

दीर्घ उत्तरीय प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1:- अभिक्रिया दर (Rate of Reaction) क्या होती है? अणुत्वता (Molecularity) और अभिक्रिया के क्रम (Order of Reaction) के बीच क्या अंतर है? शून्य क्रम (Zero Order), प्रथम क्रम (First Order), द्वितीय क्रम (Second Order) और छद्म क्रम (Pseudo Order) अभिक्रियाओं की विशेषताओं का वर्णन करें। अर्ध-आयु (Half-Life) और औसत आयु (Mean Life) का महत्व समझाएं।

उत्तर:- अभिक्रिया दर एक रासायनिक अभिक्रिया में प्रतिक्रिया करने वाले पदार्थों (reactants) की सांद्रता में परिवर्तन की दर है। इसे इस प्रकार परिभाषित किया जा सकता है:

"अभिक्रिया दर वह मात्रा है जिससे अभिक्रिया के दौरान उत्पाद (products) बनने या अभिकारकों (reactants) की सांद्रता कम होने की गति का निर्धारण किया जाता है।"

गणितीय रूप से, इसे निम्नलिखित समीकरण से व्यक्त किया जा सकता है:

$$\text{Rate} = - \frac{d[\text{Reactant}]}{dt} = \frac{d[\text{Product}]}{dt}$$

विद्या परमं बलम्

जहाँ:

- [Reactant] और [Product] समय के साथ अभिकारकों और उत्पादों की सांद्रता हैं।
- $\frac{d[\text{Reactant}]}{dt}$ समय के प्रति सांद्रता का घटाव दर्शाता है।

अभिक्रिया दर को प्रभावित करने वाले कारकों में तापमान, दाब, उत्प्रेरक की उपस्थिति और अभिकारकों की सांद्रता शामिल हैं।

अणुत्वता (Molecularity) और अभिक्रिया के क्रम (Order of Reaction) में अंतर:

1. अणुत्वता (Molecularity):

- परिभाषा: अणुत्वता उस संख्या को दर्शाती है, जो बताती है कि किसी अभिक्रिया में कितने अणु एक साथ टकराकर उत्पाद का निर्माण करते हैं।
- यह केवल प्राथमिक चरण (elementary step) पर लागू होती है।
- अणुत्वता का मान पूर्णांक होता है, जैसे 1, 2 या 3।

उदाहरण:

- एक-अण्विक अभिक्रिया (Unimolecular Reaction):



इसमें अणुत्वता = 1।

- द्वि-अण्विक अभिक्रिया (Bimolecular Reaction):



इसमें अणुत्वता = 2।

2. अभिक्रिया का क्रम (Order of Reaction):

- परिभाषा: अभिक्रिया का क्रम वह है जो अभिक्रिया दर को प्रभावित करने वाले सभी अभिकारकों की सांद्रताओं के घातों (powers) का योग है।
- यह किसी पूर्ण अभिक्रिया के लिए लागू होता है।
- यह पूर्णांक या भिन्नांक हो सकता है।

उदाहरण:

$$\text{Rate} = k[A]^x[B]^y$$

$$\text{अभिक्रिया का क्रम} = x+y$$

प्रमुख अंतर:

अणुत्वता	अभिक्रिया का क्रम
केवल प्राथमिक चरण पर लागू।	पूर्ण अभिक्रिया पर लागू।

मान हमेशा पूर्णांक होता है।	मान पूर्णांक या भिन्नांक हो सकता है।
व्यावहारिक रूप से नहीं मापा जा सकता।	प्रयोगात्मक रूप से मापा जा सकता है।

शून्य क्रम, प्रथम क्रम, द्वितीय क्रम और छद्म क्रम अभिक्रियाओं की विशेषताएँ:

1. शून्य क्रम (Zero Order Reaction):

- परिभाषा: यदि अभिक्रिया दर अभिकारकों की सांद्रता पर निर्भर नहीं करती है, तो उसे शून्य क्रम की अभिक्रिया कहते हैं।
- अभिक्रिया दर समीकरण:
Rate=k
- विशेषताएँ:
 - दर स्थिर रहती है और अभिकारकों की सांद्रता के साथ नहीं बदलती।
 - सांद्रता समय के साथ रेखीय रूप से घटती है।
 - अर्ध-आयु $t_{1/2}$ सांद्रता पर निर्भर करती है।
- उदाहरण: प्रकाश द्वारा अमोनिया का विघटन।

2. प्रथम क्रम (First Order Reaction):

- परिभाषा: यदि अभिक्रिया दर एक अभिकारक की सांद्रता के प्रति समानुपाती हो, तो उसे प्रथम क्रम की अभिक्रिया कहते हैं।
- अभिक्रिया दर समीकरण:
Rate=k[A]
- विशेषताएँ:
 - दर केवल एक अभिकारक की सांद्रता पर निर्भर करती है।
 - अर्ध-आयु का मान स्थिर रहता है और सांद्रता पर निर्भर नहीं करता।

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$$

उदाहरण: रेडियोधर्मी अपक्षय।

3. द्वितीय क्रम (Second Order Reaction):

- परिभाषा: यदि अभिक्रिया दर दो अभिकारकों की सांद्रता या एक अभिकारक की सांद्रता के वर्ग के प्रति समानुपाती हो, तो इसे द्वितीय क्रम की अभिक्रिया कहते हैं।

- अभिक्रिया दर समीकरण:

$$\text{Rate} = k[A]^2 \text{ or } \text{Rate} = k[A][B]$$

- विशेषताएँ:

1. दर अभिकारकों की सांद्रता के वर्ग पर निर्भर करती है।

2. अर्ध-आयु सांद्रता पर निर्भर करती है।

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]}$$

- उदाहरण: $2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$

4. छद्म क्रम (Pseudo Order Reaction):

- परिभाषा: जब एक अभिकारक की सांद्रता इतनी अधिक हो कि उसका प्रभाव नगण्य हो, तो अभिक्रिया का क्रम वास्तविक से कम हो जाता है। इसे छद्म क्रम अभिक्रिया कहते हैं।

- विशेषताएँ:

1. यह बहु-अणुविक अभिक्रिया होती है जो सरल क्रम जैसा व्यवहार करती है।

2. प्रयोगात्मक रूप से यह कम क्रम के रूप में मापी जाती है।

- उदाहरण:

हाइड्रोलिसिस में पानी की अधिकता।

अर्ध-आयु (Half-Life) और औसत आयु (Mean Life) का महत्व:

1. अर्ध-आयु (Half-Life):

- परिभाषा: अर्ध-आयु वह समय है जिसमें अभिकारकों की सांद्रता अपने प्रारंभिक मान के आधे तक कम हो जाती है।
- इसे $t_{1/2}$
- महत्व:

1. रेडियोधर्मी अभिक्रियाओं के अध्ययन में उपयोगी।
2. दवाओं के अपघटन और शरीर में उनके प्रभाव को समझने के लिए उपयोगी।

2. औसत आयु (Mean Life):

- परिभाषा: औसत आयु वह औसत समय है जिसमें सभी अभिकारक प्रतिक्रिया कर लेते हैं।
- समीकरण:

$$\text{Mean Life}(\tau) = \frac{1}{k}$$

- महत्व:
 1. यह अर्ध-आयु से अधिक सटीक रूप से अभिक्रिया दर को व्यक्त करती है।
 2. परमाणु भौतिकी और रासायनिक गतिकी में प्रयोग होती है।

अर्ध-आयु और औसत आयु के बीच संबंध:



निष्कर्ष:

अभिक्रिया दर, अणुत्वता और अभिक्रिया के क्रम रासायनिक गतिकी में मौलिक महत्व रखते हैं। शून्य, प्रथम, द्वितीय और छद्म क्रम की अभिक्रियाएँ रासायनिक प्रतिक्रियाओं के प्रकार और उनके व्यवहार को समझने में सहायता करती हैं। अर्ध-आयु और औसत आयु अभिक्रिया की समय-निर्भर विशेषताओं का आकलन करने के लिए महत्वपूर्ण मापदंड हैं। इनकी गहन समझ रासायनिक अभिक्रियाओं के सिद्धांत और प्रयोगात्मक रसायन में महत्वपूर्ण योगदान देती है।

प्रश्न 2:- किसी रासायनिक अभिक्रिया के क्रम का निर्धारण करने के लिए विभिन्न विधियों (अंतर विधि, एकीकरण विधि, अर्ध-आयु विधि और पृथक्करण विधि) की व्याख्या करें। प्रत्येक विधि के मुख्य चरण और सीमाओं पर चर्चा करें।

उत्तर:- रासायनिक अभिक्रिया के क्रम (order of reaction) का निर्धारण रासायनिक गतिशीलता (chemical kinetics) का एक महत्वपूर्ण पहलू है। यह प्रतिक्रिया के यथार्थ तंत्र (mechanism) को

समझने, अभिक्रिया दर की भविष्यवाणी करने और औद्योगिक प्रक्रियाओं को अनुकूल बनाने में मदद करता है। रासायनिक अभिक्रिया के क्रम का निर्धारण करने के लिए मुख्यतः चार विधियाँ उपयोग में लाई जाती हैं: अंतर विधि, एकीकरण विधि, अर्ध-आयु विधि, और पृथक्करण विधि।

