

Chapter-12 ऊष्मागतिकी

अभ्यास के अन्तर्गत दिए गए प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1.

कोई गीज़र 3.0 लीटर प्रति मिनट की दर से बहते हुए जल को 27°C से 77°C तक गर्म करता है। यदि गीज़र का परिचालन गैस बर्नर द्वारा किया जाए तो ईंधन के व्यय की क्या दर होगी? बर्नर के ईंधन की दहन-ऊष्मा $40 \times 10^4 \text{ Jg}^{-1}$ है।

हल—गीज़र द्वारा ऊष्मा देने की दर $H = \frac{Q}{t} = \frac{ms \cdot \Delta T}{t}$

यहाँ जल के बहने की दर = 3 लीटर/मिनट अर्थात् जल का द्रव्यमान

$$m = \text{आयतन} \times \text{घनत्व}$$

अर्थात् $m = 3 \times 10^{-3} \text{ मी}^3 \times 10^3 \text{ किग्रा-मी}^{-3} = 3.0 \text{ किग्रा}$

समय $t = 1 \text{ मिनट}$

जल के ताप में वृद्धि $\Delta T = (77 - 27)^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$

जल की विशिष्ट ऊष्मा $s = 4.18 \times 10^8 \text{ जूल/किग्रा-}^\circ\text{C}$

$\therefore H = \frac{3.0 \text{ किग्रा} \times 4.18 \times 10^8 \text{ जूल / किग्रा-}^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C}}{1 \text{ मिनट}} \text{ जूल/मिनट}$

$$= 6.27 \times 10^5 \text{ जूल/मिनट}$$

ईंधन के व्यय की दर = $\frac{\text{गीज़र द्वारा जल को प्रति मिनट दी गयी ऊष्मा}}{\text{प्रति ग्राम व्यय ऊष्मा}}$

$$= \frac{6.27 \times 10^5 \text{ जूल / मिनट}}{4.0 \times 10^4 \text{ जूल / ग्राम}} = 15.7 \text{ ग्राम/मिनट}$$

$$\approx 16 \text{ ग्राम/मिनट}$$

प्रश्न 2.

स्थिर दाब पर $2.0 \times 10^{-2} \text{ kg}$ नाइट्रोजन (कमरे के ताप पर) के ताप में 45°C वृद्धि करने के लिए कितनी ऊष्मा की आपूर्ति की जानी चाहिए? (N_2 का अणु भार = 28, $R = 8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

हल—नाइट्रोजन का द्रव्यमान

$$\begin{aligned} m &= 2.0 \times 10^{-2} \text{ किग्रा} \\ &= 2 \times 10^{-2} \times 10^3 \text{ ग्राम} \\ &= 20 \text{ ग्राम} \end{aligned}$$

नाइट्रोजन का अणुभार $M = 28$

नाइट्रोजन के ग्राम मोलों की संख्या

$$\mu = \frac{m}{M} = \frac{20}{28} = \frac{5}{7}$$

स्थिर दाब पर द्विपरमाणुक गैस (N_2) की ग्राम आणविक विशिष्ट ऊष्मा

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{7}{2} R \\ &= \frac{7}{2} \times 8.3 \text{ जूल/मोल-K} \\ &= 7 \times 7.15 \text{ जूल/मोल-K} \\ &= 29.05 \text{ जूल/मोल-K} \end{aligned}$$

ताप में वृद्धि $\Delta T = 45^\circ\text{C} = 45 \text{ K}$

\therefore आपूर्ति की जाने वाली ऊष्मा

$$Q = \mu \cdot C_p \cdot \Delta T$$

अर्थात्

$$\begin{aligned} Q &= \frac{5}{7} \times 29.05 \times 4.5 \text{ जूल} \\ &= 933.75 \approx \mathbf{934 \text{ जूल}} \end{aligned}$$

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 कि उनका अन्तिम ताप $(T_1 + T_2) / 2$ ही हो।

(b) रासायनिक या नाभिकीय संयन्त्रों में शीतलक (अर्थात् द्रव जो संयन्त्र 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।

उत्तर :

(a) चूँकि अन्तिम ताप वस्तुओं के अलग-अलग तापों के अतिरिक्त उनकी ऊष्मा धारिताओं पर भी निर्भर करता है।

(b) शीतलक का कार्य संयन्त्र से अभिक्रिया जनित ऊष्मा को हटाना है इसके लिए शीतलक की विशिष्ट ऊष्मा धारिता अधिक होनी चाहिए जिससे कि वह कम ताप-वृद्धि के लिए अधिक ऊष्मा शोषित कर सके।

(c) कार को चलाते-चलाते, सड़क के साथ घर्षण के कारण टायर का ताप बढ़ जाता है, इसी कारण टायर में भरी हवा का दाब बढ़ जाता है।

(d) बन्दरगाह के निकट के शहरों की आपेक्षिक आर्द्रता समान अक्षांश के रेगिस्तानी शहर की तुलना में अधिक होती है। इसी कारण बन्दरगाह शहर की जलवायु रेगिस्तानी शहर की जलवायु की तुलना में शीतोष्ण बनी रहती है।

प्रश्न 4.

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

हल : पिस्टन तथा दीवारें ऊष्मारोधी होने के कारण प्रक्रम रुद्धोष्म (adiabatic) है। अतः इसके लिए दाब आयतन सम्बन्ध $PV^\gamma = \text{नियतांक}$ से

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma$$

यहाँ $\gamma = 1.4$ (\because H_2 गैस द्विपरमाणुक है।)

तथा $V_2 = V_1 / 2$

अतः
$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_1 / 2} \right)^{1.4} = (2)^{1.4} P_1$$

माना
$$(2)^{1.4} = x \Rightarrow \log x = 1.4 \log 2$$

$$= 1.4 \times 0.3010 = 0.42140$$

\Rightarrow
$$x = \text{Antilog } 0.42140$$

$$= 2.638 \approx 2.64$$

\Rightarrow
$$P_2 = 2.64 P_1$$

अर्थात् दाब बढ़कर प्रारम्भिक दाब का **2.64** गुना हो जायेगा।

प्रश्न 5.

रुद्रोष्म विधि द्वारा किसी गैस की अवस्था परिवर्तन करते समय उसकी एक साम्यावस्था से दूसरी साम्यावस्था B तक ले जाने में निकाय पर 22.3 J कार्य किया जाता है। यदि गैस को दूसरी प्रक्रिया द्वारा 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? ($1\text{cal} = 4.19\text{ J}$)

हल—रुद्धोष्म विधि (प्रक्रम) में गैस को A से B अवस्था तक ले जाने में दी गयी ऊष्मा $Q = 0$, निकाय पर किया गया कार्य $W = -22.3\text{ जूल}$,

अतः इस प्रक्रम में आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U_{AB} = Q - W = 0 - (-22.3\text{ जूल}) \\ = 22.3\text{ जूल} \quad (\text{अर्थात् आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि होगी})$$

किसी अन्य प्रक्रम द्वारा अवस्था A से B तक ले जाने में निकाय द्वारा अवशोषित ऊष्मा

$$Q = 9.35\text{ कैलोरी} = 9.35 \times 4.19\text{ जूल} \\ = 39.178\text{ जूल} = 39.2\text{ जूल}$$

चूँकि अवस्थाएँ वही हैं, अतः आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन ΔU_{AB} ही होगा।

\therefore पुनः ऊष्मागतिकी के नियम $\Delta U = Q - W$ से

$$\text{कार्य } W = Q - \Delta U_{AB} = (39.2 - 22.3)\text{ जूल} \\ = 16.9\text{ जूल}$$

प्रश्न 6.

