

## ऊष्मागतिकी

इस अध्याय के सभी महत्वपूर्ण प्रश्न – उत्तर सहित। पहले खुद हल करने की कोशिश करो, फिर उत्तर मिलाओ।

### अभ्यास प्रश्न-उत्तर (हर टॉपिक से)

#### » ऊष्मागतिकी का परिचय और महत्व

प्रश्न 1 (आसान). ऊष्मागतिकी मुख्य रूप से किसका अध्ययन है?

उत्तर – ऊर्जा-रूपांतरण का

प्रश्न 2 (आसान). क्या ऊष्मागतिकी एक रासायनिक अभिक्रिया की दर (speed) बताती है?

उत्तर – नहीं

प्रश्न 3 (मध्यम). तुमने एक लकड़ी का टुकड़ा जलाया। ऊष्मागतिकी के अनुसार, क्या यह एक स्वतः (spontaneous) प्रक्रिया है और ऊर्जा का क्या रूपांतरण हो रहा है?

उत्तर – हां, यह एक स्वतः प्रक्रिया है। रासायनिक ऊर्जा ऊष्मीय ऊर्जा और प्रकाश ऊर्जा में रूपांतरित हो रही है।

प्रश्न 4 (कठिन). पानी का अपने आप ऊपर की ओर चढ़ना संभव क्यों नहीं है, इसे ऊष्मागतिकी के संदर्भ में समझाओ।

उत्तर – गुरुत्वाकर्षण के विरुद्ध पानी का अपने आप ऊपर चढ़ना एक ऐसी प्रक्रिया है जिसमें ऊर्जा लगानी पड़ती है (गैर-स्वतः प्रक्रिया)। ऊष्मागतिकी के नियम बताते हैं कि स्वतः प्रक्रियाएं वे होती हैं जो ऊर्जा मुक्त करती हैं या सिस्टम की एन्ट्रॉपी बढ़ाती हैं। पानी का ऊपर चढ़ना इनमें से कोई भी शर्त पूरी नहीं करता।

#### » ऊष्मागतिकी के तकनीकी शब्द: निकाय और परिवेश

प्रश्न 5 (आसान). अगर एक कप गरम कॉफी टेबल पर रखी है, तो कॉफी क्या होगी – निकाय या परिवेश?

उत्तर – कॉफी 'निकाय' होगी।

प्रश्न 6 (आसान). तुम अपने घर के कमरे में बैठे हो। तुम्हारे लिए तुम्हारा कमरा क्या है – निकाय या परिवेश?

उत्तर – तुम्हारा कमरा 'परिवेश' है, तुम खुद 'निकाय' हो।

प्रश्न 7 (मध्यम). एक फुटबॉल मैच में, अगर हम सिर्फ एक खिलाड़ी के प्रदर्शन का विश्लेषण कर रहे हैं, तो वो खिलाड़ी 'निकाय' है। बाकी खिलाड़ी, मैदान, दर्शक – ये सब क्या होंगे?

उत्तर – ये सब 'परिवेश' होंगे।

प्रश्न 8 (कठिन). आप एक आइस क्यूब को पिघलते हुए देख रहे हैं। निकाय क्या है और परिवेश क्या है? और निकाय और परिवेश को कौन सी चीज़ अलग करती है?

उत्तर – निकाय: आइस क्यूब। परिवेश: आस-पास की हवा। निकाय और परिवेश को अलग करने वाली चीज़ 'परिसीमा' (boundary) कहलाती है, इस मामले में ये आइस क्यूब की सतह है।

#### » निकाय के प्रकार: खुला, बंद और विलगित

प्रश्न 9 (आसान). एक पूरी तरह से बंद और इन्सुलेटेड (ऊष्मारोधी) बोतल में रखा बर्फ का टुकड़ा किस प्रकार का निकाय है?

उत्तर – विलगित निकाय (Isolated System)

प्रश्न 10 (आसान). एक प्रयोगशाला में खुला बीकर जिसमें कोई रासायनिक अभिक्रिया हो रही है, किस प्रकार का निकाय है?

उत्तर – खुला निकाय (Open System)

**प्रश्न 11 (मध्यम).** एक बंद बर्तन में पानी उबल रहा है। क्या यह एक बंद निकाय का उदाहरण है? क्यों?

उत्तर – हाँ, यह एक बंद निकाय है। द्रव्य (पानी की भाप) बर्तन से बाहर नहीं जा पा रही क्योंकि वह बंद है, लेकिन ऊर्जा (गर्मी) बर्तन की दीवारों से परिवेश में जा रही है (बर्तन गर्म होता है)।

**प्रश्न 12 (कठिन).** हमारे ब्रह्मांड को ऊष्मागतिकी के संदर्भ में किस प्रकार का निकाय माना जाता है? कारण बताओ।

उत्तर – हमारे ब्रह्मांड को एक विलगित निकाय माना जाता है। ऐसा इसलिए क्योंकि ब्रह्मांड के बाहर न तो कोई द्रव्य है और न ही कोई ऊर्जा जिससे उसका आदान-प्रदान हो सके। इसलिए, ब्रह्मांड में कुल द्रव्य और कुल ऊर्जा स्थिर मानी जाती है।

### » निकाय की अवस्था और अवस्था-फलन

**प्रश्न 13 (आसान).** निम्नलिखित में से कौन सा अवस्था-फलन नहीं है: P, V, T, कार्य (work)?

उत्तर – कार्य (work)

**प्रश्न 14 (आसान).** क्या किसी निकाय की आंतरिक ऊर्जा एक अवस्था-फलन है?

उत्तर – हाँ

**प्रश्न 15 (मध्यम).** यदि एक सिस्टम का आयतन 5 लीटर से 10 लीटर हो जाता है, चाहे यह एक बार में हो या दो चरणों में, तो आयतन में कुल परिवर्तन क्या होगा? क्या आयतन एक अवस्था-फलन है?

उत्तर – कुल परिवर्तन 5 लीटर होगा। हाँ, आयतन एक अवस्था-फलन है।

**प्रश्न 16 (कठिन).** एक रासायनिक प्रतिक्रिया में, एक अभिकारक को 50°C पर गर्म करके 100°C तक ले जाया जाता है। इस दौरान, उसने 20 जूल ऊष्मा अवशोषित की और सिस्टम पर 10 जूल कार्य किया गया। क्या ऊष्मा और कार्य अवस्था-फलन हैं? अपने उत्तर को स्पष्ट करें।

उत्तर – नहीं, ऊष्मा (q) और कार्य (w) अवस्था-फलन नहीं हैं। इनका मान उस पथ पर निर्भर करता है जिससे प्रक्रिया हुई है। सिर्फ उनके योग (q+w), जो आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन (U) के बराबर होता है, वह एक अवस्था-फलन है।

### » आंतरिक ऊर्जा (U): एक अवस्था-फलन

**प्रश्न 17 (आसान).** यदि किसी निकाय से 30 जूल ऊष्मा निकलती है, तो क्या आंतरिक ऊर्जा बढ़ेगी या घटेगी?

उत्तर – आंतरिक ऊर्जा घटेगी।

**प्रश्न 18 (आसान).** आंतरिक ऊर्जा 'अवस्था-फलन' क्यों कहलाती है?

उत्तर – क्योंकि यह केवल निकाय की प्रारंभिक और अंतिम अवस्था पर निर्भर करती है, पथ पर नहीं।

**प्रश्न 19 (मध्यम).** एक निकाय 40 जूल ऊष्मा अवशोषित करता है और 15 जूल कार्य परिवेश पर करता है। आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन क्या होगा?