इन विधियों की व्याख्या और उनके मुख्य चरण तथा सीमाओं पर चर्चा नीचे दी गई है:

1. अंतर विधि (Differential Method)

विधि की व्याख्या:

यह विधि अभिक्रिया की दर को उसके क्रम से जोड़ने के लिए प्रयुक्त होती है। अभिक्रिया की दर समीकरण,

$$\text{Rate} = k[A]^n$$

जहाँ n अभिक्रिया का क्रम है, का उपयोग किया जाता है। इस विधि में प्रतिक्रिया के क्रम का निर्धारण दर समीकरण में सांद्रता ($[A]$) और दर (Rate) के बीच संबंध का अध्ययन करके किया जाता है।

मुख्य चरण:

1. प्रयोगात्मक डेटा संग्रह: अभिकारक (reactant) की सांद्रता और प्रतिक्रिया दर को विभिन्न समय अंतराल पर मापा जाता है।
2. लॉगरिथम परिवर्तन: सांद्रता और दर के डेटा को लॉगरिथमिक रूप में परिवर्तित किया जाता है।
दर समीकरण का लॉगरिथमिक रूप:

$$\log(\text{Rate}) = \log(k) + n \log([A])$$

को लागू किया जाता है।

3. ग्राफिक प्रस्तुति: $\log(\text{Rate})$ को $\log([A])$ के विरुद्ध प्लॉट किया जाता है। रेखा की ढलान (slope) प्रतिक्रिया के क्रम n को दर्शाती है।
4. क्रम निर्धारण: यदि ढलान 1 है, तो क्रम 1; यदि 2 है, तो क्रम 2, आदि।

सीमाएँ:

- यह विधि शोर (noise) वाले डेटा के प्रति संवेदनशील है।
- सांद्रता और दर के मापन में त्रुटियाँ क्रम निर्धारण में अस्थिरता ला सकती हैं।

- यह विधि केवल सरल प्रतिक्रियाओं पर प्रभावी होती है; जटिल प्रतिक्रियाओं के लिए यह सीमित है।

2. एकीकरण विधि (Integral Method)

विधि की व्याख्या:

यह विधि प्रतिक्रिया दर समीकरण के एकीकरण पर आधारित है। प्रतिक्रिया के क्रम के लिए सांद्रता के समय के साथ परिवर्तन का विश्लेषण किया जाता है। हर क्रम के लिए एक अलग एकीकृत समीकरण होता है।

मुख्य चरण:

1. डेटा संग्रह: समय-समय पर अभिकारक की सांद्रता मापी जाती है।

2. एकीकृत समीकरण लागू करना:

- शून्य क्रम ($n = 0$):

$$[A] = [A_0] - kt$$

- प्रथम क्रम ($n = 1$):

$$\ln[A] = \ln[A_0] - kt$$

- द्वितीय क्रम ($n = 2$):

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A_0]} + kt$$

3. ग्राफिक विश्लेषण: डेटा को उपयुक्त समीकरण के अनुसार प्लॉट किया जाता है:

- शून्य क्रम: $[A]$ बनाम t सीधी रेखा देता है।
- प्रथम क्रम: $\ln[A]$ बनाम t सीधी रेखा देता है।
- द्वितीय क्रम: $\frac{1}{[A]}$ बनाम t सीधी रेखा देता है।

4. क्रम का निर्धारण: वह समीकरण जिसका डेटा के साथ सबसे अच्छा सामंजस्य (fit) हो, प्रतिक्रिया के क्रम को निर्धारित करता है।

सीमाएँ:

- प्रतिक्रिया में सह-अभिकारक (co-reactant) की सांद्रता को स्थिर मानना चाहिए।

- जटिल प्रतिक्रियाओं में यह विधि त्रुटिपूर्ण हो सकती है।
- सांद्रता मापन में त्रुटियाँ क्रम निर्धारण को प्रभावित कर सकती हैं।

3. अर्ध-आयु विधि (Half-life Method)

विधि की व्याख्या:

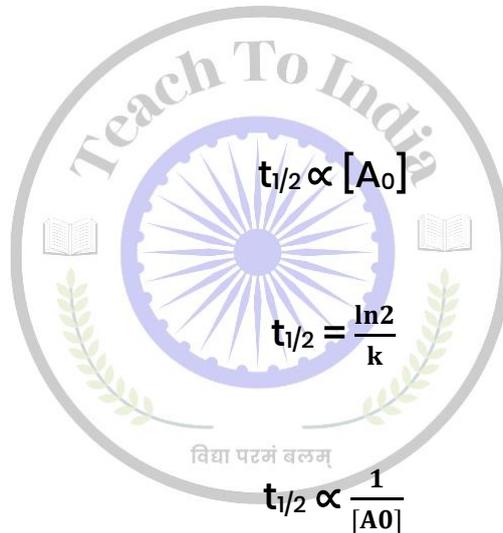
अर्ध-आयु ($t_{1/2}$) वह समय है जिसमें अभिकारक की सांद्रता अपनी प्रारंभिक सांद्रता का आधा हो जाती है। इस विधि में अर्ध-आयु के सांद्रता पर निर्भरता का अध्ययन किया जाता है।

मुख्य चरण:

1. अर्ध-आयु मापन: विभिन्न प्रारंभिक सांद्रताओं ($[A_0]$) के लिए अर्ध-आयु मापी जाती है।

2. संबंध की पहचान:

- शून्य क्रम:
- प्रथम क्रम:
- द्वितीय क्रम:



3. क्रम निर्धारण: अर्ध-आयु के सांद्रता पर निर्भरता का अध्ययन करके क्रम का निर्धारण किया जाता है।

सीमाएँ:

- प्रारंभिक सांद्रता को सटीक रूप से नियंत्रित करना आवश्यक है।
- यह विधि केवल सीमित क्रम के लिए प्रभावी है।
- जटिल प्रतिक्रियाओं के लिए यह विधि सही परिणाम नहीं देती।

4. पृथक्करण विधि (Method of Isolation)

विधि की व्याख्या:

यह विधि जटिल प्रतिक्रियाओं में प्रयुक्त होती है, जहाँ कई अभिकारक सम्मिलित होते हैं। इस विधि में किसी एक अभिकारक की सांद्रता को परिवर्तित किया जाता है, जबकि अन्य अभिकारकों की सांद्रता को स्थिर रखा जाता है।

मुख्य चरण:

1. अभिकारकों का चयन: प्रतिक्रिया में शामिल सभी अभिकारकों की पहचान की जाती है।
2. सांद्रता का नियमन: किसी एक अभिकारक की सांद्रता को परिवर्तनशील रखा जाता है और अन्य अभिकारकों की सांद्रता अत्यधिक उच्च स्तर पर स्थिर रखी जाती है।
3. सरलीकृत दर समीकरण: यदि प्रतिक्रिया का समीकरण:

$$\text{Rate} = k[A]^m[B]^n$$

है, और [B] को स्थिर रखा जाता है, तो यह समीकरण:

$$\text{Rate} = k'[A]^m$$

में बदल जाता है, जहाँ $k' = k[B]^n$ है।

4. क्रम निर्धारण: स्थिर अभिकारकों को बदल-बदल कर क्रम का निर्धारण किया जाता है।

सीमाएँ:

- अभिकारकों की सांद्रता को नियंत्रित करना चुनौतीपूर्ण हो सकता है।
- यह विधि बहुत जटिल या बहु-चरणीय प्रतिक्रियाओं के लिए प्रभावी नहीं होती।
- विश्लेषण के लिए उच्च-परिशुद्धता डेटा आवश्यक है।

प्रश्न 3:- तापमान के अभिक्रिया दर पर प्रभाव को समझाते हुए Arrhenius समीकरण का वर्णन करें। सक्रियण ऊर्जा (Activation Energy) की अवधारणा क्या है, और यह अभिक्रिया की दर को कैसे प्रभावित करती है?

