ऊष्मा तथा ऊष्मागतिकी
Heat and Thermodynamics

1. विभिन्न पदार्थों की दो समान प्लेटें, जिनकी ऊष्मा चालकताएँ K_1 तथा K_2 हैं, सम्पर्क में रखी हैं। संयुक्त प्लेट के लिए ऊष्मीय चालकता गुणांक ज्ञात कीजिए।

हल श्रेणीक्रम संयोजन में प्रभावी ऊष्मीय चालकता गुणांक,

$$K = \frac{l_1 + l_2}{\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2}}$$

चूँकि दोनों प्लेटों का आकार समान है, इसलिए सूत्र में $l_1 = l_2 = l$, रखने पर

$$\boldsymbol{K = \frac{2K_1K_2}{K_1 + K_2}}$$

2. 'A' अनुप्रस्थ परिच्छेद और 'T' मोटाई की एक पट्टिका 'K' ऊष्मीय चालकता वाले पदार्थ से बनी है। पट्टिका के ऊष्मीय प्रतिरोध की गणना कीजिए। (UPBTE 2005)

हल किसी चालक का ऊष्मीय प्रतिरोध, $R = \frac{l}{KA}$

उपरोक्त में $l = T$ रखने पर पट्टिका का ऊष्मीय प्रतिरोध

$$\boldsymbol{R = \frac{T}{KA}}$$

3. ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम लिखिए। (UPBTE 2013)

उत्तर **ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम** इस नियम के द्वारा किसी पदार्थ की शून्य परम तापक्रम पर एन्ट्रॉपी शून्य होती है। इस नियम के द्वारा किसी पदार्थ की परम एन्ट्रॉपी की गणना एन्ट्रॉपी परिवर्तन की परिभाषा से की जा सकती है।

$$\therefore \quad \phi - \phi_0 = \int_0^T \frac{dQ_{Rev}}{T}$$

क्योंकि परम शून्य तापक्रम पर यह अवस्था विद्यमान रहती है, जहाँ $\phi_0 = 0$

$$\phi = \int_0^T \frac{dQ_{Rev}}{T} \quad \ldots(i)$$

यदि पदार्थ के सभी तापक्रमों पर ऊष्मीय गुण ज्ञात हो तो सम्बन्ध (i) का प्रयोग परम एन्ट्रॉपी की गणना हेतु किया जा सकता है।

4. विकिरण सम्बन्धी स्टीफन का नियम लिखिए तथा स्टीफन नियतांक का मात्रक बताइए।

उत्तर "किसी कृष्णिका के एकांक पृष्ठ क्षेत्रफल से प्रति सेकण्ड उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा वस्तु के परमताप की चतुर्थ घात के अनुक्रमानुपाती होती है।" इसे स्टीफन का नियम कहते हैं। यदि कृष्णिका का ताप T K हो, तो एकांक पृष्ठ से प्रति सेकण्ड उत्सर्जित होने वाली ऊर्जा $E \propto T^4$ अथवा $E = \sigma T^4$

जहाँ, σ स्थिरांक है, जिसे स्टीफन का नियतांक कहते हैं। स्टीफन नियतांक का मात्रक जूल/मी^{2}-से-केल्विन^4 होता है।

ITI Question Bank.com

5. ऊष्मा इंजन कितने प्रकार के होते हैं?

उत्तर ऊष्मा इंजन मुख्यत: तीन प्रकार के होते हैं

1. **भाप इंजन** Steam Engine इनमें जल-वाष्प को कार्यकारी पदार्थ के रूप में प्रयुक्त करते हैं। ये इंजन रेलगाड़ियों को चलाने में प्रयुक्त किये जाते थे।
2. **आन्तरिक दहन इंजन** Internal Combustion Engine इनमें वायु तथा पेट्रोल या डीजल के मिश्रण को कार्यकारी पदार्थ के रूप में प्रयुक्त किया जाता है। ये इंजन मोटर चलाने के काम में आते हैं।
3. **वाष्प तथा गैस टरबाइन** Steam and Gas Turbine इनका प्रयोग विद्युत प्रतिष्ठानों, जेट इंजन तथा रॉकेट निर्माण में किया जाता है। इनमें वायु तथा ऑक्सीकारक पदार्थ का मिश्रण कार्यकारी पदार्थ के रूप में प्रयुक्त किया जाता है।

6. ऊष्मा के मात्रक लिखिए।

उत्तर ऊष्मा का एस०आई० (S.I.) मात्रक 'जूल' जबकि C.G.S. मात्रक 'कैलोरी' है।

प्रश्न 7. धूप में रखी धातु की बेंच पास में रखी लकड़ी की बेंच से अधिक गर्म लगती है। कारण लिखिए।

उत्तर क्योंकि धातु ऊष्मा की सुचालक है व लकड़ी कुचालक है।

प्रश्न 8. एक पूर्ण चालक की ऊष्मा चालकता कितनी होगी?