समान धारिता वाले दो सिलिण्डर A तथा B एक-दूसरे से स्टॉपकोक के द्वारा जुड़े हैं। A में मानक ताप व दाब पर गैस भरी है जबकि B पूर्णतः निर्वातित है। स्टॉपकोक यकायक खोल दी जाती है। निम्नलिखित का उत्तर दीजिए –

(a) सिलिण्डर 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?

हल : (a) $P_1 = \text{मानक दाब} = 1\text{ atm}$, $V_1 = V$ (माना)

$P_2 = ?$ जबकि $V_2 = 2V$ (चूँकि A व B के आयतन बराबर हैं।)

\therefore सिलिण्डर B निर्वातित है; अतः स्टॉपकोक खोलने पर गैस का निर्वात में मुक्त प्रसार होगा;

अतः गैस कोई कार्य नहीं करेगी और न ही ऊष्मा का आदान-प्रदान करेगी।

अतः गैस की आन्तरिक ऊर्जा व ताप स्थिर रहेंगे।

\therefore बॉयल के नियम से, $P_2 V_2 = P_1 V_1$

$$\therefore \text{ गैस का अन्तिम दाब } P_2 = \frac{V_1}{V_2} P_1 = \frac{V}{2V} \times 1\text{ atm} = 0.5\text{ atm}$$

(b) $\therefore W = 0$ तथा $Q = 0 \therefore \Delta U = 0$

अतः गैस की आन्तरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होगा।

(c) :: आन्तरिक ऊर्जा अपरिवर्तित रही है; अतः गैस के ताप में भी कोई परिवर्तन नहीं होगा।

(d) :: गैस का मुक्त प्रसार हुआ है; अतः माध्यमिक अवस्थाएँ साम्य अवस्थाएँ नहीं हैं; अतः ये अवस्थाएँ $P - V - T$ पृष्ठ पर नहीं होंगी।

प्रश्न 7.

एक वाष्प इंजन अपने बॉयलर से प्रति मिनट 3.6×10^9 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 ?

हल—ऊष्मा स्रोत (बॉयलर) से प्रति मिनट प्राप्त ऊष्मा

$$Q_1 = 3.6 \times 10^9 \text{ जूल};$$

इंजन द्वारा प्रति मिनट किया गया कार्य

$$W = 5.4 \times 10^8 \text{ जूल};$$

∴ इंजन की दक्षता

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{5.4 \times 10^8 \text{ जूल}}{3.6 \times 10^9 \text{ जूल}}$$

$$= 0.15$$

अतः

$$\text{प्रतिशत दक्षता} = 0.15 \times 100\%$$

$$= 15\%$$

अपशिष्ट ऊर्जा (heat wasted) अर्थात् सिंक को दी गयी ऊष्मा

$$Q_2 = Q_1 - W$$

$$= (3.6 \times 10^9 \text{ जूल} - 5.4 \times 10^8 \text{ जूल}) \text{ प्रति मिनट}$$

$$= (3.6 - 0.54) \times 10^9 \text{ जूल प्रति मिनट}$$

$$= 3.06 \times 10^9 \text{ जूल प्रति मिनट}$$

$$\approx 3.1 \times 10^9 \text{ जूल प्रति मिनट}$$

प्रश्न 8.

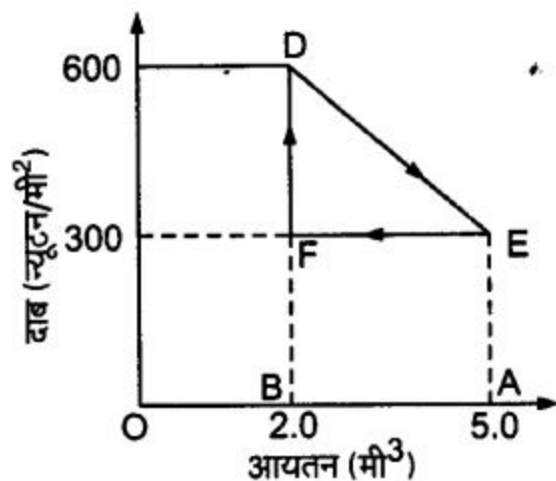
एक हीटर किसी निकाय को 100 w की दर से ऊष्मा प्रदान करता है। यदि निकाय 75 Js^{-1} की दर से कार्य करता है तो आन्तरिक ऊर्जा की वृद्धि किस दर से होगी?

$$\text{हल : } \Delta U = Q - W = (100 \text{ Js} - 75 \text{ Js}) = 25 \text{ Js}$$

अर्थात् आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि की दर = 25 w

प्रश्न 9.

किसी ऊष्मागतिकीय निकाय को मूल अवस्था से मध्यवर्ती अवस्था तक चित्र-12.1 में दर्शाए अनुसार एक रेखीय प्रक्रम द्वारा ले जाया गया है। एक समदाबी 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।



चित्र 12.1

हल— D से E तक गैस द्वारा किया गया कार्य

$$W_{DE} = \text{क्षेत्रफल } DEBCD (+)$$

E से F तक गैस पर किया गया कार्य

$$W_{EF} = \text{क्षेत्रफल } EFCBE (-)$$

अतः गैस द्वारा D से E तथा E से F तक कृत कुल कार्य (नेट कार्य)

$$W_{DEF} = W_{DE} + W_{EF} = \text{क्षेत्रफल } DEBCD - \text{क्षेत्रफल } EFCBE$$

$$= \text{क्षेत्रफल } DEFD = \frac{1}{2} \times (FE \times DF)$$

$$= \frac{1}{2} \times (5.0 - 2.0) \text{ मी}^3 \times (600 - 300) \text{ न्यूटन/मी}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 3 \times 300 \text{ न्यूटन-मीटर} = \mathbf{450 \text{ जूल}}$$

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।

हल—दिया है : ठण्डे ऊष्मा भण्डार का ताप $T_2 = 9 + 273 = 282 \text{ K}$

तथा गर्म ऊष्मा भण्डार का ताप $T_1 = 36 + 273 = 309 \text{ K}$

$$\therefore \text{प्रशीतक का निष्पादन गुणांक } \alpha = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{282 \text{ K}}{(309 - 282) \text{ K}} \\ = \frac{282}{27} = 10.4$$

परीक्षोपयोगी प्रश्नोत्तर

बहुविकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 1.