उत्तर:- परिचय:

रासायनिक अभिक्रियाओं की दर को प्रभावित करने वाले विभिन्न कारकों में तापमान का प्रभाव सबसे महत्वपूर्ण है। तापमान में वृद्धि के साथ अधिकांश रासायनिक अभिक्रियाओं की दर बढ़ती है। इस प्रवृत्ति को

गणितीय रूप में समझने के लिए Arrhenius समीकरण का उपयोग किया जाता है। यह समीकरण सक्रियण ऊर्जा (Activation Energy) और अभिक्रिया दर के बीच के संबंध को स्पष्ट करता है।

इस उत्तर में, हम Arrhenius समीकरण, सक्रियण ऊर्जा की अवधारणा, और यह कैसे अभिक्रिया दर को प्रभावित करती है, का विस्तारपूर्वक अध्ययन करेंगे।

Arrhenius समीकरण का परिचय:

Arrhenius समीकरण एक गणितीय समीकरण है, जो यह बताता है कि रासायनिक अभिक्रिया की दर तापमान और सक्रियण ऊर्जा पर कैसे निर्भर करती है। यह समीकरण स्वांते आरेनियस (Svante Arrhenius) द्वारा 1889 में प्रस्तावित किया गया था। समीकरण का सामान्य रूप निम्नलिखित है:

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

जहां,

- k = अभिक्रिया दर स्थिरांक (Rate Constant)
- A = आवृत्ति कारक (Frequency Factor) या प्री-एक्सपोनेंशियल फैक्टर
- E_a = सक्रियण ऊर्जा (Activation Energy), जिसे जूल/मोल या कैलोरी/मोल में मापा जाता है
- R = गैस स्थिरांक (Gas Constant), जिसका मान $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ है
- T = तापमान (Temperature), केल्विन में

इस समीकरण में $e^{-\frac{E_a}{RT}}$ वह कारक है जो तापमान और सक्रियण ऊर्जा के आधार पर अभिक्रिया की संभावना को प्रभावित करता है।

Arrhenius समीकरण का भौतिक अर्थ:

Arrhenius समीकरण का भौतिक अर्थ यह है कि रासायनिक अभिक्रिया में भाग लेने वाले अणुओं को एक न्यूनतम ऊर्जा (E_a) प्राप्त करनी होती है, जिसे सक्रियण ऊर्जा कहते हैं। तापमान बढ़ाने से अणुओं की औसत गतिज ऊर्जा (kinetic energy) बढ़ती है, जिससे वे सक्रियण ऊर्जा को पार कर सकते हैं।

अणुओं की टक्कर और सक्रियण ऊर्जा:

अभिक्रिया तभी होगी जब अणुओं के बीच टक्कर प्रभावी होगी। प्रभावी टक्कर के लिए:

- अणुओं को सही अभिविन्यास (proper orientation) में होना चाहिए।
- उनके पास पर्याप्त ऊर्जा होनी चाहिए ताकि वे सक्रियण ऊर्जा बाधा को पार कर सकें।

Arrhenius समीकरण यह बताता है कि उच्च तापमान पर अधिक अणुओं के पास सक्रियण ऊर्जा प्राप्त करने की संभावना होती है, जिससे अभिक्रिया दर बढ़ती है।

सक्रियण ऊर्जा (Activation Energy):

सक्रियण ऊर्जा उस न्यूनतम ऊर्जा को कहते हैं जो अभिक्रिया में भाग लेने वाले अणुओं को अभिक्रिया शुरू करने के लिए चाहिए। इसे ग्राफ़ के रूप में रासायनिक अभिक्रिया के ऊर्जा प्रोफ़ाइल में देखा जा सकता है।

ऊर्जा प्रोफ़ाइल आरेख:

- ऊर्जा प्रोफ़ाइल में प्रतिक्रिया शुरू करने के लिए आवश्यक ऊर्जा का उच्चतम बिंदु सक्रियण ऊर्जा कहलाता है।
- यदि प्रतिक्रियाशील अणुओं की ऊर्जा सक्रियण ऊर्जा से कम है, तो प्रतिक्रिया नहीं होगी।
- तापमान बढ़ाने से अणुओं की ऊर्जा सक्रियण ऊर्जा तक या उससे अधिक हो जाती है।

ऊर्जा प्रोफ़ाइल निम्नलिखित हो सकती है:

- एंडोथर्मिक अभिक्रिया (Endothermic Reaction): उत्पादों की ऊर्जा अभिकारकों से अधिक होती है।
- एक्सोथर्मिक अभिक्रिया (Exothermic Reaction): उत्पादों की ऊर्जा अभिकारकों से कम होती है।

सक्रियण ऊर्जा और अभिक्रिया दर के बीच संबंध:

- उच्च सक्रियण ऊर्जा: अभिक्रिया दर कम होती है क्योंकि कम अणु पर्याप्त ऊर्जा प्राप्त कर पाते हैं।
- कम सक्रियण ऊर्जा: अभिक्रिया दर अधिक होती है क्योंकि अधिक अणु टकराव के बाद सक्रियण ऊर्जा पार कर सकते हैं।

Arrhenius समीकरण का उपयोग:

1. तापमान और दर स्थिरांक के बीच संबंध:

Arrhenius समीकरण से स्पष्ट होता है कि जैसे-जैसे तापमान (T) बढ़ता है, अभिक्रिया दर स्थिरांक (k) बढ़ता है। ऐसा इसलिए होता है क्योंकि तापमान बढ़ने पर अधिक अणु सक्रियण ऊर्जा प्राप्त कर सकते हैं।

2. Arrhenius समीकरण का प्राकृतिक लॉग रूप:

Arrhenius समीकरण को लॉगरिदमिक रूप में भी लिखा जा सकता है:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

यह समीकरण रेखीय रूप में है:

$$Y = mx + c$$

जहां,

- $y = \ln k$
- $x = \frac{1}{T}$
- ढलान (m) = $-\frac{E_a}{R}$

इसे प्रयोगात्मक डेटा से E_a और A निकालने के लिए प्रयोग किया जाता है।

3. अभिक्रिया दर की भविष्यवाणी:

यदि E_a , A, और T ज्ञात हैं, तो k का मान निकालकर अभिक्रिया दर का अनुमान लगाया जा सकता है।

तापमान का प्रभाव और Maxwell-Boltzmann वितरण:

Maxwell-Boltzmann वितरण यह दर्शाता है कि किसी निश्चित तापमान पर कितने अणु विभिन्न ऊर्जा स्तरों पर होते हैं।

1. ऊर्जा वितरण का विस्तार:

- उच्च तापमान पर, ऊर्जा का वितरण व्यापक होता है।
- अधिक अणुओं के पास सक्रियण ऊर्जा (E_a) पार करने के लिए पर्याप्त ऊर्जा होती है।

2. गतिकीय ऊर्जा और तापमान का संबंध:

- तापमान बढ़ने पर अणुओं की औसत गतिज ऊर्जा बढ़ती है।

- इससे प्रभावी टक्करों की संख्या बढ़ती है, और अभिक्रिया दर तेज़ हो जाती है।

Maxwell-Boltzmann ग्राफ में, उच्च तापमान पर सक्रियण ऊर्जा के दाएं तरफ़ वाले अणुओं का अनुपात बढ़ जाता है। यही कारण है कि उच्च तापमान पर अभिक्रिया की दर अधिक होती है।

Arrhenius समीकरण और उत्प्रेरक (Catalyst):

उत्प्रेरक अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा को कम करता है।

1. सक्रियण ऊर्जा की कमी:

उत्प्रेरक एक वैकल्पिक अभिक्रिया मार्ग प्रदान करता है जिसमें सक्रियण ऊर्जा कम होती है।

$$K = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

यहां E_a सक्रियण ऊर्जा का नया, कम मान है।

2. अभिक्रिया दर में वृद्धि:

कम सक्रियण ऊर्जा के कारण अधिक अणु प्रभावी टक्कर कर सकते हैं, जिससे दर स्थिरांक (k) और अभिक्रिया दर बढ़ जाती है।

प्रयोगात्मक महत्व:

1. रासायनिक अभिक्रियाओं का विश्लेषण:

Arrhenius समीकरण का उपयोग रासायनिक अभिक्रियाओं की गतिजी विशेषताओं का विश्लेषण करने के लिए किया जाता है।

2. औद्योगिक प्रक्रियाओं में:

विभिन्न तापमान पर अभिक्रिया दर का अनुमान लगाने और नियंत्रित करने के लिए Arrhenius समीकरण का उपयोग होता है।

3. बायोकेमिस्ट्री में:

एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रियाओं में सक्रियण ऊर्जा और तापमान निर्भरता को समझने में इसका उपयोग होता है।

निष्कर्ष:

Arrhenius समीकरण और सक्रियण ऊर्जा का अध्ययन रासायनिक गतिशीलता और तापमान के प्रभाव को समझने में महत्वपूर्ण है।

1. Arrhenius समीकरण यह दर्शाता है कि अभिक्रिया दर मुख्य रूप से सक्रियण ऊर्जा और तापमान पर निर्भर करती है।
2. सक्रियण ऊर्जा यह तय करती है कि कितने अणु प्रभावी टक्कर कर सकते हैं।
3. Maxwell-Boltzmann वितरण और उत्प्रेरक जैसे विषय इस अध्ययन को और अधिक गहन बनाते हैं।

तापमान के प्रभाव को समझकर, वैज्ञानिक रासायनिक अभिक्रियाओं को नियंत्रित और अनुकूलित कर सकते हैं, जिससे उद्योग और अनुसंधान में इसका उपयोग और भी अधिक प्रभावी हो जाता है।

प्रश्न 4:- कठोर गोला मॉडल (Hard Sphere Model) पर आधारित टक्कर सिद्धांत (Collision Theory) को समझाएं। संक्रमण अवस्था सिद्धांत (Transition State Theory) का उपयोग करके दर स्थिरांक (Rate Constant) का समीकरण और इसका ऊष्मागतिकीय पहलुओं से संबंध स्पष्ट करें।