उत्तर अनन्त (∞)

प्रश्न 9. लोहे के टुकड़े को हथौड़े से पीटने पर इसकी आन्तरिक ऊर्जा पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

उत्तर आन्तरिक ऊर्जा बढ़ जाएगी, क्योंकि हथौड़े से पीटने पर लोहे के टुकड़े का ताप बढ़ जाएगा।

प्रश्न 10. क्या किसी ऊष्मा इंजन की दक्षता शत-प्रतिशत (100%) की जा सकती है?

उत्तर नहीं।

ऊष्मा इंजन की दक्षता, $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

यदि $T_2 = 0K$ या $T_1 = \infty$ तब η, 100% होगी। परन्तु ये दोनों ही स्थितियाँ सम्भव नहीं हैं।

11. उस इंजन (कार्नोट) की दक्षता ज्ञात कीजिए जो कि हिमांक व क्वथनांक के मध्य कार्य कर रहा हो।

उत्तर दिया है, $T_1 = 100° C = 373K, T_2 = 0°C = 273K$

$\because$
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273}{373} = \frac{100}{373}$$

$$\eta(\% \text{ में}) = \frac{100}{373} \times 100 = \mathbf{26.8\%}$$

12. आदर्श गैस को नियत ताप पर दबाने से आन्तरिक ऊर्जा बढ़ेगी या घटेगी?

उत्तर नियत रहेगी; क्योंकि आदर्श गैस में केवल आन्तरिक गतिज ऊर्जा होती है व गतिज ऊर्जा केवल ताप पर निर्भर करती है।

13. पॉयसन का नियम लिखिए व इसके विभिन्न रूप भी लिखिए।

उत्तर पॉयसन के नियम से PV^{γ} = नियतांक

व $$TV^{\gamma-1} = \text{नियतांक} \quad \text{या} \quad \frac{T^{\gamma}}{P^{\gamma-1}} = \text{नियतांक}$$

14. समतापी प्रक्रम में किए गए कार्य के लिए सूत्र दीजिए।

उत्तर $$W = 2.3026nRT \log_{10} \frac{p_1}{p_2} = 2.3026nRT \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$$

15. ऊष्मा इंजन क्या है?

उत्तर ऊष्मा इंजन एक ऐसी युक्ति है जो ऊष्मीय ऊर्जा को यान्त्रिक ऊर्जा में परिवर्तित करती है।

1. ऊष्मा संचरण की विभिन्न रीतियों का उल्लेख कीजिए। (UPBTE 2012)

Describe the different methods of heat transmission.