किसी गैस पर कृत कार्य सर्वाधिक होता है।

- (i) समतापी प्रक्रम में
- (ii) समदाबीय प्रक्रम में
- (iii) समआयतनिक प्रक्रम में
- (iv) रुद्धोष्म प्रक्रम में

उत्तर :

(i) समतापी प्रक्रम में

प्रश्न 2.

किसी चक्रीय प्रक्रम में

- (i) किया गया कार्य शून्य होता है।
- (ii) निकाय द्वारा किया गया कार्य निकाय को दी गयी ऊष्मा के बराबर होता है।
- (iii) किया गया कार्य ऊष्मा पर निर्भर नहीं करता
- (iv) निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि होती है।

उत्तर :

(ii) निकाय द्वारा किया गया कार्य निकाय को दी गयी ऊष्मा के बराबर होता है।

प्रश्न 3.

आन्तरिक ऊर्जा की अभिव्यक्ति सर्वप्रथम प्रस्तुत की गयी।

- (i) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम द्वारा
- (ii) स्टोक के नियम द्वारा
- (iii) स्टीफन के नियम द्वारा
- (iv) वीन के नियम द्वारा

उत्तर :

(i) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम द्वारा

प्रश्न 4.

एक ऊष्मागतिक निकाय को 100 जूल ऊष्मा दी जाती है तथा निकाय द्वारा 50 जूल कार्य किया जाता है, तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन है।

- (i) 100 जूल
- (ii) 150 जूल
- (iii) 50 जूल
- (iv) 200 जूल

उत्तर :

(iii) 50 जूल

प्रश्न 5.

ऊर्जा के समविभाजन नियम के अनुसार प्रत्येक स्वातन्त्र्य कोटि से सम्बद्ध प्रति कण औसत आन्तरिक ऊर्जा होती है

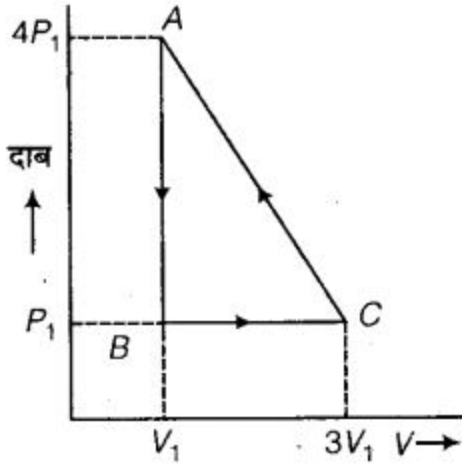
- (i) $\frac{1}{2}RT$
- (ii) $\frac{3}{2}RT$
- (iii) $\frac{3}{2}KT$
- (iv) $\frac{1}{2}KT$

उत्तर :

(i) $\frac{1}{2}RT$

प्रश्न 6.

एक गैस को निम्न चित्र 12.2 के अनुसार मार्ग AB, BC तथा CA द्वारा ले जाया जाता है। सम्पूर्ण चक्र में नेट कार्य है।



चित्र 12.2

- (i) $12 P_1 V_1$
- (ii) $6 P_1 V_1$
- (iii) $3 P_1 V_1$
- (iv) $P_1 V_1$

उत्तर :

(iii) $3 P_1 V_1$

प्रश्न 7.

त्रि-परमाणुक गैस की विशिष्ट ऊष्मा अनुपात (γ) है।

- (i) 1.40
- (ii) 1.33
- (iii) 1.67
- (iv) 1

उत्तर :

(ii) 1.33

प्रश्न 8.

इंजन की दक्षता हो सकती है।

- (i) शून्य से अनन्त तक कुछ भी।
- (ii) सदैव एक
- (iii) सदैव एक से कम
- (iv) एक और दो के मध्य

उत्तर :

(iii) सदैव एक से कम

प्रश्न 9.

एक आदर्श इंजन 327°C तथा 27°C के बीच कार्य करता है। इंजन की दक्षता होगी

- (i) 60%
- (ii) 80%

- (iii) 40%
- (iv) 50%

उत्तर :

(iv) 50%

प्रश्न 10.

भाप इंजन की दक्षता की कोटि है।

- (i) 80%
- (ii) 50%
- (iii) 30%
- (iv) 15%

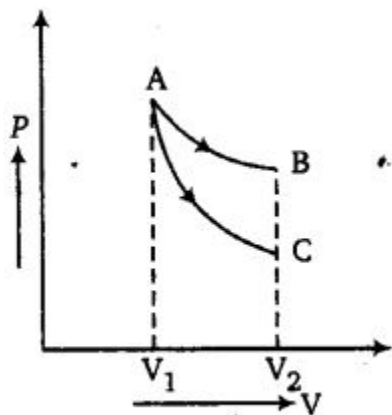
उत्तर :

(i) 80%

अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1.

चित्र 12.3 में किसी गैस के लिए $P - V$ वक्र, AB तथा AC प्रदर्शित हैं। कारण सहित बताइए कि कौन-सा वक्र किस परिवर्तन को प्रदर्शित करता है?



चित्र 12.3

उत्तर :

यदि गैस आयतन V_1 से V_2 तक समतापीय और रुद्धोष्म प्रसारित होती है तो ग्राफ के ढाल से यह स्पष्ट है कि ग्राफ AB समतापीय प्रक्रम तथा ग्राफ AC रुद्धोष्म प्रक्रम प्रदर्शित करता है।

प्रश्न 2.

एक आदर्श गैस को नियत ताप पर सम्पीडित किया जाता है। गैस की आन्तरिक ऊर्जा में क्या परिवर्तन होगा?

उत्तर :

कोई परिवर्तन नहीं होगा। 'आदर्श गैस में केवल आन्तरिक गतिज ऊर्जा होती है (स्थितिज ऊर्जा नहीं होती) तथा गतिज ऊर्जा केवल ताप पर निर्भर करती है।

प्रश्न 3.

समान ताप पर समान द्रव्यमान के ठोस, द्रव तथा गैस में किसकी आन्तरिक ऊर्जा अधिक होती है और क्यों?

उत्तर :

गैस की आन्तरिक ऊर्जा सबसे अधिक होती है, क्योंकि इसके अणुओं की (ऋणात्मक) स्थितिज ऊर्जा बहुत कम होती है। ठोस के अणुओं की (ऋणात्मक) स्थितिज ऊर्जा बहुत अधिक होती है, अतः आन्तरिक ऊर्जा सबसे कम होती है।

प्रश्न 4.

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम समझाइए। यह नियम किस भौतिक राशि के संरक्षण पर आधारित है?

उत्तर :

यदि किसी ऊष्मागतिक निकाय को Q ऊर्जा देने पर, निकाय द्वारा कृत कार्य W हो तब निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $\Delta U = Q - W$ होगा। यही ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम है जो कि ऊर्जा-संरक्षण पर आधारित है।

प्रश्न 5.