उत्तर –  $U = q + w = (+40 \text{ J}) + (-15 \text{ J}) = 25 \text{ J}$  (कार्य परिवेश पर हुआ है, इसलिए w ऋणात्मक होगा)।

**प्रश्न 20 (कठिन).** एक विलगित निकाय में क्या आंतरिक ऊर्जा बदल सकती है? कारण सहित समझाएँ।

उत्तर – एक विलगित निकाय (Isolated System) में आंतरिक ऊर्जा नहीं बदल सकती, क्योंकि इसमें ऊष्मा, कार्य या द्रव्य का कोई आदान-प्रदान नहीं होता ( $U = q + w = 0 + 0 = 0$ )।

### » कार्य (w) और रुद्धोष्म प्रक्रम

**प्रश्न 21 (आसान).** यदि किसी प्रक्रम में ऊष्मा का आदान-प्रदान न हो, तो उसे कौन सा प्रक्रम कहते हैं?

उत्तर – रुद्धोष्म प्रक्रम

**प्रश्न 22 (आसान).** रुद्धोष्म प्रक्रम में निकाय द्वारा 50 J कार्य किया जाता है, तो w का मान क्या होगा?

उत्तर – -50 J

**प्रश्न 23 (मध्यम).** एक रुद्धोष्म प्रक्रम में, निकाय की आंतरिक ऊर्जा में 150 J की कमी आती है। क्या निकाय पर कार्य किया गया है या निकाय द्वारा कार्य किया गया है? और कितना?

उत्तर – निकाय द्वारा 150 J कार्य किया गया है (क्योंकि आंतरिक ऊर्जा कम हुई है,  $w$  ऋणात्मक होगा, यानी निकाय ने काम किया)।

**प्रश्न 24 (कठिन).** एक सिलेंडर में गैस को रुद्धोष्म रूप से संपीड़ित (compressed) किया जाता है। यदि आंतरिक ऊर्जा में 300 J की वृद्धि होती है, तो कार्य ( $w$ ) का मान क्या होगा और क्या यह निकाय पर किया गया है या निकाय द्वारा?

उत्तर –  $w = +300 \text{ J}$ । यह कार्य निकाय पर किया गया है (क्योंकि संपीड़न हुआ है और आंतरिक ऊर्जा बढ़ी है)।

### » ऊष्मा ( $q$ ) और आंतरिक ऊर्जा पर प्रभाव

**प्रश्न 25 (आसान).** यदि निकाय पर कोई कार्य नहीं किया जाता है और वह परिवेश को 50 जूल ऊष्मा देता है, तो  $q$  का मान क्या होगा?

उत्तर –  $q = -50 \text{ J}$

**प्रश्न 26 (आसान).** ऊष्मा के लेन-देन के बिना, क्या आंतरिक ऊर्जा बदल सकती है?

उत्तर – नहीं, बिना ऊष्मा लेन-देन के  $U$  सिर्फ कार्य से बदलता है।

**प्रश्न 27 (मध्यम).** एक ताँबे के बर्तन में पानी है। उसे गैस पर रखने से पानी का तापमान बढ़ जाता है। इस प्रक्रिया में  $U$  और  $q$  के संबंध को समझाइए, यदि कोई कार्य नहीं हो रहा हो।

उत्तर – जब पानी को गरम किया जाता है, तो पानी ऊष्मा ( $q$ ) अवशोषित करता है, इसलिए  $q$  धनात्मक होता है। चूंकि कोई कार्य नहीं हो रहा है ( $w=0$ ), आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन ( $U$ ) सीधे  $q$  के बराबर होगा। तो  $U = q$ , और यह धनात्मक होगा, मतलब पानी की आंतरिक ऊर्जा बढ़ जाएगी।

**प्रश्न 28 (कठिन).** किसी निकाय की आंतरिक ऊर्जा में कब परिवर्तन होता है जब 'heat is transferred due to temperature difference' और 'no work is done'?

उत्तर – जब 'heat is transferred due to temperature difference' और 'no work is done', तो निकाय की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन होता है। यदि निकाय ऊष्मा अवशोषित करता है, तो  $U$  धनात्मक होता है (ऊर्जा बढ़ती है)। यदि निकाय ऊष्मा निष्कासित करता है, तो  $U$  ऋणात्मक होता है (ऊर्जा घटती है)। यह तब होता है जब निकाय की दीवारें 'thermally conducting' होती हैं, ताकि ऊष्मा का आदान-प्रदान हो सके।

### » ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम: $U = q + w$

**प्रश्न 29 (आसान).** यदि निकाय द्वारा 15 J ऊष्मा अवशोषित होती है और निकाय द्वारा 5 J कार्य किया जाता है, तो  $U$  क्या होगा?

उत्तर –  $U = 10 \text{ J}$

**प्रश्न 30 (आसान).** जब एक निकाय को 30 J ऊष्मा दी जाती है और उस पर 20 J कार्य किया जाता है, तो  $U$  ज्ञात करें।

उत्तर –  $U = 50 \text{ J}$

**प्रश्न 31 (मध्यम).** एक निकाय से 25 J ऊष्मा निकलती है और निकाय पर 15 J कार्य किया जाता है, तो  $U$  कितना होगा?

उत्तर –  $U = -10 \text{ J}$

**प्रश्न 32 (कठिन).** यदि एक निकाय की आंतरिक ऊर्जा 40 J बढ़ जाती है और उसने परिवेश पर 10 J कार्य किया है, तो उसने कितनी ऊष्मा अवशोषित की होगी?

उत्तर –  $q = 50 \text{ J}$

### » दाब-आयतन कार्य की गणना ( $p$ - $V$ कार्य)

**प्रश्न 33 (आसान).** एक आदर्श गैस 1 atm के स्थिर बाहरी दाब पर 2 लीटर से 4 लीटर तक फैलती है। किया गया कार्य क्या होगा?

उत्तर – -2 L atm

**प्रश्न 34 (आसान).** यदि 5 atm के स्थिर दाब पर एक गैस 8 लीटर से 3 लीटर तक संपीड़ित होती है। कार्य की गणना करें।

उत्तर – 25 L atm

**प्रश्न 35 (मध्यम).** 27°C पर 1 मोल आदर्श गैस उत्क्रमणीय रूप से 10 लीटर से 20 लीटर तक फैलती है। किया गया कार्य ज्ञात करें। ( $R = 0.0821 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )

उत्तर – -16.92 L atm (लगभग)

**प्रश्न 36 (कठिन).** एक मोल आदर्श गैस को 25°C पर 5 atm के बाहरी दाब के विरुद्ध 10 लीटर से 2 लीटर तक संपीड़ित किया जाता है। आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन क्या होगा यदि प्रक्रिया में 100 J ऊष्मा उत्सर्जित होती है?

उत्तर –  $U = -4050 \text{ J}$  (लगभग)

### » उत्क्रमणीय और अनुत्क्रमणीय प्रक्रम

**प्रश्न 37 (आसान).** प्रक्रियाओं को उत्क्रमणीय और अनुत्क्रमणीय में वर्गीकृत करें: पानी का उबलना, रबर बैंड का खिंचना और वापस आना (बहुत धीरे-धीरे), पेट्रोल का जलना।

उत्तर – उत्क्रमणीय: रबर बैंड का खिंचना और वापस आना (बहुत धीरे-धीरे)। अनुत्क्रमणीय: पानी का उबलना, पेट्रोल का जलना।

**प्रश्न 38 (आसान).** कौन सी प्रक्रिया धीमी गति से होती है और हर चरण में साम्यावस्था में रहती है?

उत्तर – उत्क्रमणीय प्रक्रम।

**प्रश्न 39 (मध्यम).** एक 'उत्क्रमणीय' प्रक्रम 'अनंतसूक्ष्म' चरणों में क्यों होता है?

उत्तर – ताकि निकाय और परिवेश हर चरण में लगभग साम्यावस्था में रहें और प्रक्रिया को किसी भी क्षण विपरीत दिशा में किया जा सके।

**प्रश्न 40 (कठिन).** वास्तविक दुनिया के अधिकांश प्रक्रम अनुत्क्रमणीय क्यों होते हैं?

उत्तर – क्योंकि वास्तविक प्रक्रम तेज़ होते हैं, उनमें घर्षण, ऊष्मा का क्षय आदि होता है, और वे हर पल साम्यावस्था में नहीं रहते, जिससे उन्हें पूरी तरह से उल्टा करना असंभव हो जाता है।

### » एन्थैल्पी (H): एक नया अवस्था-फलन

**प्रश्न 41 (आसान).** एन्थैल्पी (H) को कौन से तीन अवस्था-फलनों का योग कहते हैं?

उत्तर – आंतरिक ऊर्जा (U), दाब (p) और आयतन (V)

**प्रश्न 42 (आसान).** स्थिर दाब पर, एक अभिक्रिया में 500 J ऊष्मा उत्सर्जित होती है। इस अभिक्रिया के लिए H क्या होगा?

उत्तर – -500 J

**प्रश्न 43 (मध्यम).** एक अभिक्रिया में  $U = +150 \text{ J}$  है, और सिस्टम द्वारा 50 J का कार्य किया जाता है। स्थिर दाब पर H क्या होगा?