उत्तर ऊष्मा संचरण की निम्न तीन प्रमुख विधियाँ हैं—

1. **चालन** जब किसी धातु की छड़ के एक सिरे पर ऊष्मा प्रदान की जाती है तो सर्वप्रथम ऊष्मा ग्रहण करने वाला सिरा गर्म हो जाता है, जबकि दूसरा सिरा कुछ देर बाद गर्म होता है। वास्तव में जब छड़ का एक सिरा गर्म किया जाता है तो छड़ के पदार्थ के अणुओं के कम्पनों का आयाम बढ़ जाता है। इस कारण से अणु अपने बगल वाले अणुओं से टकराते हैं। प्रत्येक टक्कर में ऊष्मा का स्थानान्तरण होता रहता है। इस प्रकार, छड़ के एक सिरे से दूसरे सिरे तक ऊष्मा का संचरण होता है। इसे ही चालन कहते हैं। ऊष्मा चालन अधिक तापमान से कम तापमान की ओर होता है। **ऊष्मा चालन में पदार्थ का स्थानान्तरण नहीं होता है।**
2. **संवहन** जब किसी द्रव या गैस को गर्म किया जाता है तो द्रव या गैस का वह भाग, जो ऊष्मा के सम्पर्क में पहले आता है, गर्म होकर हल्का हो जाता है जिस कारण वह ऊपर उठने लगता है। गर्म भाग द्वारा छोड़े गये स्थान पर कम तापमान वाला (अपेक्षाकृत भारी) द्रव या गैस आ जाता है। जब यह भी गर्म हो जाता है तो हल्का होकर ऊपर उठ जाता है। यह प्रक्रिया तब तक चलती रहती है जब तक पूरे पदार्थ का तापमान एकसमान न हो जाये। ऊष्मा संचरण की यही विधि संवहन कहलाती है। **संवहन में पदार्थ का स्थानान्तरण होता है।**
3. **विकिरण** ऊष्मा संचरण की वह विधि, जिसमें न तो पदार्थ के कणों का स्थानान्तरण होता है और न ही बीच में पड़ने वाला माध्यम गर्म होता है, बल्कि **ऊष्मा स्रोत से सीधे ही प्राप्त होती है**, विकिरण कहलाती है। ऊष्मा विकिरण विद्युत-चुम्बकीय तरंग (electromagnetic wave) के रूप में संचरित होता है। विकिरण प्रकाश की गति (3×10^8 मीटर/सेकण्ड) से सीधी रेखा में चलता है। इसीलिए विकिरण ऊष्मा संचरण की सबसे तेज विधि है।

*2. ऊष्मीय विकिरण के गुण तथा प्रकृति बताइए।

Describe the nature and properties of thermal radiation.

उत्तर प्रयोगों द्वारा पता चला कि ऊष्मीय विकिरण का स्वरूप प्रकाश के समान है। इसके मुख्य गुण निम्न हैं

1. प्रकाश के समान ये निर्वात में संचारित हो सकते हैं।
2. प्रकाश की भाँति ये सरल रेखा में चलते हैं।
3. ऊष्मीय विकिरण प्रकाश के वेग से ही चलते हैं।
4. प्रकाश की भाँति ऊष्मीय विकिरण व्युत्क्रम वर्ग नियम (inverse square law) का पालन करते हैं।

ITIQuestionBank.com

5. ऊष्मीय विकिरण प्रकाश की ही भाँति परावर्तित (reflection) होते हैं तथा उन्हीं नियमों का पालन करते हैं।
6. प्रकाश की ही भाँति ऊष्मीय विकिरण भी विभिन्न माध्यमों में अपवर्तित (refraction) होते हैं।
7. प्रकाश की ही भाँति ऊष्मीय विकिरण में भी व्यतिकरण (interference) तथा विवर्तन (diffraction) होता है।
8. प्रकाश की ही भाँति ऊष्मीय विकिरणों का भी ध्रुवीकरण (polarisation) किया जा सकता है।

ऊष्मीय विकिरण की प्रकृति ऊष्मीय विकिरण के उपरोक्त गुणों से स्पष्ट है कि ऊष्मीय विकिरण व प्रकाश समरूप (identical) हैं अर्थात् दोनों की प्रकृति समान होती है। दोनों विकिरणों की उत्पत्ति भी समान कारणों से होती है। वास्तव में विकिरण एक व्यापक शब्द (general term) है और प्रकाश इस विकीर्ण ऊर्जा (radiant energy) का ही एक प्रकार है जो हमारी आँख की रेटिना को प्रभावित करता है तथा हमें रंगों का आभास कराता है।

वस्तुओं का ताप बढ़ाने से उनमें पहले ऊष्मीय विकिरण (लगभग 800°C तक) उत्पन्न होते हैं तथा इससे अधिक ताप पर ऊष्मीय विकिरण के साथ-साथ प्रकाशीय विकिरण भी प्राप्त होने लगते हैं। उदाहरणतया, यदि हम लोहे को गर्म करें तो 800°C तक हमें केवल गर्मी ही महसूस होती है। अधिक ताप बढ़ाने पर लोहा प्रदीप्त हो जाता है और जैसे-जैसे लोहे का ताप बढ़ता जाता है उसका रंग लाल से प्रारम्भ होकर क्रमशः नारंगी, पीला तथा सफेद होता जाता है। यदि ताप बढ़ाते हुए इसका वर्णक्रम (spectrum) देखें तो ज्ञात होता है कि ताप बढ़ाने का परिणाम प्रकाश में लाल से प्रारम्भ होकर बैंगनी की ओर के रंगों के प्रकाश की मात्रा का बढ़ना है। स्पष्ट है कि ऊष्मीय विकिरण भी ऐसा प्रकाश है जो दृष्टिगत नहीं होता या ऊष्मीय विकिरण ऐसे रंग का विकिरण है जो लाल से पूर्व ही प्राप्त होता है तथा दिखाई नहीं देता। इसीलिए **ऊष्मीय विकिरण को अवरक्त विकिरण** (infrared) भी कहते हैं।

