पाठ - 4

ऊष्मागतिकी

ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक - वैज्ञानिक J. Joak के अनुसार ऊष्मा तथा यांत्रिक कार्य एक ही भौतिक राशि के दो रूप हैं। ऊष्मा को कार्य में तथा कार्य को ऊष्मा में रूपान्तरित किया जा सकता है।

अतः किया गया कार्य उत्पन्न ऊष्मा के अनुक्रमानुपाती होता है अर्थात

$$W \propto Q$$

$$W = JQ$$

जहाँ J एक नियतांक है जिसे ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक कहते हैं।

$$J = \frac{W}{Q}$$

यदि Q = 1 किलोकैलोरी

तो $J = W$

अर्थात

"ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक उस कार्य के बराबर होता है जो 1 किलोकैलोरी ऊष्मा उत्पन्न करने के लिए किया जाता है।"

1 कैलोरी = 4.18 जूल

or 1 कैलोरी ≃ 4.2 जूल होता है।

and

1 किलोकैलोरी = 4.18×10^3 जूल

कार्य तथा ऊष्मा में अन्तर - कार्य तथा ऊष्मा दोनों ही ऊर्जा के दो रूप हैं परन्तु इनमें मुख्य अन्तर यह है कि कार्य एक व्यवस्थित ऊर्जा है तथा ऊष्मा अव्यवस्थित ऊर्जा है।

Downloaded from tepnoeqd.com

Cpnetexam.blogspot.com

→ ऊष्मागतिकी – विज्ञान की वह शाखा जिसके अन्तर्गत ऊष्मा तथा यांत्रिक कार्य में परस्पर सम्बन्ध का अध्ययन किया जाता है ऊष्मा गतिकी कहलाती है।
Thermodinamix – ऊष्मागतिकी संरचना ऊष्मागतिकी प्रथम व द्वितीय नियम पर आधारित है।

→ ऊष्मागतिक चर – वे राशियाँ जो किसी ऊष्मा गतिक निकाय की अवस्था को व्यक्त करती है। ऊष्मागतिक चर कहलाते हैं।
जैसे – ताप, दाब, व आयतन ऊष्मागतिक चर है।

→ ऊष्मागतिक निकाय – वह निकाय जो असंख्य अणुओं व परमाणुओं से मिलकर बना होता है। तथा एक निश्चित पर सीमा द्वारा घिरा होता है। तथा जिसकी अवस्था को ताप, दाब, व आयतन के पदों में व्यक्त किया जाता है ऊष्मागतिक निकाय कहलाता है
जैसे – सिलेण्डर में भरी गैस

→ तापीय साम्य – यदि किन्हीं दो वस्तुओं को परस्पर सम्पर्क में रखने से उनके बीच ऊष्मा का आदान-प्रदान न हो तो वस्तुयें तापीय साम्य में कहलाती है।

→ ऊष्मा गतिकी का शून्यवां नियम –
Zero law of Thermodinamax – इस नियम के अनुसार–
"यदि दो ऊष्मागतिक निकाय किसी तीसरे ऊष्मा गतिक निकाय के साथ तापीय साम्य में हैं तो वे परस्पर तापीय साम्य में होंगे"

Note → ऊष्मा गतिकी का शून्यवां नियम ताप की संकल्पना (अवधारणा) को व्यक्त करता है।

Downloaded from teachoo.com

Cpnetexam.blogspot.com

1. ऊष्मागतिकी की आन्तरिक ऊर्जा - किसी पदार्थ के अणुओं की आन्तरिक गतिज ऊर्जा तथा आन्तरिक स्थितिज ऊर्जा के योग को उस पदार्थ की आन्तरिक ऊर्जा कहते हैं। इसे U से प्रदर्शित करते हैं।

किसी निकाय की आन्तरिक ऊर्जा केवल निकाय की अवस्था पर निर्भर करती है। इसलिए निकाय की आन्तरिक ऊर्जा की अवस्था फलन या अवस्थीय फलन कहते हैं।

Note ⇒ आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा केवल ताप पर निर्भर करती है।

2. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम - First law of thermodynamic - इस नियम के अनुसार -

"किसी परिक्रम के दौरान ऊष्मा गतिकी निकाय द्वारा अवशोषित की गई ऊष्मा इसी परिक्रम में निकाय द्वारा किये गये कार्य तथा निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि के योग के बराबर होती है।"

यदि अवशोषित ऊष्मा δQ, किया गया कार्य δW तथा आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि ΔU हो तो

$$\delta Q = \Delta U + \delta W$$

यदि निकाय अनन्त सूक्ष्म ऊष्मा अवशोषित करता है तो

$$\boxed{dQ = du + dW}$$

or

$$\boxed{dQ = du + P.dv}$$

Note ⇒ ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊर्जा संरक्षण पर आधारित है।

Cpnetexam.blogspot.com

→ ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुप्रयोग -

1. चक्रीय परिक्रम (Cyclic Process) - जब कोई निकाय विभिन्न अवस्थाओं से होता हुआ अपनी प्रारम्भिक अवस्था में लौट आता है तो ऐसे परिक्रम को चक्रीय परिक्रम कहते हैं। इस परिक्रम में निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन 0 होता है क्योंकि आन्तरिक ऊर्जा केवल अवस्था परिवर्तन पर निर्भर करती है। ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से -

$$Q = \Delta U + W$$

Since, $\Delta U = 0$

$\therefore$

$$\boxed{Q = W}$$

"चक्रीय परिक्रम में निकाय को दी गई ऊष्मा पूर्ण निकाय द्वारा कार्य करने व्यय होती है।"

2. समदाबीय परिक्रम (Isobaric Process) - वह परिक्रम जिसमें निकाय का दाब स्थिर रहे समदाबीय परिक्रम कहलाता है। जैसे- जल का उबलना, जल का जमना, भाप का बनना आदि।

3. समआयतनिक परिक्रम Isochoric Process वह परिक्रम जिसमें निकाय का आयतन स्थिर रहता है समआयतनिक परिक्रम कहलाता है। अर्थात

इस परिक्रम में $V = \text{Constant}$

or

$$\Delta V = 0$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से -

$Q = \Delta U + W$ से -

$$Q = \Delta U + P\Delta V$$

$\therefore$ if $\Delta V = 0$

$$\boxed{Q = \Delta U}$$

Downloaded from techoedu.com

Cpnetexam.blogspot.com

इस प्रकार समआयतनिक परिक्रम में निकाय को दी गई ऊष्मा आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि करने में व्यय होती है।

Isothermal

→ समतापीय परिक्रम- वह परिक्रम जिसमें निकाय का ताप स्थिर बना रहता है समतापीय परिक्रम कहलाता है। आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा केवल ताप पर निर्भर करती है। अतः आदर्श गैस के लिए $\Delta U = 0$

ΔQ

अथवा गतिकी के प्रथम नियमानुसार-

$$Q = \Delta U + W$$

if $\Delta U = 0$

$$\boxed{Q = W}$$

इस प्रकार आदर्श गैस के दी गई ऊष्मा गैस द्वारा किए गए कार्य के बराबर होती है।

Adiabatic

→ रुद्धोष्म परिक्रम- वह परिक्रम जिसमें निकाय व वातावरण के बीच ऊष्मा का आदान-प्रदान नहीं होता। रुद्धोष्म परिक्रम कहलाता है। रुद्धोष्म परिक्रम में $Q = 0$

ΔQ प्रथम नियम से

$$\Delta U + W = 0 \qquad \text{if } Q = 0$$

$$\boxed{\Delta U = -W}$$

यदि कार्य निकाय पर किया जाता है तो कार्य ऋणात्मक होगा तब आन्तरिक ऊर्जा में किए गये कार्य के बराबर वृद्धि हो जाती है। यदि कार्य निकाय द्वारा किया जाता है तो कार्य धनात्मक होगा तब आन्तरिक ऊर्जा में किए गये कार्य के बराबर वृद्धि हो जाती है।

→ स्वतन्त्र कोटियाँ- किसी कण अथवा की जाने वाली स्वतंत्र (Degree of freedom)- अक्ष की गतियों की संख्या उस कण की स्वतंत्र कोटियाँ की संख्या कहलाती है

Downloaded from tiedu.com

Cpnetexam.blogspot.com

Date
Page No.

मेयर का सूत्र-

सिद्ध कीजिए: $C_p - C_v = R$

हम जानते हैं कि

स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्मा $C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$

ऊष्मा गतिकी के प्रथम नियम से-

$$dQ = du + dw$$

or $$dQ = du + Pdv$$

अतः

$$C_p = \left(\frac{du + Pdv}{dT}\right)_p$$

or

$$C_p = \left(\frac{du}{dT}\right)_p + P\left(\frac{dv}{dT}\right)_p \quad \text{---(1)}$$

स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्मा $C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v$

ऊष्मा गतिकी के प्रथम नियम से -

$$dQ = du + dw$$

or $$dQ = du + Pdv$$

अतः

$$C_v = \left(\frac{du + Pdv}{dT}\right)_v$$

$$C_v = \left(\frac{du}{dT}\right)_v + \left(\frac{Pdv}{dT}\right)_v$$

किंतु स्थिर आयतन पर $dv = 0$

अतः

$$C_v = \left(\frac{du}{dT}\right)_v + 0$$

$$C_v = \left(\frac{du}{dT}\right)_v \quad \text{---(2)}$$

Downloaded from techoedu.com

Cpnetexam.blogspot.com

समीकरण (1) में से (2) घटाने पर -

$$C_p - C_v = \left(\frac{du}{dT}\right)_p + P\left(\frac{dv}{dT}\right)_p - \left(\frac{du}{dT}\right)_v$$

आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा केवल ताप पर निर्भर करती है अतः स्थिर दाब तथा स्थिर आयतन पर आन्तरिक ऊर्जायें समान होंगी।

∴ आदर्श गैस के लिए $\left(\frac{du}{dT}\right)_p = \left(\frac{du}{dT}\right)_v$

$$C_p - C_v = P\left(\frac{dv}{dT}\right)_p \quad \text{---(3)}$$

1 मोल के लिए आदर्श गैस समीकरण -

$$PV = RT$$

स्थिर दाब पर V का T के सापेक्ष अवकलन करने पर -

~~$dp = 0$~~

$$P\left(\frac{dv}{dT}\right)_p = R$$

समीकरण (3) से -

$$\boxed{C_p - C_v = R}$$

इसे 'Mayer's formula' कहते हैं।

→ Example's of Degree of freedom -

1. एक तार पर रेंगता हुआ कीड़ा केवल तार की लम्बाई अनुदिश गति कर सकता है। अतः इसकी स्वतंत्र कोटि 1 होगी।
2. एक मैदान में दौड़ता हुआ खिलाड़ी मैदान की लम्बाई के अथवा मैदान की चौड़ाई के अनुदिश दो प्रकार की स्वतंत्र गतियाँ कर सकता है। अतः स्वतंत्र कोटियों की संख्या 2 होगी

Downloaded from Cpnetexam.blogspot.com

3. किसी कमरे में या आकाश में उड़ते हुए मच्छर की तीन स्वतंत्र कोटियाँ होती हैं।

→ गैस के अणुओं की स्वतंत्र कोटियाँ -

1 परमाणुक गैस के लिए - 1 परमाणुक गैसों (जैसे- He, Ne, Ar इत्यादि) के अणुओं में केवल एक परमाणु होता है। यह परमाणु तीनों अक्ष के अनुदिश गति कर सकता है अतः इसमें स्वतंत्र कोटियों की संख्या 3 होगी।

2 परमाणुक गैस के लिए - 2 परमाणुक गैसों (जैसे- H_2, O_2, N_2, Cl_2 इत्यादि) के अणुओं में दो परमाणु होते हैं। यह इसमें अणु की तीन स्थानान्तरीय गतियों तथा दो घूर्णन गतियाँ होती हैं। अतः 2 परमाणुक गैस के अणुओं की स्वतंत्र कोटियों की संख्या 5 होती है।

बहु परमाणुक गैस के लिए - बहु परमाणुक गैस (जैसे- H_2O, H_2S, NH_3) के अणुओं के स्वतंत्र कोटियों की संख्या परमाणुओं की व्यवस्था पर निर्भर करती है। ऐसे अणु में परमाणु की तीन स्थानान्तरीय गतियों के साथ-साथ तीन घूर्णन गतियाँ भी होती हैं। इस प्रकार कुल गतियों की संख्या 6 होती है। अतः बहु परमाणुक गैस के अणुओं की स्वतंत्र कोटियों की संख्या 6 होती है।

4. → ऊर्जा-समविभाजन का नियम -

The law of equipartition of energy - इस नियम के अनुसार- "किसी निकाय के उस आन्तरिक गतिज ऊर्जा निकाय की सभी स्वतंत्र कोटियों में समान रूप से वितरित होती है। तथा परमताप पर साम्यावस्था में किसी निकाय के लिए प्रत्येक स्वतंत्र कोटि से सम्बद्ध प्रति अणु औसत गतिज ऊर्जा $\frac{1}{2}kT$ होती है।"

यदि अणु की स्वतंत्र कोटि की संख्या f हो तो कुल की औसत गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2}fkT$

Downloaded from

Cpnetexam.blogspot.com

$[C_p > C_v]$

एक परमाणुक गैस के लिए $f = 3$

अतः एक परमाणुक गैस की एक अणु की कुल ऊर्जा $= \frac{3}{2}KT$

द्वि परमाणुक गैस के लिए $f = 5$

अतः द्वि परमाणुक गैस की एक द्वि अणु की कुल ऊर्जा $= \frac{5}{2}KT$

बहु परमाणुक गैस के लिए $f = 6$

अतः बहु परमाणुक गैस की बहु अणु की कुल ऊर्जा $= \frac{6}{2}KT$

Ans 6 <u>स्वतंत्र कोटियों एवं रुद्धोष्म नियतांक में सम्बन्ध</u>-

स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्मा $C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$ तथा

$$C_p = \left(\frac{dU}{dT}\right)_p + \left(\frac{PdV}{dT}\right)_p$$

स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्मा का अनुपात रुद्धोष्म नियतांक कहलाता है। इसे γ से प्रदर्शित करते हैं,

$$\therefore \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

यदि स्वतंत्र कोटियों की संख्या f हैं तो

γ व f में निम्न सम्बन्ध होता है,

$$\boxed{\gamma = 1 + \frac{2}{f}}$$

एक परमाणुक गैस के लिए $f = 3$

$$\therefore \gamma = 1 + \frac{2}{3} = \frac{5}{3} = \underline{1.67}$$

द्वि परमाणुक गैस के लिए $f = 5$

$$\therefore \gamma = 1 + \frac{2}{5} = \frac{7}{5} = \underline{1.4}$$

Downloaded from techoedu.com

Cpnetexam.blogspot.com

बहुपरमाणुक गैस के लिए $f = 6$

$$\gamma = 1 + \frac{2}{6} = \frac{4}{3} = 1.33$$

Note ⇒ समान ताप पर ठोस, द्रव गैस में सबसे अधिक आन्तरिक ऊर्जा गैस की होती है तथा ठोस की सबसे कम आन्तरिक ऊर्जा होती है।

→ अवस्था समीकरण - किसी ऊष्मागतिक निकाय के लिए ऊष्मागतिक चरों (P, V, T) के बीच सम्बन्ध व्यक्त करने वाला समीकरण अवस्था समीकरण कहलाता है। आदर्श गैस के लिए अवस्था समीकरण $PV = RT$ होता है।

[Numerical]

प्र०क्र०। किसी ऊष्मागतिक निकाय को 200 जूल ऊष्मा दी जाती है तथा उस पर 200 जूल कार्य किया जाता है, तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में क्या परिवर्तन होगा।

Ans किसी निकाय द्वारा किया गया कार्य धनात्मक तथा निकाय पर किया गया कार्य सदैव ऋणात्मक होता है।

Solve

Given,

$Q = 200$ जूल

निकाय पर किया गया कार्य $W = -200$ जूल

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से -

$$Q = \Delta U + W$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 200 - (-200)$$

$$\Delta U = 200 + 200$$

$$\Delta U = 400 \text{ जूल}$$

अतः आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि होगी।

Downloaded from Cpnetexam.blogspot.com