उत्तर – +200 J

**प्रश्न 44 (कठिन).** क्यों एन्थैल्पी (H) को एक अवस्था-फलन माना जाता है, जबकि ऊष्मा (q) एक अवस्था-फलन नहीं है?

उत्तर – क्योंकि H, U, p, और V जैसे अवस्था-फलनों का संयोजन है। U, p, V की वैल्यू केवल शुरुआती और अंतिम अवस्था पर निर्भर करती है, पथ पर नहीं। जबकि q पथ पर निर्भर करता है।

### » H और U के बीच संबंध

प्रश्न 45 (आसान). अगर एक गैसीय अभिक्रिया में उत्पादों के मोल 3 हैं और अभिकारकों के मोल 2 हैं, तो  $ng$  कितना होगा?

उत्तर –  $ng = 1$

प्रश्न 46 (आसान). अगर किसी अभिक्रिया में  $ng = 0$  है, तो H और U के बीच क्या संबंध होगा?

उत्तर –  $H = U$

प्रश्न 47 (मध्यम). अभिक्रिया  $N(g) + 3H(g) \rightarrow 2NH(g)$  के लिए  $ng$  का मान क्या होगा?

उत्तर –  $ng = 2 - (1 + 3) = 2 - 4 = -2$

प्रश्न 48 (कठिन).  $127^\circ\text{C}$  पर एक अभिक्रिया में  $U = -25 \text{ kJ/mol}$  है और  $ng = -1$  है। इस अभिक्रिया के लिए H की गणना करें। ( $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ )

उत्तर –  $T = 127 + 273 = 400 \text{ K}$ ।  $H = U + ngRT = -25000 \text{ J/mol} + (-1 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K} \times 400 \text{ K})$   
 $= -25000 - 3325.6 = -28325.6 \text{ J/mol}$  या  $-28.3256 \text{ kJ/mol}$

### » विस्तीर्ण और गहन गुण

प्रश्न 49 (आसान). क्या 'दाब' (Pressure) एक विस्तीर्ण गुण है या गहन गुण?

उत्तर – गहन गुण

प्रश्न 50 (आसान). एक उदाहरण दो जो विस्तीर्ण गुण हो।

उत्तर – आंतरिक ऊर्जा

प्रश्न 51 (मध्यम). निम्नलिखित में से कौन सा 'गहन गुण' नहीं है: ताप, घनत्व, ऊष्माधारिता?

उत्तर – ऊष्माधारिता (क्योंकि यह मात्रा पर निर्भर करती है)

प्रश्न 52 (कठिन). मोलर आयतन को गहन गुण क्यों माना जाता है, जबकि आयतन स्वयं एक विस्तीर्ण गुण है?

उत्तर – मोलर आयतन प्रति मोल आयतन को दर्शाता है, यानी यह एक निश्चित इकाई मात्रा (एक मोल) के लिए परिभाषित है। इसलिए, यह पदार्थ की कुल मात्रा पर निर्भर नहीं करता है, बल्कि उस इकाई मात्रा के लिए स्थिर रहता है, जो इसे गहन गुण बनाता है।

### » ऊष्माधारिता (C) और $C_p$ , $C_v$ में संबंध

प्रश्न 53 (आसान). ऊष्माधारिता (C) की परिभाषा दीजिए।

उत्तर – किसी पदार्थ के तापमान को 1 डिग्री सेल्सियस या 1 केल्विन बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा को ऊष्माधारिता कहते हैं।

प्रश्न 54 (आसान). स्थिर दाब पर ऊष्माधारिता को किस प्रतीक से दर्शाते हैं?

उत्तर –  $C_p$

प्रश्न 55 (मध्यम).  $C_p$  और  $C_v$  में क्या संबंध है? यह संबंध किसके लिए लागू होता है?

उत्तर –  $C_p - C_v = R$ । यह संबंध एक मोल आदर्श गैस के लिए लागू होता है।

प्रश्न 56 (कठिन). एक वास्तविक गैस के लिए  $C_p$  और  $C_v$  के बीच का संबंध आदर्श गैस से किस प्रकार भिन्न हो सकता है? संक्षेप में समझाइए।

उत्तर – वास्तविक गैसों में  $C_p - C_v = R$  संबंध सटीक रूप से लागू नहीं होता क्योंकि उनमें अंतर-आणविक बल और आयतन का प्रभाव भी होता है, जो आदर्श गैसों में नगण्य माना जाता है। इसलिए, वास्तविक गैसों के लिए इस संबंध में कुछ संशोधन की आवश्यकता होती है।

### » कैलोरीमिति: U और H का मापन

प्रश्न 57 (आसान). स्थिर आयतन पर आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन (U) मापने के लिए किस प्रकार के कैलोरीमीटर का उपयोग किया जाता है?

उत्तर – बम कैलोरीमीटर (Bomb Calorimeter)

प्रश्न 58 (आसान). स्थिर दाब पर एन्थैल्पी में परिवर्तन (H) मापने के लिए किस प्रकार के कैलोरीमीटर का उपयोग किया जाता है?

उत्तर – सामान्य कैलोरीमीटर (Standard Calorimeter)

प्रश्न 59 (मध्यम). एक अभिक्रिया में 200 g पानी का तापमान  $25^{\circ}\text{C}$  से  $30^{\circ}\text{C}$  तक बढ़ जाता है। यदि कैलोरीमीटर की ऊष्माधारिता  $100 \text{ J/K}$  है और पानी की विशिष्ट ऊष्मा  $4.18 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  है, तो अभिक्रिया से उत्पन्न कुल ऊष्मा (q) की गणना कीजिए।

उत्तर – पानी द्वारा अवशोषित ऊष्मा =  $m \times c \times T = 200 \text{ g} \times 4.18 \text{ J/g}^{\circ}\text{C} \times 5^{\circ}\text{C} = 4180 \text{ J}$ । कैलोरीमीटर द्वारा अवशोषित ऊष्मा =  $C_{\text{calorimeter}} \times T = 100 \text{ J/K} \times 5 \text{ K} = 500 \text{ J}$ । कुल उत्पन्न ऊष्मा =  $-(4180 \text{ J} + 500 \text{ J}) = -4680 \text{ J}$ ।

प्रश्न 60 (कठिन).  $298 \text{ K}$  पर  $0.5 \text{ ग्राम}$  मीथेन ( $\text{CH}_4$ ) को बम कैलोरीमीटर में जलाने पर तापमान  $1 \text{ K}$  बढ़ जाता है। यदि कैलोरीमीटर की ऊष्माधारिता  $15 \text{ kJ/K}$  है, तो मीथेन के दहन के लिए U ( $\text{kJ/mol}$  में) ज्ञात कीजिए। (मीथेन का आणविक द्रव्यमान =  $16 \text{ g/mol}$ )

उत्तर –  $q_{\text{calorimeter}} = C \times T = 15 \text{ kJ/K} \times 1 \text{ K} = 15 \text{ kJ}$ ।  $q_{\text{reaction}} = -15 \text{ kJ}$ । मोल्स की संख्या =  $0.5 \text{ g} / 16 \text{ g/mol} = 0.03125 \text{ mol}$ ।  $U$  (प्रति मोल) =  $-15 \text{ kJ} / 0.03125 \text{ mol} = -480 \text{ kJ/mol}$ ।

### » अभिक्रिया की एन्थैल्पी ( $r H$ )

प्रश्न 61 (आसान). अगर किसी अभिक्रिया में उत्पादों की कुल एन्थैल्पी  $50 \text{ kJ}$  है और अभिकारकों की कुल एन्थैल्पी  $30 \text{ kJ}$  है, तो  $r H$  क्या होगा?

उत्तर –  $20 \text{ kJ}$

प्रश्न 62 (आसान). क्या  $r H$  धनात्मक हो सकता है?

उत्तर – हाँ, बिल्कुल। अगर उत्पाद की एन्थैल्पी ज्यादा हो तो।

प्रश्न 63 (मध्यम). अभिक्रिया  $2\text{P(g)} \rightarrow \text{Q(g)}$  के लिए  $r H$  निकालिए, यदि P की मोलर एन्थैल्पी  $15 \text{ kJ/mol}$  और Q की  $40 \text{ kJ/mol}$  है।

उत्तर –  $r H = 40 - (2 \times 15) = 40 - 30 = 10 \text{ kJ/mol}$

प्रश्न 64 (कठिन). जब हम कहते हैं कि 'standard enthalpy of a reaction', तो 'standard' का क्या मतलब है और ये क्यों ज़रूरी है?

उत्तर – standard का मतलब है कि अभिक्रिया 'standard conditions' में हुई है, जैसे  $298 \text{ K}$  तापमान और  $1 \text{ bar}$  दाब पर। यह इसलिए ज़रूरी है ताकि हम अलग-अलग अभिक्रियाओं की एन्थैल्पी की तुलना एक समान परिस्थितियों में कर सकें।

### » मानक विरचन एन्थैल्पी ( $f H^{\circ}$ )

प्रश्न 65 (आसान). पानी ( $\text{H}_2\text{O}$ ) की मानक विरचन एन्थैल्पी की अभिक्रिया में कौन से तत्व अभिकारक होंगे?

उत्तर –  $\text{H(g)}$  और  $\text{O(g)}$

प्रश्न 66 (आसान).  $f H^{\circ}$  में 'f' क्या दर्शाता है?

उत्तर – Formation (विरचन)

प्रश्न 67 (मध्यम). अगर कैल्शियम कार्बोनेट ( $\text{CaCO}_3$ ) को  $\text{CaO(s)}$  और  $\text{CO}_2(\text{g})$  से बनाया जाए, तो क्या इसे  $\text{CaCO}_3$  की मानक विरचन एन्थैल्पी कहा जाएगा? क्यों या क्यों नहीं?

उत्तर – नहीं, क्योंकि  $\text{CaCO}_3$  को उसके तत्वों (Ca, C, O) से नहीं, बल्कि अन्य यौगिकों से बनाया जा रहा है।

प्रश्न 68 (कठिन). किसी भी तत्व के सबसे स्थायी अपररूप की मानक विरचन एन्थैल्पी ( $\Delta_f H^\circ$ ) क्या होती है? उदाहरण दीजिए।

उत्तर – शून्य (0) होती है। जैसे कार्बन (ग्रेफाइट) की  $\Delta_f H^\circ = 0$ , ऑक्सीजन गैस (O) की  $\Delta_f H^\circ = 0$ ।

### » प्रावस्था रूपांतरण में एन्थैल्पी-परिवर्तन

प्रश्न 69 (आसान). अगर बर्फ पिघल रही है, तो उस प्रक्रिया का नाम और एन्थैल्पी परिवर्तन का प्रतीक क्या होगा?

उत्तर – गलन (Fusion),  $\Delta_{\text{fus}} H^\circ$

प्रश्न 70 (आसान). क्या पानी के जमने (freezing) की एन्थैल्पी धनात्मक होगी या ऋणात्मक?

उत्तर – ऋणात्मक (क्योंकि ऊष्मा बाहर निकलती है)

प्रश्न 71 (मध्यम). अगर 1 मोल अमोनिया (NH<sub>3</sub>) को 239.73 K पर वाष्पित करने में 23.35 kJ ऊर्जा लगती है, तो उसकी वाष्पन एन्थैल्पी ( $\Delta_{\text{vap}} H^\circ$ ) क्या होगी?

उत्तर –  $+23.35 \text{ kJ mol}^{-1}$

प्रश्न 72 (कठिन). आपको नेफथलीन (कपूर जैसी गोली) को 'sublime' करने के लिए  $73.0 \text{ kJ mol}^{-1}$  ऊर्जा चाहिए। अगर आपके पास 128 ग्राम नेफथलीन (मोलर द्रव्यमान =  $128 \text{ g/mol}$ ) है, तो उसे पूरी तरह ऊर्ध्वपातित करने के लिए कितनी ऊर्जा लगेगी?

उत्तर –  $128 \text{ g नेफथलीन} = 1 \text{ मोल}$ । तो,  $73.0 \text{ kJ}$  ऊर्जा लगेगी।

### » हेस का स्थिर-ऊष्मा संकलन नियम

प्रश्न 73 (आसान). क्या हेस का नियम एन्थैल्पी परिवर्तन के पथ निर्भरता पर आधारित है?

उत्तर – नहीं, हेस का नियम बताता है कि एन्थैल्पी परिवर्तन पथ से स्वतंत्र होता है।

प्रश्न 74 (आसान). अगर एक अभिक्रिया दो चरणों में होती है,  $\Delta H = 50 \text{ kJ}$  और  $\Delta H = 30 \text{ kJ}$ , तो कुल  $\Delta H$  क्या होगा?

उत्तर – कुल  $\Delta H = 50 \text{ kJ} + 30 \text{ kJ} = 80 \text{ kJ}$

प्रश्न 75 (मध्यम). अभिक्रिया:  $\text{S(s)} + \text{O(g)} \rightarrow \text{SO(g)}$  के लिए  $\Delta H$  ज्ञात करें, यदि

उत्तर –  $\Delta H_{\text{कुल}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 = (-296.8 \text{ kJ}) + (-98.9 \text{ kJ}) = -395.7 \text{ kJ}$

प्रश्न 76 (कठिन). हेस के नियम का उपयोग करके  $\text{CH(g)}$  के हाइड्रोजनीकरण की एन्थैल्पी ( $\Delta H$ ) ज्ञात करें, यदि आपके पास ये अभिक्रियाएँ हैं:

उत्तर – सही उत्तर प्राप्त करने के लिए दी गई अभिक्रियाओं को उलट कर या गुणा करके लक्ष्य अभिक्रिया तक पहुंचना होगा। उदाहरण के लिए, यदि अभिक्रिया  $\text{CH(g)} + \text{H(g)} \rightarrow \text{CH}_2\text{(g)}$  के लिए  $\Delta H$  निकालना है और हमें  $\text{CH}$  के दहन और  $\text{CH}_2$  के दहन की एन्थैल्पी दी गई है, तो हमें चरणों को उचित रूप से जोड़ना होगा ताकि intermediates cancel out हो जाएँ और  $\Delta H$  का मान निकल आए।

## हल किए हुए उदाहरण (step-by-step)

उदाहरण 1. अगर एक कप गर्म चाय ठंडी हो जाती है, तो ऊष्मागतिकी के अनुसार इसमें कौन सा ऊर्जा रूपांतरण शामिल है और यह प्रक्रिया किस ओर बढ़ती है?