संक्षेप में प्रकाश तथा ऊष्मीय विकिरण दोनों ही विकिरण ऊर्जा (radiant energy) के विभिन्न रूप हैं। **विकिरण ऊर्जा का जो अंश हमारी आँखों द्वारा देखा जाता है उसे प्रकाश (4000 Å से 7500 Å) कहते हैं तथा जो अंश हमारी त्वचा द्वारा गर्मी के रूप में अनुभव किया जाता है उसे ऊष्मीय विकिरण कहते हैं।**

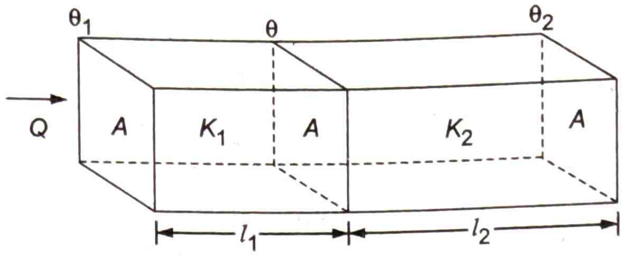
न 3. दो धातु की प्लेटें जिनकी लम्बाइयाँ क्रमशः l_1 व l_2 तथा ऊष्मा चालकताएँ K_1 व K_2 हैं, श्रेणीक्रम में जोड़ी गयी हैं। दोनों प्लेटों की अनुप्रस्थ-काट के क्षेत्रफल समान हैं। प्लेटों के सम्पर्क तल के ताप तथा तुल्य चालकता के लिए व्यंजक ज्ञात कीजिए। (UPBTE 2000)

Two metal plates whose length are l_1 and l_2 and heat conductivity K_1 and K_2 respectively are interconnected in series. The area of cross-section of both the plates is the same. Find the expression for the temperature and equivalent conductivity of the contact surfaces of plates.

अथवा **दो धातु की प्लेटें, जिनकी मोटाइयाँ क्रमशः l_1 व l_2 तथा ऊष्मा चालकताएँ K_1 व K_2 हैं, परस्पर सटाकर रखी गयी हैं। दोनों प्लेटों की अनुप्रस्थ-काट के क्षेत्रफल समान हैं। सिद्ध कीजिए कि संयुक्त प्लेट की ऊष्मा चालकता गुणांक $K = \dfrac{l_1 + l_2}{\dfrac{l_1}{K_1} + \dfrac{l_2}{K_2}}$ होगा।**

Two metal plates whose thicknesses are l_1 and l_2 and heat conductivity K_1 and K_2 respectively are interconnected to each other. The area of cross-section of both the plates is the same. Prove that the combined plate heat conductivity co-efficient will be $K = \dfrac{l_1 + l_2}{\dfrac{l_1}{K_1} + \dfrac{l_2}{K_2}}$.

उत्तर चित्र 9.1 में K_1 तथा K_2 ऊष्मा चालकता गुणांक वाले पदार्थों के बने l_1 व l_2 लम्बाई के दो चालक (गुटके) हैं, जिनमें प्रत्येक की अनुप्रस्थ-काट का क्षेत्रफल A है, परस्पर श्रेणीबद्ध दिखाये गये हैं। माना इस प्रकार बने संयुक्त चालक में ऊष्मा के स्वतन्त्र सिरे का ताप θ_1 तथा दूसरे चालक के स्वतन्त्र सिरे का ताप θ_2 है। माना कि अन्तरापृष्ठ (दोनों चालकों का सम्पर्क पृष्ठ) का ताप θ है। यदि संयुक्त चालक में ऊष्मा प्रवाह बायीं ओर से दायीं ओर को हो रहा है तो स्पष्ट है कि $\theta_1 > \theta_2$।



चित्र 9.1

स्थायी अवस्था में प्रत्येक गुटके में ