × 16.0

$$= (168.0 + 64.0) = 232.0\ g\ mol^{-1}$$

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

$$\text{O का प्रतिशत} = \frac{64.0}{232.0} \times 100 = 27.59\%$$

(2) (a) $SrCO_3$ का मोलर द्रव्यमान = 87.6 + 12.0 + 48.0 = 147.6 g mol^{-1}

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

(b) H_2SO_4 का मोलर द्रव्यमान = 2.0 + 32.1 + 64.0 = 98.1 g mol^{-1}

SO_3 का मोलर द्रव्यमान = 32.1 + 48.0 = 80.1 g mol^{-1}

H_2SO_4 में SO_3 का प्रतिशत = $\frac{80.1 \times 100}{98.1}$ = 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
O_3	O_3
S_3O_9	SO_3
N_2O_3	N_2O_3

4. कार्बन का प्रतिशत = 53.1%

ऑक्सीजन का प्रतिशत = 46.9%

यदि 100 g पदार्थ लेते हैं तो कार्बन का प्रतिशत = $\frac{53.1}{12.0}$ g = 4.43 मोल

ऑक्सीजन के मोल = $\frac{46.0}{16.0}$ = 2.93 मोल

कार्बन, ऑक्सीजन का मोलर अनुपात = $\frac{4.43}{2.93} : \frac{2.93}{2.93}$

= 1.50 : 1 या 3 : 2

यौगिक का मूलानुपाती सूत्र हुआ C_3O_2

1.7

1. समीकरण में

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

1 मोल **3 मोल** **2 मोल**

0.207 मोल N_2 0.414 मोल NH_3 देती है

0.414 मोल NH_3 = 0.414 मोल × 17.0 g mol^{-1} = 7.038 g NH_3

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

11.3 मोल हाइड्रोजन देगी $\frac{2}{3} \times 11.3$ मोल $NH_3 = 7.53$ मोल

NH_3 का द्रव्यमान = $7.53 \text{ mol} \times 17.0 \text{ g mol}^{-1} = 128.01$ g

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

1 मोल **3 मोल** **2 मोल** **2 मोल**

(a) 4.16×10^{-2} मोल C_2H_4 उपयुक्त करेगा $3 \times 4.16 \times 10^{-2}$ मोल O_2 के

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

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

$= 8.32 \times 10^{-2}$ पानी के मोल