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का गणितीय स्वरूप लिखिए। प्रयुक्त संकेतों का अर्थ स्पष्ट कीजिए।

उत्तर :

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम

$$\Delta U = Q - W \text{ अथवा } Q = \Delta U + W$$

चमदमें Q निकाय को दी गई ऊष्मीय ऊर्जा, W निकाय द्वारा किया गया कार्य, ΔU निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन है।

प्रश्न 6.

कार्बो इंजन के कार्यकारी पदार्थ का नाम लिखिए।

उत्तर :

आदर्श गैस।

प्रश्न 7.

यदि स्रोत वसिंक के ताप क्रमशः T_1 तथा T_2 हों तो ऊष्मा इंजन की दक्षता कितनी होगी?

उत्तर—
$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

प्रश्न 8.

कान इंजन की दक्षता कब 1 होगी?

उत्तर :

जबकि सिंक का ताप OK हो।

प्रश्न 9.

ऊष्मा इंजन, प्रशीतक से कैसे भिन्न है?

उत्तर :

ऊष्मा इंजन में कार्यकारी-पदार्थ ऊँचे ताप वाली वस्तु से ऊष्मा लेता है। इसका कुछ भाग यान्त्रिक कार्य में बदलता है तथा शेष भाग नीचे ताप की वस्तु को लौटा देता है। प्रशीतक में कार्यकारी-पदार्थ शीतल वस्तु से ऊष्मा लेता है तथा इस पर बाह्य ऊर्जा-स्रोत से कार्य किया जाता है जिसके फलस्वरूप यह ऊष्मा की अधिक मात्रा को किसी तप्त वस्तु को दे देता है।

प्रश्न 10.

यदि ताप T_1 व T_2 के बीच कार्य कर रहे इंजन की दक्षता n है तो प्रत्येक ताप को 100 K बढ़ा देने पर दक्षता पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?

उत्तर :

दक्षता कम हो जायेगी।

लघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1.

उत्क्रमणीय प्रक्रम क्या है? उदाहरण सहित स्पष्ट कीजिए।

उत्तर :

उत्क्रमणीय प्रक्रम – वे प्रक्रम जिन्हें विपरीत क्रम में भी ठीक उन्हीं अवस्थाओं में सम्पन्न किया जा सकता है, जिन अवस्थाओं में सीधे क्रम में सम्पन्न किया गया है; परन्तु विपरीत प्रभाव के साथ, उत्क्रमणीय प्रक्रम (reversible process) कहलाते हैं।

उदाहरणार्थ – मान लो पानी से भरा हुआ एक फ्लास्क है जिसे अच्छी तरह बन्द कर दिया गया है। फ्लास्क का पानी एक निकाय है। पानी ही इसे निकाय का कार्यकारी पदार्थ (working substance) है, क्योंकि प्रक्रम के भौतिक परिवर्तन इसी पर सम्पन्न किये जाते हैं। पानी को गर्म करके हम वाष्प बनाते हैं, यह एक प्रक्रम है और उसे ठण्डा करके पुनः पानी बना देते हैं, यह उसका उल्टा या उत्क्रम प्रक्रम है। इसी प्रकार पानी को उबालकर वाष्प बनाना एक उत्क्रमणीय प्रक्रम है, अर्थात् ऐसा प्रक्रम है जिसे उल्टी दिशा में सम्पन्न करने से प्रारम्भिक अवस्था तक पुनः पहुँचाया जा सकता है।

प्रश्न 2.

अनुत्क्रमणीय प्रक्रम क्या है? उदाहरण सहित स्पष्ट कीजिए।

उत्तर :

अनुक्रमणीय प्रक्रम – वह प्रक्रम जिसे विपरीत क्रम में ठीक उन्हीं अवस्थाओं से नहीं गुजारा जा सकता है, जिनसे होकर वह सीधे क्रम में गुजरा था, अनुत्क्रमणीय प्रक्रम कहलाता है। दूसरे शब्दों में, जो प्रक्रम उत्क्रमणीय नहीं होता, वह अनुत्क्रमणीय होता है।

उदाहरणार्थ – इसके उदाहरण निम्नलिखित हैं –

1. पानी में शक्कर का घुलना अनुक्रमणीय प्रक्रम है।
2. लोहे में जंग लगना।।
3. किसी भी गैस का अचानक रुद्धोष्म प्रसार या सम्पीडन होना।
4. गैसों का विसरण अनुक्रमणीय है। दो गैसों परस्पर मिलाये जाने पर आपस में मिलने की प्रवृत्ति रखती हैं, परन्तु मिश्रण से वे अपने आप पृथक् नहीं हो सकतीं।

प्रश्न 3.

ऊष्मागतिकी का शून्यांकी नियम लिखिए।

उत्तर :

ऊष्मागतिकी का शून्यांकी नियम – इस नियम का प्रतिपादन सन् 1931 में आर०एच० फाउलर ने ऊष्मागतिकी के प्रथम तथा द्वितीय नियम की अभिव्यक्ति के काफी समय बाद किया। ऊष्मागतिकी के शून्यांकी नियम के अनुसार,

“यदि दो ऊष्मागतिक निकाय किसी तीसरे ऊष्मागतिक निकाय के साथ अलग-अलग तापीय साम्य अर्थात् ऊष्मीय साम्य (thermal equilibrium) में हैं तो वे परस्पर भी ऊष्मीय साम्य में होंगे।”

प्रश्न 4.

ऊष्मागतिक निकायकी आन्तरिक ऊर्जा का क्या अर्थ है?

उत्तर :

किसी ऊष्मागतिक निकाय की आन्तरिक ऊर्जा उस निकाय की अवस्था का एक अभिलाक्षणिक गुण है; चाहे वह अवस्था किसी भी प्रकार प्राप्त की गयी है।

उदाहरणार्थ – किसी बर्तन में बन्द हाइड्रोजन तथा ऑक्सीजन के मिश्रण को बाहर से कोई ऊर्जा नहीं दी जाती, परन्तु फिर भी यह मिश्रण विस्फोट होने पर कार्य कर सकता है। अतः इससे सिद्ध होता है कि मिश्रण में आन्तरिक ऊर्जा विद्यमान है।

प्रश्न 5.

यदि 2 मोल नाइट्रोजन गैस के ताप में 10°C की वृद्धि कर दी जाए, तो उसकी आन्तरिक ऊर्जा में

परिवर्तन ज्ञात कीजिए। ($R = 8.31 \text{ जूल / मोल} \times \text{K}$)

हल—दिया है, $\Delta T = (T_2 - T_1) = 10^\circ\text{C}$

$$R = 8.31 \text{ जूल/मोल} \times \text{K}$$

$$\text{द्विपरमाणवीय सूत्र से, } \Delta U = 2 \times \frac{5}{2} RT = 2 \times \frac{5}{2} \times 8.31 \times 10$$

$$= 50 \times 8.31 = \mathbf{415.5 \text{ जूल}}$$

प्रश्न 6.

सामान्य ताप तथा स्थिर दाब $1.0 \times 10^5 \text{ न्यूटन / मी}^2$ पर किसी आदर्श गैस के आयतन में 2.0 सेमी^3 की कमी करने के लिए कितना बाह्य कार्य करना होगा?

हल—कार्य $W = P \times \Delta V$ (जहाँ $P =$ स्थिर दाब तथा $\Delta V =$ आयतन में परिवर्तन)

यहाँ आयतन में कमी $\Delta V = 2.0 \text{ सेमी}^3 = 2 \times 10^{-6} \text{ मीटर}^3$

तथा स्थिर दाब $P = 1.0 \times 10^5 \text{ न्यूटन/मीटर}^2$

अतः बाह्य कार्य $W = (1.0 \times 10^5 \text{ न्यूटन/मीटर}^2) \times 2 \times 10^{-6} \text{ मीटर}^3$

$$= 2.0 \times 10^{-1} \text{ जूल} = \mathbf{0.2 \text{ जूल}}$$

प्रश्न 7.

0.5 सोल नाइट्रोजन को स्थिर आयतन पर 50°C से 70°C तक गर्म किया जाता है। गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन की गणना कीजिए। नाइट्रोजन की स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्मा $C_p = 7 \text{ कैलोरी / मोल} - \text{K}$ तथा सार्वत्रिक गैस नियतांक $R = 2 \text{ कैलोरी / मोल} - \text{K}$.

उत्तर—यहाँ $\Delta T = [(70 + 273) - (50 + 273)] \text{ K} = 20 \text{ K} = 20^\circ\text{C}$

$$\therefore C_p - C_v = R \Rightarrow C_v = C_p - R \text{ परन्तु यहाँ } R = 2 \text{ कैलोरी/मोल-K}$$

$$C_v = (7 - 2) \text{ कैलोरी/मोल } ^\circ\text{C} = 5 \text{ कैलोरी/मोल } ^\circ\text{C}$$

अतः नियत आयतन पर $\mu = 0.5$ नाइट्रोजन के ताप में $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ वृद्धि करने के लिए गैस को दी गयी ऊष्मा

$$Q = \mu C_v \Delta T = 0.5 \times (5 \text{ कैलोरी/मोल-}^\circ\text{C}) \times 20^\circ\text{C} \\ = 50 \text{ कैलोरी}$$

यहाँ आयतन में परिवर्तन $\Delta V = 0$

अतः कार्य $W = P \Delta V = 0$

\therefore ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U = Q - W = 50 \text{ कैलोरी}$$

$$= 50 \times 4.18 = 209.00 = \mathbf{209 \text{ जूल}}$$

प्रश्न 8.

यदि किसी ऊष्मागतिकी निकाय को 50 जुल ऊष्मा देने पर निकाय द्वारा 30 जूल कार्य किया जाता है,

तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन ज्ञात कीजिए।

हल : ऊष्मागतिकी निकाय को दी गयी ऊष्मा $Q = + 50$ जूल

निकाय पर किया गया कार्य $W = - (30 \text{ जूल})$

\therefore ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U = Q - W = + 50 \text{ जूल} - (- 30 \text{ जूल}) = 50 + 30 = 80 \text{ जूल}$$

$\therefore \Delta U$ का चिह्न धनात्मक है, अतः आन्तरिक ऊर्जा में 80 जूल की वृद्धि होगी।

प्रश्न 9.

एक परमाणुक आदर्श गैस ($\gamma = \frac{5}{3}$) 17°C पर एकाएक अपने प्रारम्भिक आयतन के $\frac{1}{8}$ आयतन तक सम्पीडित कर दी जाती है। गैस का अन्तिम ताप ज्ञात कीजिए।

उत्तर :

माना गैस का प्रारम्भिक आयतन V_1 तथा ताप T_1 है तथा अन्तिम आयतन V_2 तथा ताप T_2 है। जब परिवर्तन एकदम से किया जाता है तो यह रुद्धोष्म परिवर्तन होगा, इसलिए गैस पॉयसन के नियम का पालन करेगी, जिसके अनुसार

$$T_1 \times V_1^{\gamma-1} = T_2 \times V_2^{\gamma-1}$$

$$\therefore T_2 = T_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

परन्तु यहाँ $T_1 = (17 + 273) \text{ K} = 290 \text{ K}$, $\gamma = \frac{5}{3}$ तथा $V_2 = \frac{V_1}{8}$

$$\therefore T_2 = 290 \text{ K} \times \left(\frac{V_1}{\frac{V_1}{8}} \right)^{\frac{5}{3}-1} = 290 \times (8)^{2/3}$$

$$= 290 \times 32 = \mathbf{9280 \text{ K}}$$

प्रश्न 10.

एक प्रशीतक (रेफ्रिजरेटर) को चलाने वाली मोटर 300 वाट की है। कमरे का ताप 27°C है। यदि इसके हिमकारी कक्ष से प्रति सेकण्ड 2.7×10^3 जूल ऊष्मा बाहर निकलती है, तो हिमकारी कक्ष का ताप ज्ञात

कीजिए।

हल—मोटर की सामर्थ्य $(W) = 300$ वाट या 300 जूल/सेकण्ड
कमरे का ताप $(T_1) = 27^\circ\text{C} = 27 + 273 = 300 \text{ K}$
 $Q_1 = 2.7 \times 10^3$ जूल $= 2700$ जूल
 $W = Q_1 - Q_2$
 $300 = 2700 - Q_2$
 $\Rightarrow Q_2 = 2400$ जूल

माना हिमकारी कक्ष का ताप T_2 है। तब,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ से,}$$
$$\Rightarrow \frac{2700}{2400} = \frac{300}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{2400 \times 300}{2700} = \frac{800}{3} = 266.7 \text{ K}$$

अतः हिमकारी कक्ष का ताप **266.7 K** है।

प्रश्न 11.

एक कार्या इंजन प्रत्येक चक्र में स्रोत से 127°C ताप पर 1000 जूल ऊष्मा अवशोषित करता है तथा 600 जूल ऊष्मा सिंक को दे देता है। इंजन की दक्षता तथा सिंक का ताप ज्ञात कीजिए।

हल—ऊष्मा इंजन के लिए $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$
 $\therefore T_2 = T_1 \times \frac{Q_2}{Q_1}$
 $\Rightarrow T_1 = 127^\circ\text{C} = 127 + 273 = 400 \text{ K}$
सिंक का ताप $T_2 = \frac{400 \times 600}{1000} = \mathbf{240 \text{ K}}$
इंजन की दक्षता $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{600}{1000} = \frac{400}{1000} = 0.4 = \mathbf{40\%}$

विस्तृत उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1.

चक्रीय प्रक्रम से आप क्या समझते हैं। एक उचित (P – V) आरेख खींचकर यह प्रदर्शित कीजिए कि चक्रीय प्रक्रम में एक ऊष्मागतिक निकाय द्वारा किया गया कुल कार्य वक्र से घिरे क्षेत्रफल के बराबर

होता है।

उत्तर :

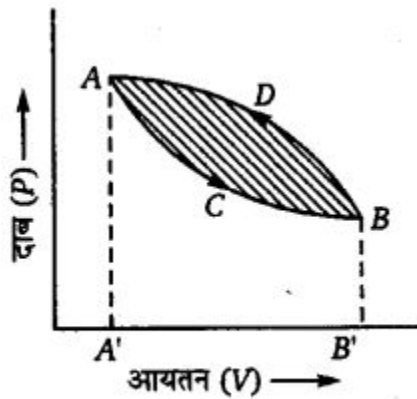
चक्रीय प्रक्रम (Cyclic process) – जब कोई निकाय एक अवस्था से चलकर, भिन्न-भिन्न अवस्थाओं से गुजरता हुआ पुनः अपनी प्रारम्भिक अवस्था में लौट आता है, तो उसे 'चक्रीय प्रक्रम' कहते हैं। इस प्रक्रम में निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता अर्थात् $\Delta U = 0$; अतः ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की समीकरण $\Delta U = Q - W$ से

$$0 = Q - W \text{ अथवा } Q = W$$

अतः चक्रीय प्रक्रम में किसी निकाय को दी गयी ऊष्मा निकाय द्वारा दिये गये नेट कार्य के बराबर होती है।

चक्रीय प्रक्रम में किया गया कुल कार्य (Total work done in cyclic process) – जब कोई निकाय विभिन्न परिवर्तनों द्वारा विभिन्न अवस्थाओं से गुजरता हुआ अपनी प्रारम्भिक अवस्था में लौट आता है, तो इस सम्पूर्ण प्रक्रम को चक्रीय प्रक्रम कहते हैं।”

माना कोई गैस (ऊष्मागतिक निकाय) दाब तथा आयतन की प्रारम्भिक अवस्था A में है तथा यह किसी प्रक्रम द्वारा फैलकर एक अन्य अवस्था B में पहुँच जाती है (चित्र 12.4)। इस प्रक्रम के लिए दाब-आयतन वक्र ACB है। इसलिए अवस्था A से अवस्था B तक जाने में गैस द्वारा किया गया कार्य $W_{AB} =$ क्षेत्रफल ACBB A' अब माना किसी प्रक्रम द्वारा गैस को अवस्था B से पुनः अवस्था A में है। लाया जाता है। इस प्रक्रम के लिए दाब-आयतन वक्र BDA है। गैस को अवस्था B से अवस्था A तक लाने में किसी कारक द्वारा गैस पर किया है गया कार्य $W_{BA} =$ क्षेत्रफल BDAA' B'



चित्र 12.4

चूँकि क्षेत्रफल BDAA'B' क्षेत्रफल ACBB A' से बड़ा है। इसलिए $W_{BA} > W_{AB}$, अतः गैस पर किया गया नेट कार्य $w = w_{ba} - W_{ab}$ अतः $W =$ क्षेत्रफल BDAA B – क्षेत्रफल ACBB' A' = क्षेत्रफल ACBDA = बन्द वक्र ACBDA से घिरा क्षेत्रफल अतः उपर्युक्त विवेचना से स्पष्ट है कि “चक्रीय प्रक्रम के लिए दाब-

आयतन वक्र एक बन्द वक्र होता है। इस दशा में निकाय द्वारा किया गया नेट कार्य अथवा निकाय पर किया गया नेट कार्य बन्द वक्र से घिरे क्षेत्रफल के बराबर होता है।”

प्रश्न 2.

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम लिखिए तथा नियम की स्पष्ट व्याख्या कीजिए।

उत्तर :

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम – किसी ऊष्मागतिक निकाय की दो निश्चित अवस्थाओं के बीच विभिन्न प्रक्रमों में राशि $(Q - w)$ का मान निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन के बराबर होता है। इसलिए यदि निकाय की प्रारम्भिक तथा अन्तिम अवस्थाओं में आन्तरिक ऊर्जाएँ क्रमशः U_i तथा U_f हों, तो

$$Q - W = U_f - U_i \text{ अथवा } (Q - W) = \Delta U$$

(जहाँ ΔU निकाय की प्रारम्भिक तथा अन्तिम अवस्थाओं में आन्तरिक ऊर्जाओं का अन्तर है।) अथवा $Q = \Delta U + W \dots\dots(1)$

यह ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम को गणितीय स्वरूप है। इसको शब्दों में निम्नलिखित प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है –

“किसी ऊष्मागतिक निकाय को दी गयी ऊष्मा Q (अर्थात् निकाय द्वारा अवशोषित ऊष्मा) दो भागों में प्रयुक्त होती है – (i) निकाय द्वारा बाह्य दाब के विरुद्ध कार्य (w) करने में तथा (ii) निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन (ΔU) करने में।”

यदि किसी प्रक्रम में निकाय को अनन्त सूक्ष्म ऊर्जा dQ दी जाती है तथा निकाय द्वारा अनन्त सूक्ष्म कार्य dw किया जाता है, तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन भी अनन्त सूक्ष्म dU ही होगा। तब समीकरण (1) को निम्नलिखित प्रकार से व्यक्त किया जायेगा –

$$dQ = dU + dW \dots\dots(2)$$

इस प्रकार ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊर्जा संरक्षण के नियम का ही एक रूप है।

प्रश्न 3.

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के आधार पर सिद्ध कीजिए कि किसी निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन

1. समआयतनिक प्रक्रिया में निकाय को दी गई ऊष्मा अथवा उससे ली गई ऊष्मा के बराबर होता है।
2. रुद्धोष्म प्रक्रिया में निकाय पर अथवा निकाय द्वारा किये गये कार्य के समान होता है।

उत्तर :

(i) समआयतनिक प्रक्रम (Isochoric process) – यदि निकाय में होने वाले किसी प्रक्रम के अन्तर्गत

निकाय का आयतन स्थिर रहे तो उस प्रक्रम को समआयतनिक प्रक्रम कहते हैं। चूंकि ऐसे प्रक्रम में आयतन नियत रहता है, अतः आयतन में परिवर्तन $\Delta V = 0$ । इसलिए $W = P \times \Delta V$ से $W = 0$; अतः ऐसे प्रक्रम में निकाय द्वारा कोई भी कार्य नहीं किया जाता। अतः ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम

$$\Delta U = Q - W \text{ से,}$$

$$\Delta U = Q - 0 \text{ या } \Delta U = Q$$

अतः ऐसे प्रक्रम में निकाय को दी गयी सम्पूर्ण ऊष्मा निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि करने में व्यय हो जाती है। गैसों में होने वाले विस्फोट इस प्रकार के प्रक्रम के उदाहरण हैं।

(ii) रुद्धोष्म प्रक्रम (Adiabatic process) – जब ऊष्मागतिक निकाय में होने वाले किसी प्रक्रम के अन्तर्गत ऊष्मा न तो बाहर से निकाय के अन्दर जा सके और न ही ऊष्मा निकाय से बाहर आ सके, अर्थात् $Q = 0$, तो ऐसे प्रक्रम को रुद्धोष्म प्रक्रम कहते हैं।

अतः इसे दशा में ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम $\Delta U = Q - W$ के अनुसार,

$$\Delta U = 0 - W \text{ या } \Delta U = -W \dots(1)$$

अर्थात् रुद्धोष्म प्रक्रम में निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन कार्य के बराबर होता है।

यदि रुद्धोष्म प्रक्रम में कार्य निकाय पर किया गया है, तो W ऋणात्मक होगा।

अतः उपर्युक्त सूत्र (1) से $\Delta U = -(-W) = W$ (धनात्मक)

प्रश्न 4.

रेफ्रिजरेटर (प्रशीतक) का सिद्धान्त क्या है? इसके कार्य गुणांक का मान ज्ञात कीजिए।

उत्तर :

रेफ्रिजरेटर का सिद्धान्त – “प्रशीतक एक ऐसी युक्ति है जो ऊष्मा को निम्न ताप की वस्तु से लेकर उच्च ताप की वस्तु में स्थानान्तरित कर देती है।”

दूसरे शब्दों में, प्रशीतक, उत्क्रम दिशा में कार्य करने वाला ऊष्मा इंजन है। इसलिए प्रशीतक को ऊष्मा पम्प (heat pump) या सम्पीडक (compressor) भी कहते हैं। इस प्रकार प्रत्येक चक्र में कार्यकारी पदार्थ रेफ्रिजरेटर (प्रशीतक) में रखे पदार्थ से ऊष्मा अवशोषित करता है। कार्य विद्युत मोटर द्वारा कार्यकारी पदार्थ पर किया जाता है और अन्त में कार्यकारी पदार्थ ऊष्मा को वातावरण में (जिसका ताप अधिक होता है) छोड़ देता है। इस प्रकार रेफ्रिजरेटर में रखा पदार्थ ठण्डा हो जाता है।

इसी के आधार पर कान चक्र में उत्क्रम प्रक्रम में कार्यकारी पदार्थ कम ताप (T_2) के सिंक से Q_2 ऊष्मा ग्रहण करके, बाह्य स्रोतों द्वारा निकाय पर w कार्य कराकर, उच्च ताप (T_1) के स्रोतों को $(Q_2 + W) = Q_1$ ऊष्मा देता है। प्रशीतक इसी मूल सिद्धान्त पर कार्य करता है।

कार्य गुणांक – कार्यकारी पदार्थ द्वारा ठण्डी वस्तु से ली गयी ऊष्मा और कार्यकारी पदार्थ पर किये गये कार्य के अनुपात को प्रशीतक का कार्य गुणांक कहते हैं।

$$\text{कार्य गुणांक } (\beta) = \frac{\text{कम ताप पर वस्तु से अवशोषित ऊष्मा}}{\text{कार्यकारी पदार्थ पर किया गया कार्य}}$$

अर्थात्
$$\beta = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{(Q_2/Q_1)}{1 - (Q_2/Q_1)}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (\text{जबकि } T_2 < T_1)$$

$$\beta = \frac{\frac{T_2}{T_1}}{1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \quad \text{अथवा} \quad \beta = \left(\frac{T_2}{T_1 - T_2}\right)$$

प्रश्न 5.

ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम क्या है? एक ऊष्मा इंजन दो तापों के बीच कार्य करता है जिनका अन्तर 100 K है। यदि यह स्रोत से 746 जूल ऊष्मा अवशोषित करता है तथा सिंक को 546 जूल ऊष्मा देता है तो स्रोत व सिंक के ताप ज्ञात कीजिए।

उत्तर :

ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम – किसी भी स्वतः क्रिया मशीन के लिए, जिसे कोई भी बाह्य स्रोत की सहायता प्राप्त न हो, ऊष्मा को ठण्डी वस्तु से गर्म वस्तु पर अथवा ऊष्मा को अल्प ताप से उच्च ताप पर पहुँचाना असम्भव है।

हल : स्रोत से ली गयी ऊष्मा $\theta_1 = 746$ जूल; सिंक को दी गयी ऊष्मा $\theta_2 = 546$ जूल, स्रोत व सिंक के

तापों को अन्तर $T_1 - T_2 = 100\text{K}$

$$\begin{aligned}\therefore \text{ कैलोरी इंजन की दक्षता } \eta &= 1 - \frac{\theta_2}{\theta_1} \\ &= 1 - \frac{546}{746} = \frac{200}{746} = 0.268\end{aligned}$$

$$\therefore \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\Rightarrow 0.268 = \frac{100}{T_1}$$

$$\therefore \text{ स्रोत का ताप } T_1 = \frac{100}{0.268} = \mathbf{373.13\text{ K}}$$

$$\text{अब चूँकि } T_1 - T_2 = 100$$

$$\begin{aligned}T_2 &= T_1 - 100 \\ \text{अर्थात् सिंक का ताप } T_2 &= (373.13 - 100)\text{ K} = \mathbf{273.13\text{ K}}\end{aligned}$$

प्रश्न 6.

27°C तथा एक वायुमण्डलीय दाब पर किसी गैस के निश्चित द्रव्यमान को (i) धीरे-धीरे, (ii) तेजी से, इतना दबाया जाता है कि इसका अन्तिम आयतन प्रारम्भिक आयतन का एक-चौथाई रह जाता है।

प्रत्येक दशा में अन्तिम दाब की गणना कीजिए। (गैस के लिए $r = 1.5$)

हल : माना गैस का प्रारम्भिक दाब P_1 तथा आयतन V_1 है तथा अन्तिम दाब P_2 तथा आयतन V_2 है।

(i) जब उक्त परिवर्तन धीरे-धीरे किया जाता है तो यह परिवर्तन समतापी होगा, इसलिए गैस बॉयल के

नियम का पालन करेगी जिसके अनुसार $P \times V =$ नियतांक अर्थात्

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

परन्तु यहाँ $V_2 = \frac{V_1}{4}$, $P = 1$ वायुमण्डलीय

$$P_2 = 1 \times \left(\frac{V_1}{\frac{V_1}{4}} \right) = 4 \text{ सेमी पारा दाब}$$

(ii) जब उक्त परिवर्तन एकदम से किया जाता है तो यह रुद्धोष्म परिवर्तन होगा, इसलिए गैस पॉयसन के नियम का पालन करेगी, जिसके अनुसार

$$PV^\gamma = \text{नियतांक}$$

अर्थात् $P_1 \times V_1^\gamma = P_2 \times V_2^\gamma$

$$\Rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma$$

परन्तु यहाँ, $V_2 = \frac{V_1}{4}$, $P_1 = 1$ वायुमण्डलीय दाब तथा $\gamma = 1.5$

$$P_2 = 1 \times \left(\frac{V_1}{\frac{V_1}{4}} \right)^{1.5} = 1 \times (4)^{3/2}$$
$$= 1 \times 8 = 8 \text{ सेमी पारा दाब}$$

प्रश्न 7.

5 मोल ऑक्सीजन को स्थिर आयतन पर 10°C से 20°C तक गर्म किया जाता है। गैस की आन्तरिक ऊर्जा में कितना परिवर्तन होगा? ऑक्सीजन की स्थिर दाब पर ग्राम अणुक विशिष्ट ऊष्मा $C_p = 8$

कैलोरी / (मोल-°C) है। $R = 8.36$ जूल / (मोल - °C)

हल—ऑक्सीजन के लिए, $C_p = 8$ कैलोरी/(मोल-°C)

तथा $R = 8.36$ जूल/(मोल-°C)

$\therefore 1$ कैलोरी = 4.18 जूल

$\therefore R = \frac{8.36}{4.18} = 2$ कैलोरी/(मोल-°C)

मेयर के सूत्र से,

$$C_p - C_v = R \text{ से,}$$

$$C_v = C_p - R = 8 - 2 = 6 \text{ कैलोरी/(मोल-°C)}$$

5 मोल ऑक्सीजन को 10°C से 20°C तक गर्म करने में दी गयी ऊष्मा

$$Q = \mu C_v \Delta T$$

$$= 5 \text{ मोल} \times 6 \text{ कैलोरी/(मोल-°C)} \times 10^\circ\text{C} = 300 \text{ कैलोरी}$$

\therefore गैस को स्थिर आयतन पर गर्म किया जाता है, अतः कोई बाह्य कार्य नहीं होगा ($W = 0$).

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से, गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U = Q - W = 300 \text{ कैलोरी} - 0$$

$$= 300 \text{ कैलोरी}$$

प्रश्न 8.

कार्यो का प्रमेय क्या है? समझाइए।

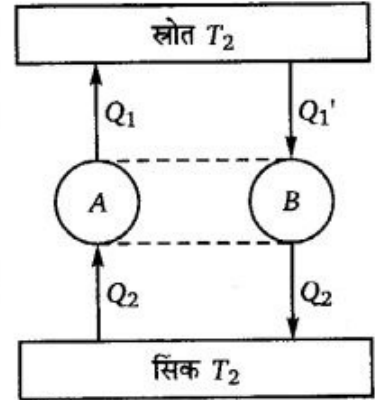
उत्तर :

कार्नो प्रमेय – इस प्रमेय के अनुसार, किन्हीं दो तापों के मध्य कार्य करते हुए किसी भी इंजन की दक्षता आदर्श उत्क्रमणीय (कार्नो) इंजन की दक्षता से अधिक नहीं हो सकती। दूसरे शब्दों में, आदर्श उत्क्रमणीय

इंजन की दक्षता अधिकतम होती है तथा यह इसमें प्रयुक्त पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर नहीं करती।

चित्र 12.5 में दो इंजन दर्शाये गये हैं, जिनमें A उत्क्रमणीय तथा B अनुक्रमणीय है। दोनों इंजन एक ही ताप T_1 (स्रोत) तथा T_2 (सिंक) के मध्य कार्य कर रहे हैं तथा $T_1 > T_2$ । इन इंजनों को इस प्रकार व्यवस्थित किया गया है कि दोनों के द्वारा किया गया कार्य बराबर है।

सीधी दिशा में कार्य करते हुए माना उत्क्रमणीय (कोनों) इंजन A ताप T_1 पर Q_1 ऊष्मा लेकर W कार्य करके, $Q_2 = Q_1 - W$ ऊष्मा ताप T_2 पर सिंक को लौटा देता है। अतः इसकी दक्षता $\eta_A = \frac{W}{Q_1}$ होगी।



चित्र 12.5

इस प्रकार, अनुक्रमणीय इंजन B प्रत्येक चक्र में उच्च ताप T_1 पर Q'_1 ऊष्मा लेकर W कार्य करके $Q_2 = Q_1 - W$ ऊष्मा ताप T_2 पर लौटा देता है। अतः इसकी दक्षता $\eta_B = \frac{W}{Q'_1}$ होगी।

माना इंजन B की दक्षता A से अधिक है।

$$\text{अतः} \quad \frac{W}{Q'_1} > \frac{W}{Q_1}$$

$$\text{या} \quad Q_1 > Q'_1 \quad \dots(1)$$

क्योंकि A एक उत्क्रमणीय इंजन है अतः इसे विपरीत दिशा में चलाया जा सकता है। उस दशा में यह रेफ्रिजरेटर की तरह कार्य करेगा। इसके लिए आवश्यक कार्य w इंजन B से प्राप्त किया जा सकता है।

चित्र 12.4 में दोनों इंजन एक पट्टी (belt) द्वारा सम्बन्धित हैं। स्पष्ट है कि दोनों इंजन मिलकर एक स्वतः चलने वाली मशीन की तरह कार्य करेंगे। इस दशा में इंजन A निम्न ताप T_2 पर Q_1 ऊष्मा ग्रहण कर उच्च ताप T_1 पर Q_1 ऊष्मा लौटाता है। इंजन B उच्च ताप T_1 पर Q_1 ऊष्मा ग्रहण कर निम्न ताप T_2 पर Q_2' ऊष्मा लौटाता है परन्तु दोनों के द्वारा किया गया कार्य बराबर है,

$$\text{अतः} \quad Q'_1 - Q'_2 = Q_1 - Q_2$$

$$\text{या} \quad Q_1 - Q'_1 = Q_2 - Q'_2$$

$$\text{समीकरण (1) से} \quad Q_1 > Q'_1$$

$$\text{अतः} \quad Q_2 > Q'_2 \quad \dots(2)$$

समीकरण (2) से स्पष्ट है कि रेफ्रिजरेटर A द्वारा सिंक से ली गई ऊष्मा Q_2 , इंजन B द्वारा सिंक को दी गयी ऊष्मा Q'_2 से अधिक है। फलतः सिंक की ऊष्मा लगातार कम होती जायेगी।

इसी प्रकार रेफ्रिजरेटर A द्वारा स्रोत को दी गई ऊष्मा Q_1 , इंजन B द्वारा स्रोत से ली गयी ऊष्मा Q'_1 से अधिक है। अतः स्रोत की ऊष्मा लगातार बढ़ती जायेगी। इस प्रकार हम पाते हैं कि बिना कार्य किये सिंक

से स्रोत को ऊष्मा का स्थानान्तरण होता रहेगा। परन्तु यह बात हमारे अनुभव के विपरीत है क्योंकि बिना किसी कार्य किये ऊष्मा का निम्न ताप से उच्च ताप की ओर प्रवाह सम्भव नहीं है।

अतः उपर्युक्त निष्कर्ष गलत है। चूंकि यह निष्कर्ष इस कथन पर आधारित है कि अनुक्रमणीय इंजन B की दक्षता, उत्क्रमणीय इंजन A की दक्षता से अधिक है, अतः यह कथन सर्वथा गलत है। इस प्रकार, इंजन B की दक्षता, इंजन A की दक्षता से अधिक नहीं हो सकती अर्थात् उत्क्रमणीय इंजन की दक्षता महत्तम होती है।