- › पहला चरण: पहचानो कि यहाँ किस प्रकार की ऊर्जा है। गर्म चाय में ऊष्मीय ऊर्जा होती है।
- › दूसरा चरण: पहचानो कि ऊर्जा का प्रवाह किस दिशा में हो रहा है। चाय की ऊष्मा परिवेश (आसपास) में जा रही है।
- › तीसरा चरण: ऊष्मागतिकी के नियम बताते हैं कि ऊष्मा हमेशा उच्च तापमान से निम्न तापमान की ओर प्रवाहित होती है।
- › चौथा चरण: इसलिए, यह एक स्वतः होने वाली प्रक्रिया है जहाँ ऊष्मीय ऊर्जा चाय से परिवेश में स्थानांतरित हो रही है, जिससे चाय ठंडी हो जाती है।

उत्तर – ऊष्मा का गर्म चाय से ठंडे परिवेश में स्थानांतरण। यह एक स्वतः (spontaneous) प्रक्रिया है जो प्राकृतिक रूप से उच्च तापमान से निम्न तापमान की ओर बढ़ती है।

**उदाहरण 2.** एक बंद परखनली (test tube) में रासायनिक अभिक्रिया हो रही है। इस स्थिति में 'निकाय' और 'परिवेश' क्या होगा?

› सबसे पहले, यह पहचानो कि हम किस चीज़ पर ध्यान दे रहे हैं। यहाँ हमारा अध्ययन 'रासायनिक अभिक्रिया' पर केंद्रित है।

› तो, जिस जगह वो अभिक्रिया हो रही है, यानी परखनली और उसके अंदर का सारा पदार्थ (अभिक्रिया मिश्रण), वो हमारा 'निकाय' होगा।

› अब, इस निकाय को छोड़कर बाकी सब कुछ 'परिवेश' है। परखनली जिस स्टैंड में रखी है, जहाँ परखनली रखी है वो लैब का कमरा, कमरे की हवा – ये सब 'परिवेश' का हिस्सा होगा।

**उत्तर – निकाय:** परखनली और उसके अंदर का रासायनिक अभिक्रिया मिश्रण। **परिवेश:** परखनली स्टैंड, लैब का कमरा, कमरे की हवा।

**उदाहरण 3.** अगर एक चाय का कप मेज पर रखा है और चाय ठंडी हो रही है, तो यह किस प्रकार का निकाय है? समझाओ।

› पहचानो कि क्या कप से भाप निकल रही है? हाँ, गरम चाय से भाप निकलती है, मतलब द्रव्य (पानी) का आदान-प्रदान हो रहा है।

› पहचानो कि क्या चाय ठंडी हो रही है? हाँ, ठंडी होने का मतलब है कि ऊष्मा (ऊर्जा) परिवेश में जा रही है, मतलब ऊर्जा का आदान-प्रदान हो रहा है।

› चूंकि द्रव्य और ऊर्जा दोनों का आदान-प्रदान हो रहा है, इसलिए यह एक खुला निकाय है।

**उत्तर – यह एक खुला निकाय (Open System) है, क्योंकि इससे द्रव्य (भाप) और ऊर्जा (ऊष्मा) दोनों का परिवेश के साथ विनिमय हो रहा है।**

**उदाहरण 4.** एक गैस का तापमान  $25^{\circ}\text{C}$  से  $35^{\circ}\text{C}$  तक बढ़ाया गया। यदि इस प्रक्रिया में पहले गैस को  $20^{\circ}\text{C}$  तक ठंडा किया गया और फिर  $35^{\circ}\text{C}$  तक गर्म किया गया, तो तापमान में कुल परिवर्तन (T) क्या होगा? क्या यह अवस्था-फलन है?

› हमें दिया गया है कि गैस की प्रारंभिक अवस्था में तापमान (T) =  $25^{\circ}\text{C}$  है।

› गैस की अंतिम अवस्था में तापमान (T) =  $35^{\circ}\text{C}$  है।

› तापमान में परिवर्तन (T) ज्ञात करने के लिए, हम अंतिम तापमान में से प्रारंभिक तापमान घटाते हैं:  $T = T - T$ ।

› तो,  $T = 35^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = +10^{\circ}\text{C}$ ।

› यहाँ प्रक्रिया के बीच में गैस को ठंडा किया गया, उससे कोई फर्क नहीं पड़ता, क्योंकि तापमान एक अवस्था-फलन है।

**उत्तर – तापमान में कुल परिवर्तन (T) =  $+10^{\circ}\text{C}$  होगा। हाँ, तापमान (T) एक अवस्था-फलन है क्योंकि इसका मान केवल प्रारंभिक और अंतिम अवस्था पर निर्भर करता है, उस रास्ते पर नहीं जिससे यह परिवर्तन हुआ।**

**उदाहरण 5.** एक निकाय है जिसकी आंतरिक ऊर्जा शुरुआत में 100 जूल (Joule) है। उसे 50 जूल ऊष्मा दी जाती है और निकाय पर 20 जूल कार्य किया जाता है। तो, निकाय की आंतरिक ऊर्जा में कितना परिवर्तन हुआ?

› हमें दिया है, प्रारंभिक आंतरिक ऊर्जा ( $U_{\text{initial}}$ ) = 100 J।

› निकाय को ऊष्मा दी गई है, मतलब ऊष्मा (q) = +50 J (क्योंकि ऊष्मा निकाय में प्रवेश कर रही है)।

› निकाय पर कार्य किया गया है, मतलब कार्य (w) = +20 J (जब निकाय पर कार्य होता है, तो उसे धनात्मक लेते हैं)।

› आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन (U) का सूत्र है:  $U = q + w$ ।

› मान रखने पर:  $U = 50 \text{ J} + 20 \text{ J} = 70 \text{ J}$ ।

**उत्तर – निकाय की आंतरिक ऊर्जा में 70 जूल का परिवर्तन हुआ। (यानी, अंतिम आंतरिक ऊर्जा  $100 + 70 = 170$  जूल हो गई)।**

**उदाहरण 6.** एक रुद्धोष्म प्रक्रम में निकाय पर 200 जूल (Joule) कार्य किया जाता है। निकाय की आंतरिक ऊर्जा में कितना परिवर्तन होगा?

› पहला, हमें पहचानना होगा कि यह एक रुद्धोष्म प्रक्रम है, जिसका मतलब है कि ऊष्मा का कोई आदान-प्रदान नहीं हो रहा ( $q = 0$ )।

› दूसरा, हमें दिया गया है कि 'निकाय पर कार्य किया जाता है' (work done on the system)। IUPAC परंपरा के अनुसार, निकाय पर किया गया कार्य धनात्मक होता है।

› तो, कार्य ( $w$ ) = +200 J।

› रुद्धोष्म प्रक्रम के लिए, आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन का सूत्र है:  $U = w_{ad}$ ।

› इसलिए,  $U = +200$  J।

**उत्तर – निकाय की आंतरिक ऊर्जा में +200 जूल का परिवर्तन होगा। (आंतरिक ऊर्जा 200 जूल बढ़ जाएगी)।**

**उदाहरण 7.** एक निकाय पर कोई कार्य नहीं किया जाता है, परंतु परिवेश से 200 जूल ऊष्मा अवशोषित करता है। निकाय की आंतरिक ऊर्जा में कितना परिवर्तन होगा?

› यहाँ हमें दिया गया है कि 'no work is done on the system', यानी कार्य ( $w$ ) = 0 है।

› निकाय परिवेश से 200 जूल ऊष्मा 'absorbs heat from the surroundings' अवशोषित करता है, तो ऊष्मा ( $q$ ) धनात्मक होगी। इसलिए  $q = +200$  J।

› चूंकि कोई कार्य नहीं हो रहा है, 'the change in internal energy ( $U$ ) is equal to  $q$ '.

› तो,  $U = q = +200$  J।

**उत्तर – निकाय की आंतरिक ऊर्जा में +200 जूल का परिवर्तन होगा, यानी आंतरिक ऊर्जा 200 जूल बढ़ जाएगी।**

**उदाहरण 8.** एक निकाय 20 J ऊष्मा अवशोषित करता है और उस पर 10 J कार्य किया जाता है। निकाय की आंतरिक ऊर्जा में कितना परिवर्तन होगा?

› यहाँ, निकाय ऊष्मा अवशोषित कर रहा है, तो  $q = +20$  J।

› निकाय पर कार्य किया जा रहा है, तो  $w = +10$  J।

› ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से,  $U = q + w$ ।

› मान रखने पर,  $U = 20$  J + 10 J।

›  $U = 30$  J।

**उत्तर – निकाय की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन 30 J होगा।**

**उदाहरण 9.** 2 atm के स्थिर बाहरी दाब पर एक आदर्श गैस का आयतन 5 लीटर से बढ़कर 10 लीटर हो जाता है। इस प्रक्रिया में किया गया कार्य ज्ञात कीजिए।

› यहाँ हमें 'work done by the system' निकालना है, क्योंकि गैस का आयतन बढ़ रहा है, यानी गैस फैल रही है।

› दिया गया है:  $p_{ex} = 2$  atm

› प्रारंभिक आयतन ( $V_i$ ) = 5 L

› अंतिम आयतन ( $V_f$ ) = 10 L

› कार्य का सूत्र है:  $w = -p_{ex}V$

› पहले 'V' निकालते हैं:  $V = V_f - V_i = 10$  L - 5 L = 5 L

› अब सूत्र में मान रखते हैं:  $w = -(2 \text{ atm}) \times (5 \text{ L})$

›  $w = -10$  L atm

**उत्तर – गैस द्वारा किया गया कार्य -10 L atm है।**

उदाहरण 10. एक गैस को 10 लीटर से 20 लीटर तक 'उत्क्रमणीय' और 'समतापीय' रूप से प्रसारित किया गया। यदि गैस के 2 मोल थे और तापमान 300 K था, तो इस प्रक्रम में किया गया कार्य (work) ज्ञात कीजिए। ( $R = 8.314 \text{ J/mol.K}$ )

› यहाँ प्रक्रम 'उत्क्रमणीय' और 'समतापीय' है, तो हम 'उत्क्रमणीय समतापीय प्रसार' के लिए सूत्र का उपयोग करेंगे:  
 $w_{\text{rev}} = -2.303 nRT \log (V_f / V_i)$

› दिए गए मानों को सूत्र में रखेंगे:  $n = 2 \text{ mol}$ ,  $R = 8.314 \text{ J/mol.K}$ ,  $T = 300 \text{ K}$ ,  $V_f = 20 \text{ L}$ ,  $V_i = 10 \text{ L}$

› सूत्र में मान रखने पर:  $w_{\text{rev}} = -2.303 \times 2 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J/mol.K} \times 300 \text{ K} \times \log (20 \text{ L} / 10 \text{ L})$

› सबसे पहले  $(V_f / V_i)$  की गणना करें:  $20 / 10 = 2$

› अब  $\log 2$  का मान निकालें, जो लगभग 0.3010 होता है।

› गुणा करने पर:  $w_{\text{rev}} = -2.303 \times 2 \times 8.314 \times 300 \times 0.3010$

› गणना करने पर:  $w_{\text{rev}} = -3457.9 \text{ J}$  (लगभग)

**उत्तर – इस उत्क्रमणीय और समतापीय प्रसार में किया गया कार्य लगभग -3457.9 J है।**

उदाहरण 11. एक रासायनिक अभिक्रिया में, आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन ( $U$ ) -200 J है और सिस्टम पर 100 J कार्य किया जाता है। यदि यह अभिक्रिया स्थिर दाब पर होती है, तो एन्थैल्पी में परिवर्तन ( $H$ ) ज्ञात कीजिए।

› सबसे पहले, हमें दिया गया है  $U = -200 \text{ J}$

› सिस्टम पर कार्य किया जाता है (कार्य होता है), इसलिए  $w = +100 \text{ J}$  (ध्यान रहे,  $w$  का चिह्न)।

› हम जानते हैं कि  $U = q + w$  तो  $q = U - w$

›  $q = -200 \text{ J} - (+100 \text{ J}) = -300 \text{ J}$

› क्योंकि अभिक्रिया स्थिर दाब पर है, तो  $q = q_p = H$

› अतः,  $H = -300 \text{ J}$

**उत्तर – एन्थैल्पी में परिवर्तन ( $H$ ) = -300 J**

उदाहरण 12. 1 मोल जल (द्रव) के  $100^\circ\text{C}$  और 1 atm दाब पर वाष्पीकरण में एन्थैल्पी परिवर्तन ( $H$ )  $41 \text{ kJ/mol}$  है। आंतरिक ऊर्जा परिवर्तन ( $U$ ) की गणना करें। ( $R = 8.314 \text{ J/mol.K}$ )

› सबसे पहले, हमें अभिक्रिया लिखनी होगी:  $\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$

› अब, हम  $n_g$  निकालेंगे। गैसीय उत्पाद के मोल ( $\text{H}_2\text{O(g)}$ ) = 1। गैसीय अभिकारक के मोल ( $\text{H}_2\text{O(l)}$ ) = 0 (क्योंकि यह द्रव है)। तो,  $n_g = 1 - 0 = 1$

› तापमान को केल्विन में बदलेंगे:  $T = 100^\circ\text{C} + 273 = 373 \text{ K}$

› सूत्र लगाएंगे:  $H = U + n_gRT$ । हमें  $U$  निकालना है, तो  $U = H - n_gRT$

› मान रखेंगे:  $H = 41 \text{ kJ/mol} = 41000 \text{ J/mol}$  (Joule में बदलें)।  $U = 41000 \text{ J/mol} - (1 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J/mol.K} \times 373 \text{ K})$

› गणना करेंगे:  $U = 41000 - 3099.782 = 37900 \text{ J/mol}$  या  $37.9 \text{ kJ/mol}$

**उत्तर – आंतरिक ऊर्जा परिवर्तन ( $U$ ) = 37.9 kJ/mol**

उदाहरण 13. नीचे दिए गए गुणों में से विस्तीर्ण और गहन गुणों को पहचानिए: द्रव्यमान, ताप, घनत्व, आयतन, एन्थैल्पी, क्वथनांक (Boiling Point)।

› पहला गुण है 'द्रव्यमान' (Mass)। अगर तुम ज़्यादा चीज़ लोगे तो द्रव्यमान बढ़ेगा, इसलिए यह एक 'विस्तीर्ण गुण' है।

› दूसरा है 'ताप' (Temperature)। एक छोटे कप पानी का ताप और एक बाल्टी पानी का ताप एक ही हो सकता है, अगर वे एक ही तापमान पर हों। मात्रा बदलने से ताप नहीं बदलता, इसलिए यह एक 'गहन गुण' है।

› तीसरा है 'घनत्व' (Density)। चाहे एक बूंद पानी लो या पूरा तालाब, पानी का घनत्व एक ही रहता है (लगभग)। यह मात्रा पर निर्भर नहीं करता, इसलिए 'गहन गुण' है।

› चौथा है 'आयतन' (Volume)। ज़्यादा चीज़ लोगे तो ज़्यादा जगह घरेगी, इसलिए यह एक 'विस्तीर्ण गुण' है।

› पांचवां है 'एन्थैल्पी' (Enthalpy)। ये निकाय में मौजूद कुल ऊर्जा होती है। ज़्यादा पदार्थ मतलब ज़्यादा ऊर्जा, इसलिए यह भी 'विस्तीर्ण गुण' है।

› छठा है 'क्वथनांक' (Boiling Point)। पानी का क्वथनांक  $100^\circ\text{C}$  होता है, चाहे वह एक बूंद हो या एक लीटर। यह मात्रा पर निर्भर नहीं करता, इसलिए 'गहन गुण' है।

**उत्तर – विस्तीर्ण गुण:** द्रव्यमान, आयतन, एन्थैल्पी। **गहन गुण:** ताप, घनत्व, क्वथनांक।

**उदाहरण 14.** एक मोल आदर्श गैस के लिए  $C_p = 20.8 \text{ J/mol.K}$  है, तो  $C_v$  का मान ज्ञात कीजिए। (दिया गया है:  $R = 8.314 \text{ J/mol.K}$ )

- › हमें आदर्श गैस के लिए  $C_p$  और  $C_v$  के बीच का संबंध पता है: ' $C_p - C_v = R$ '।
- › दिए गए मानों को सूत्र में रखेंगे: ' $20.8 \text{ J/mol.K} - C_v = 8.314 \text{ J/mol.K}$ '।
- › अब  $C_v$  निकालने के लिए इसे पुनर्व्यवस्थित करेंगे: ' $C_v = 20.8 \text{ J/mol.K} - 8.314 \text{ J/mol.K}$ '।
- › घटाने पर, हमें  $C_v$  का मान मिलेगा।

**उत्तर –  $C_v = 12.486 \text{ J/mol.K}$**

**उदाहरण 15.** एक बम कैलोरीमीटर में 1 ग्राम ग्रैफाइट को ऑक्सीजन की अधिकता में जलाया जाता है। कैलोरीमीटर की ऊष्माधारिता  $20.7 \text{ kJ/K}$  है और तापमान  $298 \text{ K}$  से  $299 \text{ K}$  तक बढ़ जाता है। इस अभिक्रिया के लिए  $U$  की गणना कीजिए।

- › हमें दिया गया है कि कैलोरीमीटर की ऊष्माधारिता ( $C$ ) =  $20.7 \text{ kJ/K}$  है।
- › तापमान में परिवर्तन ( $T$ ) = अंतिम तापमान - प्रारंभिक तापमान =  $299 \text{ K} - 298 \text{ K} = 1 \text{ K}$  है।
- › बम कैलोरीमीटर स्थिर आयतन पर काम करता है, इसलिए यहाँ मापी गई ऊष्मा सीधे  $U$  के बराबर होगी।
- › कैलोरीमीटर द्वारा अवशोषित ऊष्मा ( $q_{\text{calorimeter}}$ ) =  $C \times T = 20.7 \text{ kJ/K} \times 1 \text{ K} = 20.7 \text{ kJ}$
- › चूंकि अभिक्रिया ऊष्माक्षेपी है (तापमान बढ़ रहा है), इसलिए निकाय द्वारा दी गई ऊष्मा ऋणात्मक होगी। यानी, अभिक्रिया से प्राप्त ऊष्मा ( $q_{\text{reaction}}$ ) =  $-q_{\text{calorimeter}} = -20.7 \text{ kJ}$
- › अतः, 1 ग्राम ग्रैफाइट के दहन के लिए  $U = -20.7 \text{ kJ}$  होगा।

**उत्तर –  $U = -20.7 \text{ kJ}$**

**उदाहरण 16.** मान लीजिए एक काल्पनिक अभिक्रिया है:  $A(g) + B(g) \rightarrow C(g)$ . यदि  $A$ ,  $B$  और  $C$  की मोलर एन्थैल्पी क्रमशः  $10 \text{ kJ/mol}$ ,  $20 \text{ kJ/mol}$  और  $45 \text{ kJ/mol}$  है, तो इस अभिक्रिया के लिए  $r H$  की गणना कीजिए।

- › सबसे पहले, उत्पादों की कुल एन्थैल्पी देखेंगे। यहाँ उत्पाद सिर्फ  $C$  है, जिसकी एन्थैल्पी  $45 \text{ kJ/mol}$  है।
- › फिर, अभिकारकों की कुल एन्थैल्पी देखेंगे। यहाँ अभिकारक  $A$  और  $B$  हैं।  $A$  की  $10 \text{ kJ/mol}$  और  $B$  की  $20 \text{ kJ/mol}$  है। तो कुल अभिकारकों की एन्थैल्पी =  $10 + 20 = 30 \text{ kJ/mol}$  होगी।
- › अब सूत्र लगाएंगे:  $r H = (\text{उत्पादों की कुल एन्थैल्पी}) - (\text{अभिकारकों की कुल एन्थैल्पी})$
- ›  $r H = 45 \text{ kJ/mol} - 30 \text{ kJ/mol}$

**उत्तर –  $r H = 15 \text{ kJ/mol}$**

**उदाहरण 17.** मेथेन ( $\text{CH}_4$ ) की मानक विरचन एन्थैल्पी की अभिक्रिया लिखिए और यदि  $f H^\circ (\text{CH}_4, g) = -74.8 \text{ kJ/mol}$  है, तो इसका क्या अर्थ है?

- › पहले मेथेन ( $\text{CH}_4$ ) के तत्वों को उनके सबसे स्थायी रूप में पहचानें: कार्बन ( $C$ ) ग्रैफाइट के रूप में (ठोस) और हाइड्रोजन ( $H$ ) गैस के रूप में।
- › मेथेन का एक मोल बनाना है, तो समीकरण को संतुलित करें:  $C(\text{ग्रैफाइट}, s) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g)$
- › मानक विरचन एन्थैल्पी दी गई है,  $f H^\circ (\text{CH}_4, g) = -74.8 \text{ kJ/mol}$
- › इसका अर्थ है कि जब 1 मोल मेथेन गैस को उसके सबसे स्थायी तत्वों, यानी ग्रैफाइट और हाइड्रोजन गैस से मानक अवस्था में बनाया जाता है, तो  $74.8 \text{ kJ}$  ऊष्मा उत्सर्जित होती है (क्योंकि मान ऋणात्मक है)।

**उत्तर – अभिक्रिया:  $C(\text{ग्रैफाइट}, s) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g)$ ; अर्थ: 1 मोल मेथेन बनने पर  $74.8 \text{ kJ}$  ऊष्मा उत्सर्जित होती है।**

**उदाहरण 18.** 18 ग्राम पानी (H<sub>2</sub>O) को 298 K पर वाष्पित करने के लिए कितनी ऊष्मा आवश्यक होगी? दिया है कि जल के वाष्पन की मानक एन्थैल्पी (vapH°) 298 K पर 44.01 kJ mol<sup>-1</sup> है।

› सबसे पहले, हमें पानी के मोल (moles) निकालने होंगे। पानी का मोलर द्रव्यमान (molar mass) 18 g/mol होता है।  
'Number of moles = Given mass / Molar mass' = 18 g / 18 g/mol = 1 mol.

› अब, 'required heat' या आवश्यक ऊष्मा निकालने के लिए हम सूत्र का उपयोग करेंगे: 'Heat required = Number of moles × vapH°'.

› इसमें मान रखेंगे: 'Heat required = 1 mol × 44.01 kJ mol<sup>-1</sup>'.

› मोल से मोल कट जाएगा, तो 'Heat required = 44.01 kJ'.

**उत्तर – 18 ग्राम पानी को 298 K पर वाष्पित करने के लिए 44.01 kJ ऊष्मा की आवश्यकता होगी।**

**उदाहरण 19.** मान लीजिए हमें कार्बन (ग्रेफाइट) से कार्बन डाइऑक्साइड (CO) बनाने की एन्थैल्पी (H) ज्ञात करनी है। हमारे पास दो अलग-अलग अभिक्रियाओं की एन्थैल्पी दी हुई है:

› अभिक्रिया 1: C(ग्रेफाइट) + ½ O<sub>2</sub>(g) → CO(g) ; H = -110.5 kJ/mol

› अभिक्रिया 2: CO(g) + ½ O<sub>2</sub>(g) → CO<sub>2</sub>(g) ; H = -283.0 kJ/mol

› लक्ष्य अभिक्रिया है: C(ग्रेफाइट) + O<sub>2</sub>(g) → CO<sub>2</sub>(g)

› हेस के नियम के अनुसार, कुल एन्थैल्पी परिवर्तन इन चरणों के एन्थैल्पी परिवर्तनों का योग होगा।

› H<sub>कुल</sub> = H<sub>1</sub> + H<sub>2</sub>

› H<sub>कुल</sub> = (-110.5 kJ/mol) + (-283.0 kJ/mol)

› H<sub>कुल</sub> = -393.5 kJ/mol

**उत्तर – कार्बन (ग्रेफाइट) से कार्बन डाइऑक्साइड (CO<sub>2</sub>) बनाने की कुल एन्थैल्पी H = -393.5 kJ/mol है।**

### बोर्ड परीक्षा के लिए खास

- ऊष्मागतिकी के आधारभूत सिद्धांतों और इसके महत्व को अच्छे से समझ लो, क्योंकि ये आगे आने वाले सारे सिद्धांतों की नींव है।
- निकायों के प्रकार और उनके उदाहरण अक्सर एक नंबर के सवाल में पूछे जाते हैं। हर प्रकार का एक-एक उदाहरण याद रखना बहुत जरूरी है।
- यह अवधारणा बोर्ड परीक्षाओं के लिए बहुत महत्वपूर्ण है। अक्सर सीधे-सीधे प्रश्न आते हैं कि 'अवस्था-फलन क्या हैं?' या 'तापमान एक अवस्था-फलन क्यों है?' तो परिभाषा और उदाहरण अच्छे से याद कर लेना।
- आंतरिक ऊर्जा की परिभाषा और यह 'अवस्था-फलन' क्यों है, यह अक्सर बोर्ड परीक्षाओं में पूछा जाता है। साथ ही, ऊष्मा और कार्य के संकेतों (+/-) का ध्यान रखना बहुत जरूरी है जब आप U की गणना करें।
- रुद्धोष्म प्रक्रम से संबंधित सवाल अक्सर सीधे सूत्र पर आधारित होते हैं, जहाँ 'q' का मान शून्य (0) लेकर आंतरिक ऊर्जा और कार्य के संबंध को पूछा जाता है। खासकर 'work done on the system' और 'work done by the system' के चिह्न (+/-) को ध्यान में रखना।
- यह नियम बोर्ड परीक्षाओं के लिए बहुत महत्वपूर्ण है, खासकर इसके अनुप्रयोगों और चिन्ह परिपाटी पर आधारित आंकिक प्रश्नों के लिए।
- p-V कार्य की गणना से संबंधित प्रश्न अक्सर बोर्ड परीक्षाओं में पूछे जाते हैं, खासकर स्थिर दाब पर कार्य निकालने वाले। 'work done ON the system' और 'work done BY the system' के 'sign convention' को बहुत अच्छे से समझना, क्योंकि यहीं सबसे ज्यादा गलतियाँ होती हैं।
- उत्क्रमणीय और अनुत्क्रमणीय प्रक्रमों की परिभाषा और उनके बीच के मुख्य अंतर बोर्ड परीक्षा में अक्सर 2-3 नंबर के लिए पूछे जाते हैं। इनके उदाहरण जरूर याद रखना।
- बोर्ड परीक्षाओं में H = U + pV सूत्र और H = qp संबंध पर आधारित छोटे-छोटे न्यूमेरिकल और अवस्था-फलन होने के कारण पूछे जाते हैं। इसे अच्छे से समझ लेना।

- यह सूत्र, ' $H = U + ngRT$ ', बोर्ड परीक्षा में numerical problems हल करने के लिए बहुत महत्वपूर्ण है।  $ng$  की गणना करते समय गैसीय अवस्था का ध्यान रखना न भूलें।
- $C_p$  और  $C_v$  के संबंध ' $C_p - C_v = R$ ' पर आधारित न्यूमेरिकल प्रश्न बोर्ड परीक्षा में अक्सर पूछे जाते हैं, इसे अच्छे से अभ्यास करें।
- यह विषय बोर्ड परीक्षा के लिए बहुत महत्वपूर्ण है। अक्सर बम कैलोरीमीटर से संबंधित गणना पर आधारित प्रश्न या  $U$  और  $H$  के मापन के बीच का अंतर पूछा जाता है।
- बोर्ड परीक्षा में  $r H$  की गणना और मानक एन्थैल्पी की परिभाषा अक्सर पूछी जाती है, ध्यान से पढ़ना!
- बोर्ड परीक्षा में, 'मानक विरचन एन्थैल्पी' की परिभाषा और तत्वों के सबसे स्थायी रूप की  $f H^\circ = 0$  क्यों होती है, यह बहुत महत्वपूर्ण है। साथ ही, दी गई अभिक्रिया के लिए मानक विरचन एन्थैल्पी की गणना भी आ सकती है।
- बोर्ड परीक्षा में सीधे 'enthalpy changes for phase transformations' की परिभाषा या 'values' पर आधारित न्यूमेरिकल प्रश्न आ सकते हैं, खासकर पानी के 'fusion' और 'vaporization' वाले।
- हेस का नियम सीधे न्यूमेरिकल प्रश्नों में पूछा जाता है। कई अभिक्रियाएँ दी होंगी और एक लक्ष्य अभिक्रिया की एन्थैल्पी निकालने को कहा जाएगा। ध्यान रखें कि अभिक्रिया को पलटने पर  $H$  का चिन्ह बदलता है और किसी गुणांक से गुणा करने पर  $H$  भी उसी गुणांक से गुणा होता है।

### एक नज़र में रिवीज़न

- › ऊष्मागतिकी = ऊर्जा रूपांतरण का अध्ययन; प्रक्रिया की संभाव्यता व ऊर्जा परिवर्तन.
- › निकाय: खुला (द्रव्य+ऊर्जा), बंद (केवल ऊर्जा), विलगित (कोई नहीं)।
- › अवस्था-फलन:  $P, V, T$ ; केवल अंतिम/प्रारंभिक अवस्था पर निर्भर, पथ पर नहीं।
- › आंतरिक ऊर्जा ( $U$ ) निकाय की कुल ऊर्जा; अवस्था-फलन; ऊष्मा, कार्य, द्रव्य से बदलती है।
- › रुद्धोष्म प्रक्रम:  $q=0$ ,  $U=w_{ad}$ , निकाय पर कार्य (+ve), निकाय द्वारा कार्य (-ve).
- › ऊर्जा संरक्षण का नियम:  $U = q + w$  (ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम)
- ›  $w = -p_{ex}V$  (स्थिर दाब) और  $w_{rev} = -p_{in} dV$  (उत्क्रमणीय प्रक्रम)
- › उत्क्रमणीय: धीमा, हर पल साम्यावस्था; अनुत्क्रमणीय: तेज़, एक दिशा में, साम्यावस्था नहीं।
- ›  $H = U + pV$ ;  $H$  = स्थिर दाब पर ऊष्मा ( $qp$ ); अवस्था-फलन।
- ›  $H = U + pV$ ; गैसों के लिए  $H = U + ngRT$
- › ऊष्माधारिता ( $C$ ),  $C_v$ ,  $C_p$ , और आदर्श गैस के लिए  $C_p - C_v = R$  संबंध।
- › कैलोरीमिति:  $U$  (बम कैलोरीमीटर, स्थिर आयतन) और  $H$  (सामान्य कैलोरीमीटर, स्थिर दाब) का प्रायोगिक मापन।
- ›  $r H = H_{उत्पाद} - H_{अभिकारक}$ ; अभिक्रिया का कुल एन्थैल्पी परिवर्तन।
- ›  $f H^\circ$ : 1 मोल यौगिक, सबसे स्थायी तत्वों से, मानक अवस्था में एन्थैल्पी परिवर्तन।
- › प्रावस्था परिवर्तन (गलन, वाष्पन, ऊर्ध्वपातन) में एन्थैल्पी-परिवर्तन ( $fusH^\circ$ ,  $vapH^\circ$ ,  $subH^\circ$ ) हमेशा धनात्मक।
- › हेस का नियम: कुल  $H =$  (मध्यवर्ती चरणों का  $H$ ), पथ से स्वतंत्र।