उत्तर:- टक्कर सिद्धांत (Collision Theory) एक महत्वपूर्ण रासायनिक सिद्धांत है, जो रासायनिक अभिक्रियाओं की दरों को समझने और उनकी गणना करने में मदद करता है। यह सिद्धांत बताता है कि रासायनिक अभिक्रियाएँ केवल तभी हो सकती हैं जब अभिक्रियक अणु एक-दूसरे से टकराएँ। कठोर गोला मॉडल इस सिद्धांत को समझाने का एक प्रभावी तरीका है।

कठोर गोला मॉडल में अणुओं को ठोस, अचूक गोलों के रूप में देखा जाता है जो एक-दूसरे से तब टकराते हैं जब उनकी गति और ऊर्जा टकराव के लिए उपयुक्त होती है। टक्कर सिद्धांत के मुख्य आधार निम्नलिखित हैं:

1. टकराव की आवृत्ति (Collision Frequency):
 - सभी अणु निरंतर गति में होते हैं और एक निश्चित समय में कितने टकराव होते हैं, इसे टकराव की आवृत्ति कहते हैं।

- यह आवृत्ति टक्कर सिद्धांत के अनुसार रासायनिक दर को निर्धारित करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है।

2. सक्रिय टकराव (Effective Collisions):

- सभी टकराव रासायनिक प्रतिक्रिया में नहीं बदलते। केवल वही टकराव जो पर्याप्त ऊर्जा और उपयुक्त अभिविन्यास (orientation) रखते हैं, रासायनिक अभिक्रिया कर सकते हैं।
- इसे "सक्रिय टकराव" कहते हैं।

3. सक्रियण ऊर्जा (Activation Energy, E_a):

- यह न्यूनतम ऊर्जा है जो अणुओं को रासायनिक प्रतिक्रिया करने के लिए चाहिए।
- अगर टकराने वाले अणुओं की ऊर्जा E_a से कम है, तो प्रतिक्रिया संभव नहीं होती।

4. अणुओं का अभिविन्यास (Orientation of Molecules):

- टकराने वाले अणुओं का सही अभिविन्यास होना भी आवश्यक है ताकि बॉन्ड टूटने और बनने की प्रक्रिया संभव हो।

कठोर गोला मॉडल के अनुसार, टक्कर सिद्धांत का गणितीय समीकरण निम्न प्रकार है:



$$\text{Rate} = Z \cdot P \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

जहां:

- Z : टकराव की कुल संख्या (Collision Frequency)
- P : अभिविन्यास कारक (Orientation Factor)
- $e^{-\frac{E_a}{RT}}$: अणुओं का वह अनुपात जिनके पास सक्रियण ऊर्जा E_a से अधिक ऊर्जा है
- R : गैस स्थिरांक (Gas Constant)
- T : तापमान (Temperature)

कठिनाइयाँ और सीमाएँ:

- कठोर गोला मॉडल यह मानता है कि अणु कठोर और ठोस होते हैं, लेकिन वास्तविकता में अणु लचीले होते हैं।
- यह सिद्धांत उच्च जटिल अणुओं या बहु-अणु प्रतिक्रियाओं के लिए सटीक नहीं है।

संक्रमण अवस्था सिद्धांत (Transition State Theory) का परिचय

संक्रमण अवस्था सिद्धांत (Transition State Theory या Activated Complex Theory) टक्कर सिद्धांत की तुलना में अधिक विस्तृत और सटीक व्याख्या प्रदान करता है। यह सिद्धांत बताता है कि रासायनिक प्रतिक्रिया के दौरान अभिक्रियक अणु एक संक्रमण अवस्था (Transition State) से गुजरते हैं, जिसे सक्रियित यौगिक (Activated Complex) कहते हैं।

संक्रमण अवस्था का तात्पर्य

संक्रमण अवस्था एक ऐसी स्थिति है जहां अभिक्रियक अणु अपने सबसे उच्च ऊर्जा स्तर पर होते हैं। यह एक अस्थायी स्थिति है जिसमें अणु पुराने बंधों (Bonds) को तोड़ते हैं और नए बंधों का निर्माण शुरू करते हैं।

संक्रमण अवस्था सिद्धांत के मुख्य बिंदु

1. सक्रियित यौगिक (Activated Complex):

- यह एक अल्पकालिक यौगिक है जो अभिक्रियक और उत्पाद के बीच की अवस्था में होता है।
- सक्रियित यौगिक एक ऊर्जात्मक बाधा (Energy Barrier) का प्रतिनिधित्व करता है।

2. ऊर्जा प्रोफ़ाइल (Energy Profile):

- प्रतिक्रिया के दौरान ऊर्जा का परिवर्तन एक ग्राफ में दिखाया जाता है।
- सक्रियण ऊर्जा (E_a) वह ऊर्जा है जो सक्रियित यौगिक तक पहुँचने के लिए आवश्यक है।

3. गति सिद्धांत (Kinetics):

- संक्रमण अवस्था सिद्धांत यह मानता है कि सक्रियित यौगिक और अभिक्रियक अणुओं के बीच का संतुलन स्थिर है।

4. दर स्थिरांक का समीकरण: संक्रमण अवस्था सिद्धांत का दर समीकरण इस प्रकार है:

$$K = \frac{k_B T}{h} \cdot e^{-\frac{\Delta G^\ddagger}{RT}}$$

जहां:

- k : दर स्थिरांक (Rate Constant)
- k_B : स्थिरांक (Boltzmann Constant)

- h : प्लांक स्थिरांक (Planck Constant)
- T : तापमान
- ΔG^\ddagger : सक्रियण अवस्था का गिब्स मुक्त ऊर्जा परिवर्तन (Gibbs Free Energy Change for Transition State)
- R : गैस स्थिरांक

दर स्थिरांक और ऊष्मागतिकीय पहलुओं का संबंध

ऊष्मागतिकीय (Thermodynamic) और गतिज (Kinetic) पहलुओं का गहरा संबंध है। संक्रमण अवस्था सिद्धांत में दर स्थिरांक k ऊष्मागतिकीय मात्राओं जैसे ΔH^\ddagger , ΔS^\ddagger और ΔG^\ddagger पर निर्भर करता है।

ऊष्मागतिकीय परिवर्तन और उनका प्रभाव

1. गिब्स मुक्त ऊर्जा (ΔG^\ddagger):

- ΔG^\ddagger सक्रियण अवस्था के लिए आवश्यक ऊर्जा है।
- यदि ΔG^\ddagger कम है, तो प्रतिक्रिया तेज होगी।

2. एंथैल्पी परिवर्तन (ΔH^\ddagger):

- ΔH^\ddagger सक्रियण अवस्था तक पहुँचने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता को दर्शाता है।
- यह रासायनिक बंधनों के टूटने और बनने के दौरान ऊर्जा परिवर्तन से संबंधित है।

3. एंट्रॉपी परिवर्तन ΔS^\ddagger :

- ΔS^\ddagger सक्रियित यौगिक की संरचना में अव्यवस्था को दर्शाता है।
- सकारात्मक ΔS^\ddagger प्रतिक्रिया को अधिक अनुकूल बनाता है।

ऊष्मागतिकीय समीकरण:

ऊष्मागतिकीय दृष्टिकोण से, ΔG^\ddagger को निम्न समीकरण से व्यक्त किया जा सकता है:

$$\Delta G^\ddagger = \Delta H^\ddagger - T\Delta S^\ddagger$$

निष्कर्ष

कठोर गोला मॉडल पर आधारित टक्कर सिद्धांत और संक्रमण अवस्था सिद्धांत दोनों ही रासायनिक गतिजी की समझ में महत्वपूर्ण योगदान देते हैं। कठोर गोला मॉडल सरल है और प्राथमिक सिद्धांतों पर आधारित है, जबकि संक्रमण अवस्था सिद्धांत ऊष्मागतिकीय और ऊर्जात्मक पहलुओं को अधिक गहराई से समझने में मदद करता है।

संक्रमण अवस्था सिद्धांत से यह स्पष्ट होता है कि प्रतिक्रिया दर न केवल अणुओं की टकराव आवृत्ति और ऊर्जा पर निर्भर करती है, बल्कि सक्रियित यौगिक की संरचना और ऊष्मागतिकीय परिवर्तन पर भी निर्भर करती है। इस प्रकार, इन दोनों सिद्धांतों का संयुक्त उपयोग हमें रासायनिक अभिक्रियाओं की व्यापक समझ प्रदान करता है।

प्रश्न 5:- शून्य क्रम और प्रथम क्रम की अभिक्रियाओं के लिए गणितीय समीकरण और उनकी ग्राफिकल व्याख्या करें। अर्ध-आयु और औसत आयु का उपयोग करके प्रथम क्रम अभिक्रियाओं के लिए दर समीकरण कैसे निर्धारित किया जाता है?

उत्तर:- रासायनिक गतिकी (Chemical Dynamics) का अध्ययन विभिन्न प्रकार की रासायनिक अभिक्रियाओं की गति और उन्हें प्रभावित करने वाले कारकों को समझने पर आधारित है। रासायनिक अभिक्रियाओं की दर को आमतौर पर क्रम (Order) के आधार पर वर्गीकृत किया जाता है। यहां हम शून्य क्रम (Zero-Order) और प्रथम क्रम (First-Order) की अभिक्रियाओं के लिए गणितीय समीकरण, उनकी ग्राफिकल व्याख्या, और प्रथम क्रम की अभिक्रियाओं के लिए दर समीकरण को अर्ध-आयु (Half-Life) और औसत आयु (Mean Life) के उपयोग से समझाएंगे।

शून्य क्रम अभिक्रिया (Zero-Order Reaction)

गणितीय समीकरण:

शून्य क्रम की अभिक्रियाओं में दर (Rate) केवल एक स्थिरांक होती है और यह अभिकारकों (Reactants) के सांद्रण (Concentration) पर निर्भर नहीं करती। इसे निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है:

$$\text{Rate} = -\frac{d[A]}{dt} = k$$

यहां:

- $[A]$ = अभिकारक का सांद्रण
- k = शून्य क्रम की दर स्थिरांक (Rate Constant)
- t = समय

$[A]$ को अलग करके और समय t के साथ एकीकृत (Integrate) करने पर हमें यह समीकरण मिलता है:

$$[A] = [A]_0 - kt$$

जहां:

- $[A]_0$ = प्रारंभिक सांद्रण (Initial Concentration)

ग्राफिकल व्याख्या:

$[A]$ और t के बीच रेखीय संबंध है। जब $[A]$ को t के विरुद्ध प्लॉट किया जाता है, तो हमें एक नकारात्मक ढलान ($-k$) वाली सीधी रेखा मिलती है।

- y-अक्ष पर $[A]$
- x-अक्ष पर t
- ढलान = $-k$



यह ग्राफ दर्शाता है कि समय के साथ अभिकारक का सांद्रण रैखिक रूप से घटता है।

अर्ध-आयु (Half-Life):

अर्ध-आयु $t_{1/2}$ वह समय है जब $[A]$ अपने प्रारंभिक मान का आधा हो जाता है। शून्य क्रम की अभिक्रिया के लिए:

$$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$$

यह दर्शाता है कि अर्ध-आयु प्रारंभिक सांद्रण पर निर्भर है।

प्रथम क्रम अभिक्रिया (First-Order Reaction)

गणितीय समीकरण:

प्रथम क्रम की अभिक्रियाओं में दर अभिकारक के सांद्रण पर निर्भर होती है। इसे निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है:

$$\text{Rate} = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

यहां:

- k = प्रथम क्रम की दर स्थिरांक।

समीकरण को पुनर्व्यवस्थित करके और एकीकृत करने पर:

$$\ln[A] = \ln[A]_0 - kt$$

या इसे लॉगरिदमिक रूप में:



ग्राफिकल व्याख्या:

1. $\ln[A]$ बनाम t :

$\ln[A]$ को t के विरुद्ध प्लॉट करने पर एक सीधी रेखा मिलती है:

- y -अक्ष पर $\ln[A]$,
- x -अक्ष पर t ,
- ढलान (Slope) = $-k$

2. $[A]$ बनाम t :

$[A]$ को t के विरुद्ध प्लॉट करने पर एक घातीय (Exponential) वक्र मिलता है जो समय के साथ घटता है।

अर्ध-आयु (Half-Life):

प्रथम क्रम की अभिक्रियाओं के लिए अर्ध-आयु को निम्नलिखित समीकरण से निकाला जाता है:

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$$

यहां $t_{1/2}$ दर स्थिरांक k पर निर्भर है, लेकिन सांद्रण पर नहीं।

औसत आयु (Mean Life):

औसत आयु t_{avg} को निम्नलिखित समीकरण से व्यक्त किया जाता है:

$$t_{avg} = \frac{1}{k}$$

औसत आयु, अर्ध-आयु से अधिक होती है।

अर्ध-आयु और औसत आयु का उपयोग करके प्रथम क्रम अभिक्रियाओं के लिए दर समीकरण का निर्धारण

अर्ध-आयु आधारित दर समीकरण:

प्रथम क्रम अभिक्रियाओं में अर्ध-आयु और दर स्थिरांक k के बीच संबंध इस प्रकार है:



यहां से k को व्यक्त किया जा सकता है:

इस समीकरण का उपयोग करके, यदि अर्ध-आयु ज्ञात हो, तो दर स्थिरांक आसानी से ज्ञात किया जा सकता है। इसे फिर प्रथम क्रम के दर समीकरण में डालकर अभिकारक का सांद्रण किसी भी समय t पर ज्ञात किया जा सकता है।

औसत आयु आधारित दर समीकरण:

औसत आयु t_{avg} और दर स्थिरांक k के बीच संबंध:

$$t_{avg} = \frac{1}{k}$$

यहां से k को व्यक्त किया जा सकता है:

$$K = \frac{1}{t_{avg}}$$

औसत आयु के उपयोग से भी दर स्थिरांक की गणना की जा सकती है और फिर इसे दर समीकरण में उपयोग किया जा सकता है।

निष्कर्ष

शून्य क्रम और प्रथम क्रम की अभिक्रियाएं रासायनिक गतिकी का महत्वपूर्ण हिस्सा हैं। शून्य क्रम की दर सांद्रण पर निर्भर नहीं होती, जबकि प्रथम क्रम की दर सांद्रण के सीधे अनुपात में होती है। अर्ध-आयु और औसत आयु जैसे मापदंड प्रथम क्रम की अभिक्रियाओं को समझने और उनके दर समीकरण को स्थापित करने में सहायक होते हैं। इन समीकरणों और ग्राफ़ की व्याख्या के माध्यम से रासायनिक अभिक्रियाओं के व्यवहार को गहराई से समझा जा सकता है।

प्रश्न 6:- (i) सक्रियण ऊर्जा क्या है? आर्हेनियस समीकरण को समझाइए। (ii) उस अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा की गणना कीजिए, जिसकी अभिक्रिया दर 27° C तापमान में 10° C वृद्धि करने पर दोगुनी हो जाती है। (log 10 2 = 0.3010).

उत्तर:- (i) सक्रियण ऊर्जा (Activation Energy): यह वह न्यूनतम ऊर्जा है जो अभिकारक अणुओं को उत्पादों में परिवर्तित होने के लिए आवश्यक होती है। यह ऊर्जा अभिक्रिया के दौरान अवरोधक (energy barrier) को पार करने में मदद करती है। सक्रियण ऊर्जा जितनी कम होगी, अभिक्रिया उतनी ही तेजी से होगी।

आर्हेनियस समीकरण (Arrhenius Equation): यह समीकरण अभिक्रिया की दर स्थिरांक (k) और तापमान (T) के बीच संबंध को दर्शाता है:

$$K = A \times e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

जहाँ:

k: दर स्थिरांक

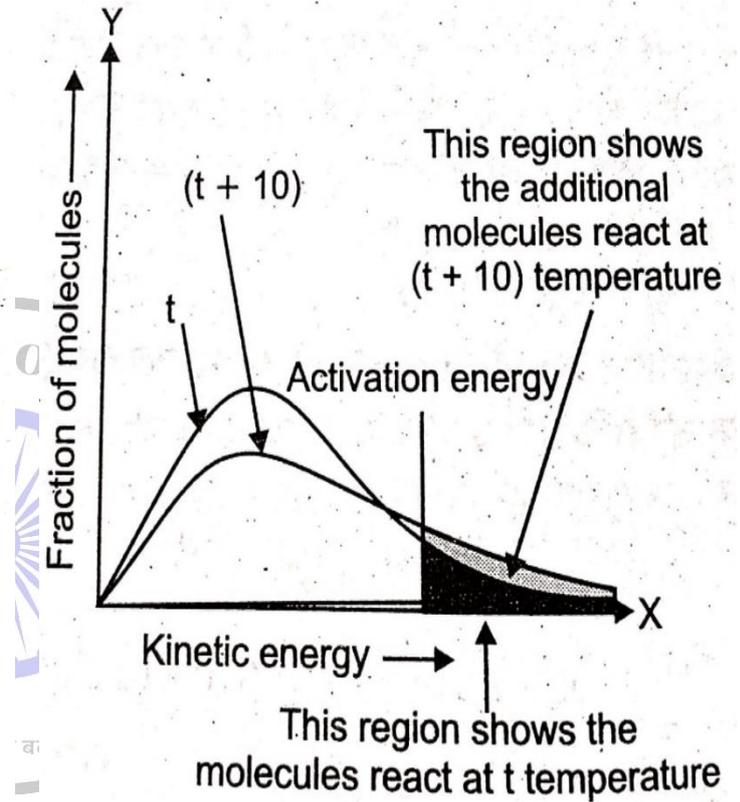
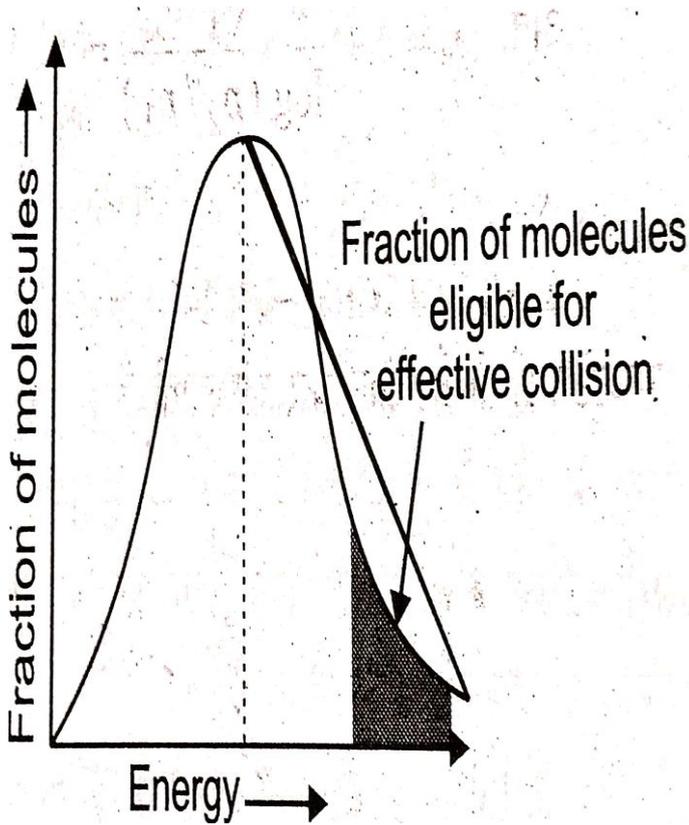
A: पूर्व-घातांक गुणांक (pre-exponential factor)

