Thermodynamics

ऊष्मागतिकी

Chapter-12

प्रश्नावली

प्रश्न 1. कोई गीजर 3.0 लीटर प्रति मिनट की दर से बहते हुए जल को 27° C से 77° C तक गर्म करता है। यदि गीजर का 'परिचालन' गैस बर्नर द्वारा किया जाए तो ईंधन के व्यय की क्या दर होगी? बर्नर के ईंधन की दहन-ऊष्मा $4.0 \times 10^4 \text{ Jg}^{-1}$ है।

हल जल के प्रवाह की दर $(V) = 3 \text{ L/min}$

$$= 3 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{min} \qquad (\because 1 \text{ L} = 10^{-3} \text{m}^3)$$

जल का घनत्व $(\rho) = 10^3 \text{ kg/m}^3$

$\therefore$ प्रति मिनट प्रवाहित जल का द्रव्यमान $= 3 \times 10^{-3} \times 10^3$ kg/min

($\because$ द्रव्यमान = आयतन × घनत्व)

$$= 3 \text{ kg/min}$$

ताप में वृद्धि $(\Delta\theta) = 77°\text{C} - 27°\text{C} = 50°\text{C}$

जल की विशिष्ट ऊष्मा $(s) = 4.2 \text{ J/g-°C} = 4.2 \times 10^3 \text{ J/kg-°C}$

जल द्वारा ली गयी ऊष्मा

$$Q = ms\Delta\theta$$

$$= 3 \times 4.2 \times 10^3 \times 50$$

$$= 63 \times 10^4 \text{ J/min} \qquad \ldots(i)$$

ईंधन की दहन ऊष्मा $= 4 \times 10^4 \text{ J/g} = 4 \times 10^7 \text{ J/kg}$

माना m kg ईंधन प्रति मिनट प्रयुक्त होता है

$\therefore$ उत्पन्न ऊष्मा $= m \times 4 \times 10^7$ J/min ...(ii)

जल द्वारा ली गयी ऊष्मा = ईंधन द्वारा उत्पन्न ऊष्मा

$$63 \times 10^4 = m \times 4 \times 10^7$$

या
$$m = \frac{63 \times 10^4}{4 \times 10^7} \text{ kg/min}$$
$$= 15.75 \times 10^{-3} \text{ kg/min}$$
$$= 15.75 \text{ g/min}$$

प्रश्न 2. स्थिर दाब पर 2.0×10^{-2} kg नाइट्रोजन (कमरे के ताप पर) के ताप में 45° C वृद्धि करने के लिए कितनी ऊष्मा की आपूर्ति की जानी चाहिए? (N_2 का अणुभार = 28; $R = 8.3 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$)

स्थिर दाब पर ली गयी अथवा दी गयी ऊष्मा ऊर्जा $Q = nC_p\Delta t$

हल दिया है, N_2 का द्रव्यमान $(m) = 2.0 \times 10^{-2}$ kg

तापमान में वृद्धि $(\Delta t) = 45°C$

N_2 का परमाणु द्रव्यमान $(M) = 28 \text{ g} = 28 \times 10^{-3}$ kg

$R = 8.3$ J/mol-K

मोलों की संख्या $(n) = \frac{m}{M} = \frac{2 \times 10^{-2}}{28 \times 10^{-3}} = \frac{5}{7}$

नियत दाब पर विशिष्ट ऊष्मा (मोलर) $C_p = \frac{7}{2}R$

$\therefore$ दी गयी ऊष्मा $Q = nC_p\Delta t$
$$= \frac{5}{7} \times \frac{7}{2} \times 8.3 \times 45$$
$$= 933.75 \text{ J}$$

प्रश्न 3. व्याख्या कीजिए कि ऐसा क्यों होता है?

(a) भिन्न-भिन्न तापों T_1 व T_2 के दो पिण्डों को यदि ऊष्मीय सम्पर्क में लाया जाए तो यह आवश्यक नहीं है कि उनका अन्तिम ताप $(T_1 + T_2)/2$ ही हो।

(b) रासायनिक या नाभिकीय संयंत्रों में शीतलक (अर्थात् द्रव जो सयंत्र के भिन्न-भिन्न भागों को अधिक गर्म होने से रोकता है) की विशिष्ट ऊष्मा अधिक होनी चाहिए।

(c) कार को चलाते-चलाते उसके टायरों में वायुदाब बढ़ जाता है।

(d) किसी बन्दरगाह के समीप के शहर की जलवायु, समान अक्षांश के किसी रेगिस्तानी शहर की जलवायु से अधिक शीतोष्ण होती है।

हल (a) जब दो भिन्न तापमानों की वस्तु सम्पर्क में लायी जाती है तब उच्च तापमान की वस्तु से ऊष्मा निम्नताप की वस्तु की ओर तब तक प्रवाहित होती है जब तक कि दोनों के तापमान समान न हो जाये। माना प्रारम्भ में गर्म वस्तु का ताप T_1 तथा ठण्डी वस्तु का ताप T_2 है। औसत ताप $\frac{T_1 + T_2}{2}$ जबकि दोनों वस्तुओं की धारितायें समान है।

(b) नाभिकीय सयन्त्रों में शीतलक सयन्त्रों से उत्पन्न ऊष्मा को ठण्डा करने के काम आता है शीतलक द्वारा अवशोषित की गयी ऊष्मा विशिष्ट ऊष्मा के अनुक्रमानुपाती होती है अत: अधिक ऊष्मा अवशोषित करने हेतु शीतलक की विशिष्ट ऊष्मा अधिक होनी चाहिए।

(c) ड्राइविग के दौरान टायर का तापमान तथा टायर के अन्दर की वायु का तापमान (रोड तथा टायर के बीच घर्षण के कारण) बढ़ता है चूँकि आयतन नियत रहता है तब चार्ल्स के नियमानुसार $p \propto T$

(d) हर्बर टाउन में रेगिस्तान के सापेक्ष आपेक्षिक आर्द्रता अधिक होती है अत: समान देशान्तरों पर हर्बर टाउन की जलवायु का ताप रेगिस्तान की जलवायु के सापेक्ष अधिक होता है।

प्रश्न 4. गतिशील पिस्टन लगे किसी सिलिंडर में मानक ताप व दाब पर 3 मोल हाइड्रोजन भरी है। सिलिंडर की दीवारें ऊष्मारोधी पदार्थ की बनी हैं तथा पिस्टन को उस पर बालू की परत लगाकर ऊष्मारोघी बनाया गया है। यदि गैस को उसके आरम्भिक आयतन के आधे आयतन तक संपीडित किया जाए तो गैस का दाब कितना बढ़ेगा?

यहाँ बेलन की दीवारें अचालक के द्वारा बनी हैं अतः बेलन तथा वायुमण्डल के बीच ऊष्मा का विनियम नहीं होगा (रुद्धोष्म प्रक्रम)

$$pV^{\gamma} = \text{नियतांक}$$

या $$p_1V_1^{\gamma} = p_2V_2^{\gamma}$$

हल माना बेलन के अन्दर गैस का प्रारम्भिक आयतन V है।

$\therefore$ $$V_1 = V$$

तथा $$V_2 = V/2$$

$$\frac{p_2}{p_1} = ?$$

H_2 द्विअणुक गैस है

$\therefore$ $$\gamma = \frac{7}{5} = 1.4$$

रूद्धोष्म परिवर्तन हेतु

$$p_1V_1^{\gamma} = p_2V_2^{\gamma}$$

$\therefore$ $$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} = \left(\frac{V}{V/2}\right)^{14} = (2)^{14}$$

$$= 2.64$$

प्रश्न 5. रुद्धोष्म विधि द्वारा किसी गैस की अवस्था परिवर्तन करते समय उसकी एक साम्यावस्था A से दूसरी साम्यावस्था B तक ले जाने में निकाय पर 22.3 J कार्य किया जाता है। यदि गैस को दूसरी प्रक्रिया अवस्था A से अवस्था B में लाने में निकाय द्वारा अवशोषित नेट ऊष्मा 9.35 cal है तो बाद के प्रकरण में निकाय द्वारा किया गया नेट कार्य कितना है? (1 cal = 4.19 J)

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियमानुसार, यदि निकाय को दी गयी ऊष्मा ΔQ है जिसका कुछ अंश कार्य ΔW करने में व्यय होता है तथा शेष अंश आन्तरिक ऊर्जा ΔU बढ़ाने में व्यय होता है। अतः $\Delta Q = \Delta W + \Delta U$

हल कृत कार्य $(W) = -22.3\text{ J}$

चूँकि कार्य निकाय पर किया गया है अतः कृत कार्य ऋणात्मक लेते हैं।

रूद्धोष्म प्रक्रम में $\Delta Q = 0$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियमानुसार

$$\Delta U = \Delta Q - W$$
$$= 0 - (-22.3)$$
$$= 22.3\text{ J}$$

अवस्था A तथा B के बीच अन्य प्रक्रम हेतु

अवशोषित ऊष्मा $(\Delta Q) = +9.35\text{ cal}$

$$= +(9.35 \times 4.19)\text{ J}$$
$$= +39.18\text{ J}$$

दो अवस्थाओं के बीच आन्तरिक ऊर्जा परिवर्तन

$\therefore$ $\Delta U = 22.3\text{ J}$

$\therefore$ ऊष्मागतिकी के प्रथम नियमानुसार

$$\Delta U = \Delta Q - W$$

या $W = \Delta Q - \Delta U$

$$= 39.18 - 22.3$$
$$= 16.88\text{ J}$$
$$\approx 16.9\text{ J}$$

प्रश्न 6. समान धारिता वाले दो सिलिंडर A तथा B एक-दूसरे से स्टॉपकॉक के द्वारा जुड़े हैं। A में मानक ताप व दाब पर गैस भरी है जबकि B पूर्णतः निर्वातित् है। स्टॉपकॉक यकायक खोल दी जाती है। निम्नलिखित का उत्तर दीजिए

(a) सिलिंडर A तथा B में अन्तिम दाब क्या होगा?

(b) गैस की आन्तरिक ऊर्जा में कितना परिवर्तन होगा?

(c) **गैस के ताप में क्या परिवर्तन होगा?**

(d) **क्या निकाय की माध्यमिक अवस्थाएँ (अन्तिम साम्यावस्था प्राप्त करने के पूर्व) इसके p-V-T पृष्ठ पर होंगी?**

1. समतापी प्रक्रम में ताप नियत रहता है तथा यह बॉयल के नियम का पालन करता है

$\therefore \quad p_1V_1 = p_2V_2$

2. यह प्रक्रम धीमी गति से होता है।
3. समतापीय प्रक्रम में आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य ($\Delta U = 0$) है।

हल (a) माना प्रत्येक बेलन की धारिता V है तथा वायुमण्डलीय दाब p है।

$\therefore \quad p_1 = p$

गैस का प्रारम्भिक आयतन = A बेलन का आयतन

$\therefore \quad V_1 = V$

जब विरामघड़ी खोली जाती है तब गैस के लिए उपयुक्त आयतन $2V$ हो जाता है।

$\therefore \quad V_2 = 2V$

अन्तिम दाब $(p_2) = ?$

चूँकि निकाय ऊष्मीय रूप से अवरोहित है तब प्रक्रम में ताप में कोई परिवर्तन नहीं होगा तथा यह समतापीय प्रक्रम है।

समतापीय प्रक्रम हेतु (बॉयल के नियमानुसार)

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

या

$$p_2 = p_1\frac{V_1}{V_2} = p \times \frac{V}{2V}$$

$$= \frac{p}{2} = \frac{1}{2}\text{ atm}$$

$$= 0.5\text{ atm}$$

(b) आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $\Delta U = 0$, अतः निकाय पर या निकाय द्वारा कृत कार्य शून्य है।

(c) गैस के ताप में अन्तर शून्य है चूँकि प्रसार में गैस द्वारा कृत कार्य शून्य है।

(d) नहीं, क्योंकि गैस का मुक्त प्रसार तीव्र तथा अनियंत्रित है मध्यवर्ती अवस्था असन्तुलनकारी अवस्था है तथा गैस समीकरण को सन्तुष्ट नहीं करता है। अतः गैस की मध्यवर्ती अवस्था p-V-T सतह पर निर्भर नहीं करती है।

प्रश्न 7. एक वाष्प इंजन अपने बॉयलर से प्रति मिनट 3.6×10^9 J ऊर्जा प्रदान करता है जो प्रति मिनट 5.4×10^8 J कार्य देता है। इंजन की दक्षता कितनी है? प्रति मिनट कितनी ऊष्मा अपशिष्ट होगी?

$$\text{इंजन की दक्षता } \eta = \frac{\text{प्रति चक्र कृत कार्य}}{\text{प्रतिचक्र दी गयी कुल ऊष्मा}} \times 100\%$$

हल दिया है, कृत कार्य $(W) = 5.4 \times 10^8$ J/min

बॉयलर से ली गयी ऊष्मीय ऊर्जा

$$Q = 3.6 \times 10^9 \text{ J/min}$$

$$\text{इंजन की दक्षता } (\eta) = \frac{W}{Q} \times 100 = \frac{5.4 \times 10^8}{3.6 \times 10^9} \times 100$$

$$= \frac{3}{20} \times 100\% = 15\%$$

प्रतिमिनट व्यय ऊष्मा $= Q - W$

$$= 3.6 \times 10^9 - 5.4 \times 10^8$$

$$= (36 - 5.4) \times 10^8 \text{ J/min}$$

$$= 30.6 \times 10^8 \text{ J/min} \approx 3.1 \times 10^9 \text{J/min}$$

प्रश्न 8. एक हीटर किसी निकाय को 100 W की दर से ऊष्मा प्रदान करता है। यदि निकाय 75 Js^{-1} की दर से कार्य करता है, तो आन्तरिक ऊर्जा की वृद्धि किस दर से होगी?

हल हीटर द्वारा प्रति सेकण्ड दी गयी ऊष्मा

$$\Delta Q = 100 \text{ W} = 100 \text{ J/s}$$

निकाय द्वारा कृत कार्य $(\Delta W) = +75$ J/s

आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन दर $(\Delta U) = ?$

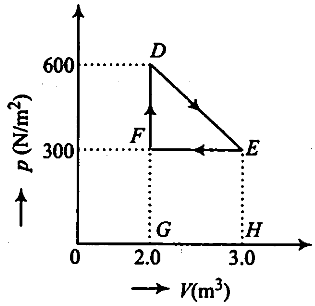
ऊष्मागतिकी के प्रथम नियमानुसार

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

$$= 100 - 75$$

$$= 25 \text{ J/s} = 25 \text{ W}$$

प्रश्न 9. किसी ऊष्मागतिकीय निकाय को मूल अवस्था से मध्यवर्ती अवस्था तक चित्र में दर्शाये अनुसार एक रेखीय प्रक्रम द्वारा ले जाया गया है।
एक समदाबीय प्रक्रम द्वारा इसके आयतन को E से F तक ले जाकर मूल मान तक कम कर देते हैं। गैस द्वारा D से E तथा वहाँ से F तक कुल किए गए कार्य का आकलन कीजिए।



ऊष्मागतिकी निकाय द्वारा कृत कार्य = Y-अक्ष तथा p-V वक्र के बीच का क्षेत्रफल

यदि आयतन बढ़ता है तब कृत कार्य धनात्मक है तथा यदि आयतन घटता है तब कृत कार्य ऋणात्मक है।

हल DE प्रक्रम में कृत कार्य = + $DEHGD$ का क्षेत्रफल

= + [ΔDEF का क्षेत्रफल + आयत $EHGF$ का क्षेत्रफल]

$$= + \left[\frac{1}{2} \times (600 - 300) \times (5 - 2) + 300 \times (5 - 2)\right]$$

$$= 450 + 900 = 1350 \text{ J}$$

EF प्रक्रम में कृत कार्य = – आयत $EHGF$ का क्षेत्रफल

$$= -[300 \times (5 - 2)] = -900 \text{ J}$$

$\therefore D \rightarrow E \rightarrow F$ प्रक्रम में सम्पूर्ण कृत कार्य

$$W = 1350 - 900 = 450 \text{ J}$$

प्रश्न 10. खाद्य पदार्थ को एक प्रशीतक के अन्दर रखने पर वह उसे 9°C पर बनाए रखता है। यदि कमरे का ताप 36°C है तो प्रशीतक के निष्पादन गुणांक का आकलन कीजिए।

रेफ्रीजरेटर की कार्यकारी दक्षता $\beta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

जहाँ T_1 तथा T_2 क्रमशः स्रोत तथा सिंक के तापमान हैं।

हल दिया है, स्रोत का तापमान $(T_1) = (36 + 273) \text{ K} = 309 \text{ K}$

सिंक का तापमान $(T_1) = (9 + 273) \text{ K} = 282 \text{ K}$

रेफ्रीजरेटर की कार्यकारी दक्षता

$$\beta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$= \frac{282}{309 - 282}$$

$$= \frac{282}{27} = 10.4$$