E_a : सक्रियण ऊर्जा

R: गैस स्थिरांक (8.314 J/mol·K)

T: तापमान (केल्विन में)

यह समीकरण दर्शाता है कि तापमान बढ़ने पर दर स्थिरांक बढ़ता है, जिससे अभिक्रिया की दर में वृद्धि होती है।



$$(ii) \text{ सक्रियण ऊर्जा, } E_a = \frac{2.303RT_1T_2}{T_2 - T_1} \log_{10} \frac{k_2}{k_1}$$

जब 27°C (300 K) से $27^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C} = 37^\circ\text{C}$ (310 K) ताप बढ़ाने पर अभिक्रिया दर दोगुनी हो जाती है तो वेग स्थिरांक का मान भी दोगुना हो जाएगा अर्थात् $\frac{k_2}{k_1} = 2$

दिए गए सूत्र में, k_1 अभिक्रिया का वेग स्थिरांक T_1 K ताप पर (अर्थात् 300 K पर), k_2 अभिक्रिया का वेग स्थिरांक T_2 K ताप पर (अर्थात् 310 K पर), $R \rightarrow$ गैस स्थिरांक = 8.314 जूल केल्विन⁻¹ मोल⁻¹

$$\begin{aligned} \therefore E_a &= \frac{2.303 \times 8.314 \times 300 \times 310}{310 - 300} \log_{10} 2 \\ &= \frac{2.303 \times 8.314 \times 300 \times 310 \times 0.3010}{10} \\ &= 53598.59 \text{ जूल मोल}^{-1} \end{aligned}$$



प्रश्न 1:- रासायनिक अभिक्रिया की गति को प्रभावित करने वाले कारक कौन-कौन से हैं?

उत्तर:- रासायनिक अभिक्रिया की गति (Rate of Reaction) विभिन्न कारकों पर निर्भर करती है। ये कारक अभिक्रिया की दर को बढ़ा या घटा सकते हैं। मुख्य कारक निम्नलिखित हैं:

1. अभिकारकों की सांद्रता (Concentration of Reactants):

अभिकारकों की सांद्रता बढ़ाने से अणुओं की टकराव की संभावना बढ़ती है, जिससे अभिक्रिया की दर तेज हो जाती है।

2. तापमान (Temperature):

तापमान बढ़ाने से अणुओं की गतिज ऊर्जा बढ़ती है, जिससे प्रभावी टकराव की संख्या बढ़ जाती है और अभिक्रिया की गति तेज होती है।

3. दाब (Pressure):

गैसीय अभिक्रियाओं में दाब बढ़ाने से अणुओं की सांद्रता बढ़ती है, जिससे अभिक्रिया दर में वृद्धि होती है।

4. उत्प्रेरक (Catalyst):

उत्प्रेरक अभिक्रिया के ऊर्जा अवरोध (activation energy) को कम करता है, जिससे अभिक्रिया की गति तेज हो जाती है।

5. अभिकारक की प्रकृति (Nature of Reactants):

अभिकारकों के भौतिक और रासायनिक गुण, जैसे बंधन की शक्ति और अणुओं का आकार, अभिक्रिया की गति को प्रभावित करते हैं।

6. पृष्ठ क्षेत्रफल (Surface Area):

ठोस अभिकारकों में पृष्ठ क्षेत्रफल बढ़ाने से अणुओं के बीच संपर्क क्षेत्र बढ़ता है, जिससे अभिक्रिया की गति तेज होती है।

इन कारकों का अध्ययन रासायनिक गतिकी में अभिक्रियाओं को नियंत्रित और अनुकूलित करने के लिए किया जाता है।

प्रश्न 2:- रासायनिक अभिक्रिया के "आदेश" और "आणविकता" में क्या अंतर है?

उत्तर:- रासायनिक अभिक्रिया के "आदेश" (Order of Reaction) और "आणविकता" (Molecularity) के बीच मूलभूत अंतर उनके परिभाषा, मापन और व्यवहार से जुड़ा हुआ है।

1. आदेश (Order of Reaction):

- यह एक प्रायोगिक रूप से निर्धारित मात्रा है जो यह दर्शाती है कि अभिक्रिया की गति पर विभिन्न अभिकारकों (Reactants) की सांद्रता का कुल प्रभाव कितना है।

- इसे रेट लॉ (Rate Law) के आधार पर परिभाषित किया जाता है, जैसे $r = k[A]^m[B]^n$ जहां $m+n$ अभिक्रिया का आदेश है।
- आदेश भिन्नांक (Fractional) या पूर्णांक (Whole Number) हो सकता है और यह अभिक्रिया तंत्र (Reaction Mechanism) पर निर्भर करता है।

2. आणविकता (Molecularity):

- यह यह बताती है कि किसी अभिक्रिया के प्राथमिक चरण (Elementary Step) में कितने कण (Atoms, Ions या Molecules) भाग ले रहे हैं।
- आणविकता हमेशा पूर्णांक होती है, जैसे एक-आणविक (Unimolecular), द्वि-आणविक (Bimolecular), या त्रि-आणविक (Trimolecular)।
- यह सैद्धांतिक अवधारणा है और केवल प्राथमिक अभिक्रियाओं के लिए परिभाषित है।

मुख्य अंतर: आदेश प्रायोगिक डेटा पर आधारित है और पूर्ण अभिक्रिया को दर्शाता है, जबकि आणविकता एक प्राथमिक चरण की सैद्धांतिक संपत्ति है।

प्रश्न 3:- शून्य क्रम और प्रथम क्रम अभिक्रिया की दर समीकरण लिखें।

उत्तर:- 1. शून्य क्रम अभिक्रिया (Zero Order Reaction):

शून्य क्रम अभिक्रिया वह होती है जिसमें अभिक्रिया की दर अभिकारकों की सांद्रता पर निर्भर नहीं करती। इसका सामान्य दर समीकरण है:

$$r = k$$

जहां,

- R = अभिक्रिया दर (Reaction Rate)
- k = दर स्थिरांक (Rate Constant)

शून्य क्रम अभिक्रिया में अभिकारक की सांद्रता समय के साथ एक रैखिक (linear) रूप में कम होती है।

सांद्रता $[A]$ के लिए अभिक्रिया का एकीकरण (Integration) करने पर समीकरण बनता है:

$$[A] = [A_0] - kt$$

जहां,

- $[A]$ = समय t पर अभिकारक की सांद्रता
- $[A_0]$ = प्रारंभिक सांद्रता

2. प्रथम क्रम अभिक्रिया (First Order Reaction):

प्रथम क्रम अभिक्रिया वह होती है जिसमें अभिक्रिया दर एक अभिकारक की सांद्रता के प्रति रैखिक रूप से निर्भर करती है।

इसका सामान्य दर समीकरण है:

$$r = k[A]$$

एकीकरण करने पर, अभिकारक की सांद्रता $[A]$ का समीकरण बनता है:

$$\ln[A] = \ln[A_0] - kt$$

या,

$$[A] = [A_0] e^{-kt}$$

प्रथम क्रम अभिक्रिया में अर्ध-आयु (Half-life) का मान $t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$ होता है, जो केवल दर स्थिरांक पर निर्भर करता है।

प्रश्न 4:- "आधा-अवधि" और "औसत जीवन" का क्या अर्थ है? इसे सरल शब्दों में समझाइए।

उत्तर:- रसायन विज्ञान में आधा-अवधि (Half-life) और औसत जीवन (Average life) अभिक्रियाओं की गति और अणुओं के क्षय को समझाने के लिए उपयोग किए जाते हैं। ये दोनों अवधारणाएँ समय और रासायनिक प्रक्रियाओं के बीच के संबंध को दर्शाती हैं।

आधा-अवधि (Half-life)

आधा-अवधि उस समय को कहते हैं जिसमें किसी रासायनिक अभिक्रिया में अभिक्रियक का आधा भाग समाप्त हो जाता है। इसे $t_{1/2}$ से दर्शाया जाता है। उदाहरण के लिए, अगर किसी अभिक्रियक की प्रारंभिक सांद्रता $[A]_0$ है और वह समय $t_{1/2}$ में घटकर $[A]_0/2$ हो जाती है, तो वह समय उसकी आधा-अवधि कहलाता है। यह विशेष रूप से शून्य, प्रथम, और द्वितीय क्रम की अभिक्रियाओं में भिन्न-भिन्न होता है।

औसत जीवन (Average life)

औसत जीवन वह औसत समय है, जिसके दौरान किसी अभिक्रियक अणु का अस्तित्व रहता है। इसे τ से दर्शाया जाता है। यह अभिक्रिया के क्रम के अनुसार भिन्न होता है और इसे $\tau = \frac{1}{k}$ (जहाँ k दर स्थिरांक है) से व्यक्त किया जाता है।

सरल शब्दों में, आधा-अवधि अभिक्रियक की सांद्रता के आधे होने का समय है, जबकि औसत जीवन एक अणु के समाप्त होने तक का औसत समय है। ये दोनों अवधारणाएँ रासायनिक अभिक्रियाओं की गति को समझने में सहायक होती हैं।

प्रश्न 5:- अभिक्रिया क्रम ज्ञात करने के लिए उपयोग किए जाने वाले विभिन्न तरीकों के नाम बताइए।

उत्तर:- रासायनिक अभिक्रियाओं का क्रम (Order of Reaction) निर्धारित करना रासायनिक गतिकी (Chemical Dynamics) का एक महत्वपूर्ण भाग है। इसे निर्धारित करने के लिए विभिन्न तरीके अपनाए जाते हैं, जिनका चयन अभिक्रिया के प्रकार और उपलब्ध डाटा पर निर्भर करता है। मुख्य तरीके निम्नलिखित हैं:

1. प्रायोगिक विधि (Experimental Method):

रासायनिक अभिक्रिया के दौरान सांद्रण और समय के मापन के आधार पर क्रम का निर्धारण किया जाता है।

2. समाकलन विधि (Integration Method):

सांद्रण बनाम समय के डेटा को रासायनिक दर समीकरण में फिट करके क्रम ज्ञात किया जाता है।

3. आधी-आयु विधि (Half-Life Method):

अर्ध-आयु के सांद्रण पर निर्भरता का अध्ययन करके अभिक्रिया क्रम निर्धारित किया जाता है।

4. शुरुआती दर विधि (Initial Rate Method):

विभिन्न प्रारंभिक सांद्रणों पर दर मापकर क्रम का पता लगाया जाता है।

5. ग्राफिक विधि (Graphical Method):

सांद्रण और समय के ग्राफ के आधार पर क्रम की पहचान की जाती है।

6. रेडियोधर्मी विधि (Radiochemical Method):

रेडियोधर्मी ट्रेसरों का उपयोग कर क्रम का अध्ययन किया जाता है।

प्रश्न 6:- तापमान का अभिक्रिया की गति पर क्या प्रभाव पड़ता है? इसे Arrhenius समीकरण के माध्यम से समझाइए।

उत्तर:- तापमान का अभिक्रिया की गति पर सीधा प्रभाव पड़ता है। सामान्यतः, तापमान बढ़ने से अभिक्रिया की गति बढ़ती है। इसे Arrhenius समीकरण के माध्यम से समझाया जा सकता है। Arrhenius समीकरण निम्नलिखित है:



जहां,

- k : गति स्थिरांक (rate constant)
- A : आवृत्ति गुणांक (frequency factor)
- E_a : सक्रियण ऊर्जा (activation energy)
- R : गैस स्थिरांक (gas constant)
- T : तापमान (Kelvin में)

इस समीकरण के अनुसार, गति स्थिरांक k तापमान T पर निर्भर करता है। जब तापमान बढ़ता है, तो $-E_a/RT$ का मान छोटा हो जाता है, जिससे $e^{-E_a/RT}$ का मान बढ़ जाता है। इसका परिणाम यह होता है कि गति स्थिरांक k बढ़ जाती है और अभिक्रिया तेजी से होती है।

रासायनिक अभिक्रियाओं में, उच्च तापमान पर अणुओं की गतिज ऊर्जा बढ़ जाती है। यह अणुओं के बीच प्रभावी टकरावों की संख्या और उनकी ऊर्जा को बढ़ाता है, जिससे सक्रियण ऊर्जा की बाधा पार करने वाले अणुओं का अनुपात अधिक हो जाता है। परिणामस्वरूप, अभिक्रिया की गति तेज हो जाती है।

उदाहरण के रूप में, यदि किसी अभिक्रिया की सक्रियण ऊर्जा कम है, तो तापमान में थोड़ी वृद्धि से भी गति स्थिरांक में बड़ा परिवर्तन हो सकता है। इसी कारण से रासायनिक प्रक्रियाओं में तापमान को नियंत्रित करना बहुत महत्वपूर्ण होता है।

प्रश्न 7:- "सक्रियण ऊर्जा" (Activation Energy) का अर्थ स्पष्ट करें। यह अभिक्रिया की दर को कैसे प्रभावित करता है?

उत्तर:- सक्रियण ऊर्जा वह न्यूनतम ऊर्जा है जो एक रासायनिक अभिक्रिया को आरंभ करने के लिए अभिक्रियाशील कणों को आवश्यक होती है। इसे अभिक्रिया के दौरान अभिक्रियाशील अणुओं या आयनों को सक्रिय अवस्था (Transition State) तक पहुंचाने के लिए जरूरी ऊर्जा के रूप में परिभाषित किया जाता है। सक्रियण ऊर्जा का परिमाण रासायनिक अभिक्रिया की गति को निर्धारित करता है।

जब दो अणु परस्पर टकराते हैं, तो वे केवल तभी रासायनिक अभिक्रिया करेंगे जब उनके पास सक्रियण ऊर्जा से अधिक ऊर्जा हो। सक्रियण ऊर्जा जितनी कम होगी, अणुओं के लिए टकराने और अभिक्रिया करने की संभावना उतनी ही अधिक होगी। इसके विपरीत, यदि सक्रियण ऊर्जा अधिक होती है, तो बहुत कम अणु अभिक्रिया के लिए पर्याप्त ऊर्जा प्राप्त कर पाएंगे, जिससे अभिक्रिया की दर धीमी हो जाएगी।

अभिक्रिया की दर तापमान पर भी निर्भर करती है। उच्च तापमान पर अणु अधिक गतिशील होते हैं और सक्रियण ऊर्जा को पार करने के लिए पर्याप्त ऊर्जा प्राप्त करते हैं, जिससे अभिक्रिया की दर तेज हो जाती है। इसके अलावा, उत्प्रेरक (Catalyst) सक्रियण ऊर्जा को कम करता है और अभिक्रिया को तेज करता है।

इस प्रकार, सक्रियण ऊर्जा अभिक्रिया की गति और उसका नियंत्रण करने में एक महत्वपूर्ण कारक है।

प्रश्न 8:- हार्ड स्फीयर मॉडल पर आधारित "सरल टक्कर सिद्धांत" क्या है? इसे संक्षेप में समझाइए।

उत्तर:- सरल टक्कर सिद्धांत एक रासायनिक प्रतिक्रिया के लिए काइनेटिक सिद्धांत को समझाने का एक मॉडल है, जो यह मानता है कि रासायनिक प्रतिक्रियाएं केवल तभी होती हैं जब अभिकारक अणु एक-दूसरे से प्रभावी टक्कर करें। हार्ड स्फीयर मॉडल में, अणुओं को ठोस, कठोर गोले के रूप में देखा जाता है, जो तब प्रतिक्रिया कर सकते हैं जब वे पर्याप्त ऊर्जा और उचित दिशा के साथ आपस में टकराते हैं।

यह सिद्धांत निम्नलिखित मुख्य बिंदुओं पर आधारित है:

1. अणुओं की गति: अणु निरंतर गति में रहते हैं और यह गति उनके तापमान पर निर्भर करती है। उच्च तापमान पर अणुओं की गति और उनके बीच टक्कर की संभावना बढ़ जाती है।
2. ऊर्जा की आवश्यकता: प्रतिक्रिया के लिए टक्कर में पर्याप्त ऊर्जा (सक्रियण ऊर्जा) होनी चाहिए। यदि टक्कर में ऊर्जा सक्रियण ऊर्जा से कम होती है, तो प्रतिक्रिया नहीं होगी।
3. उन्मुखीकरण (Orientation): प्रतिक्रिया के लिए केवल टक्कर पर्याप्त नहीं है। अणुओं का सही उन्मुखीकरण भी आवश्यक है ताकि वे नई बॉन्ड बना सकें या पुराने बॉन्ड तोड़ सकें।
4. टक्कर की दर: टक्कर की दर अणुओं की संख्या, उनकी गति, और उनके बीच प्रभावी टक्कर की संभावना पर निर्भर करती है।

हार्ड स्फीयर मॉडल के अनुसार, अणु एक-दूसरे के निकट आते हैं और उनके बीच की दूरी और ऊर्जा स्तर निर्धारित करते हैं कि क्या प्रतिक्रिया होगी। हालांकि यह सिद्धांत सरल और प्रभावी है, परंतु यह यथार्थता से थोड़ा भिन्न है क्योंकि यह अणुओं की आंतरिक संरचना और क्वांटम प्रभावों को अनदेखा करता है।

निष्कर्ष: सरल टक्कर सिद्धांत के जरिए हम यह समझ सकते हैं कि रासायनिक प्रतिक्रिया की गति किस प्रकार अणुओं की टक्कर और ऊर्जा पर निर्भर करती है।

प्रश्न 9:- कोटि और अणुसंख्यता (आण्विकता) में क्या अन्तर है?

उत्तर:- रासायनिक अभिक्रियाओं के अध्ययन में अणुसंख्यता (Molecularity) और कोटि (Order) दो महत्वपूर्ण अवधारणाएँ हैं, जो अभिक्रिया की गति और तंत्र को समझने में सहायता करती हैं।

अणुसंख्यता (Molecularity):

यह किसी प्राथमिक (elementary) अभिक्रिया में भाग लेने वाले अणुओं, परमाणुओं या आयनों की संख्या को दर्शाती है, जो आपस में टकराकर अभिक्रिया को संपन्न करते हैं। अणुसंख्यता एक सैद्धांतिक अवधारणा है और इसका मान सदैव एक पूर्णांक होता है, जैसे:

- एकाणुक (Unimolecular) अभिक्रिया: जब एक ही अणु अभिक्रिया में भाग लेता है। उदाहरण:
$$\text{NH}_4\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$
- द्विअणुक (Bimolecular) अभिक्रिया: जब दो अणु अभिक्रिया में भाग लेते हैं। उदाहरण:
$$2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$$
- त्रिअणुक (Termolecular) अभिक्रिया: जब तीन अणु अभिक्रिया में भाग लेते हैं। उदाहरण:
$$2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$$

कोटि (Order):

यह अभिक्रिया की दर (rate) पर अभिकारकों की सांद्रता के प्रभाव को दर्शाता है। कोटि का मान प्रायोगिक रूप से निर्धारित किया जाता है और यह अभिकारकों की सांद्रता के घातांकों के योग के बराबर होता है, जिन पर अभिक्रिया की दर निर्भर करती है। कोटि का मान शून्य, धनात्मक, ऋणात्मक या भिन्नात्मक भी हो सकता है। उदाहरण:

- प्रथम कोटि (First-order) अभिक्रिया: दर केवल एक अभिकारक की सांद्रता पर निर्भर करती है। उदाहरण: $\text{Rate} = k[\text{A}]$
- द्वितीय कोटि (Second-order) अभिक्रिया: दर दो अभिकारकों की सांद्रता पर निर्भर करती है। उदाहरण: $\text{Rate} = k[\text{A}][\text{B}]$

अणुसंख्यता और कोटि में अंतर:

- स्वरूप: अणुसंख्यता एक सैद्धांतिक अवधारणा है, जो प्राथमिक अभिक्रियाओं के लिए परिभाषित होती है, जबकि कोटि प्रायोगिक रूप से निर्धारित की जाती है और यह जटिल अभिक्रियाओं के लिए भी लागू होती है।
- मान: अणुसंख्यता का मान सदैव एक धनात्मक पूर्णांक होता है (1, 2, 3, आदि), जबकि कोटि का मान शून्य, धनात्मक, ऋणात्मक या भिन्नात्मक भी हो सकता है।
- प्रभाव: अणुसंख्यता केवल प्राथमिक अभिक्रियाओं के लिए परिभाषित होती है, जबकि कोटि किसी भी अभिक्रिया के लिए निर्धारित की जा सकती है।

- निर्धारण: अणुसंख्यता को अभिक्रिया के तंत्र से जाना जा सकता है, जबकि कोटि को प्रायोगिक डेटा से निर्धारित किया जाता है।

अति लघु उत्तरीय प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1:- रासायनिक अभिक्रिया की दर क्या है?

उत्तर:- रासायनिक अभिक्रिया की दर अभिक्रिया के दौरान उत्पादों या अभिकारकों की सांद्रता में समय के साथ होने वाले परिवर्तन को दर्शाती है। इसे $-d[A]/dt$ या $+d[B]/dt$ के रूप में व्यक्त किया जाता है।

प्रश्न 2 :- अभिक्रिया की आवधिकता और क्रम में क्या अंतर है?

उत्तर:- आवधिकता, अभिक्रिया में भाग लेने वाले अणुओं की कुल संख्या है, जबकि क्रम अभिक्रिया के दर समीकरण में सांद्रता पर निर्भरता का योग है। आवधिकता पूर्णांक होती है, पर क्रम दशमलव हो सकता है।

प्रश्न 3:- शून्य क्रम की अभिक्रिया का गणितीय समीकरण क्या है?

उत्तर:- शून्य क्रम की अभिक्रिया का समीकरण है: $[A]=[A]_0 - kt$ जहाँ $[A]$ अभिकारक की सांद्रता, k दर स्थिरांक और t समय है।

प्रश्न 4:- प्रथम क्रम की अभिक्रिया के लिए अर्ध-आयु (Half-life) कैसे परिभाषित की जाती है?

उत्तर:- प्रथम क्रम की अभिक्रिया के लिए अर्ध-आयु वह समय है जिसमें अभिकारक की सांद्रता अपनी प्रारंभिक सांद्रता का आधा हो जाती है। इसे $t_{1/2} = 0.693/k$ द्वारा परिभाषित किया जाता है।

प्रश्न 5:- द्वितीय क्रम की अभिक्रिया की दर का सांद्रता पर निर्भरता कैसे होती है?

उत्तर:- द्वितीय क्रम की अभिक्रिया की दर सांद्रता के वर्ग पर निर्भर करती है। दर समीकरण $Rate=k[A]^2$ है, जहाँ k दर स्थिरांक और $[A]$ अभिकारक की सांद्रता है।

प्रश्न 6:- छद्म क्रम (Pseudo order) अभिक्रिया का एक उदाहरण दीजिए।

उत्तर:- छद्म क्रम अभिक्रिया का उदाहरण हाइड्रोलिसिस अभिक्रिया है, जैसे एसिटामाइड का हाइड्रोलिसिस। इसमें जल की अधिक मात्रा के कारण इसकी सांद्रता दर समीकरण में नहीं आती।

प्रश्न 7:- अभिक्रिया की क्रम निर्धारण की विभेदक विधि (Differential Method) का संक्षेप में वर्णन करें।

उत्तर:- विभेदक विधि में, दर समीकरण $-d[A]/dt=k[A]^n$ को सांद्रता $[A]$ के विभिन्न मानों पर दर (Rate) का मापन करके क्रम n ज्ञात किया जाता है।

प्रश्न 8:- तापमान का अभिक्रिया दर पर क्या प्रभाव पड़ता है?

उत्तर:- तापमान बढ़ने से अभिक्रिया दर बढ़ती है क्योंकि अधिक अणुओं में टकराने की ऊर्जा पर्याप्त होती है। यह Arrhenius समीकरण $k=Ae^{-E_a/RT}$ से स्पष्ट होता है।

प्रश्न 9:- Arrhenius समीकरण में सक्रियण ऊर्जा (Activation Energy) की भूमिका क्या है?

उत्तर:- सक्रियण ऊर्जा वह न्यूनतम ऊर्जा है जो अभिकारकों को उत्पाद में परिवर्तित होने के लिए चाहिए। यह दर स्थिरांक को प्रभावित करती है। कम सक्रियण ऊर्जा से दर स्थिरांक बढ़ता है।

प्रश्न 10:- कठोर गोला मॉडल (Hard Sphere Model) के आधार पर सरल टकराव सिद्धांत (Simple Collision Theory) क्या बताता है?

उत्तर:- कठोर गोला मॉडल के अनुसार, अभिक्रिया तभी होती है जब अणु पर्याप्त ऊर्जा और उपयुक्त दिशा के साथ टकराते हैं। यह अभिक्रिया दर को प्रभावी टक्करों की संख्या पर निर्भर मानता है।

प्रश्न 11:- संक्रमण अवस्था सिद्धांत (Transition State Theory) की मुख्य धारणा क्या है?

उत्तर:- संक्रमण अवस्था सिद्धांत के अनुसार, अभिक्रिया के दौरान अभिकारक और उत्पाद के बीच एक उच्च-ऊर्जा संक्रमण अवस्था बनती है। यह अवस्था अभिक्रिया दर का निर्धारण करती है।

प्रश्न 12:- थर्मोडायनामिक पहलुओं के आधार पर दर स्थिरांक की अभिव्यक्ति क्या होती है?

उत्तर:- थर्मोडायनामिक पहलुओं से दर स्थिरांक को $k=(k_B T/h)e^{-\Delta G^\ddagger/RT}$ द्वारा व्यक्त किया जाता है, जहाँ k_B बोल्ट्ज़मैन स्थिरांक, h प्लांक स्थिरांक, और ΔG^\ddagger सक्रियण गिब्स ऊर्जा है।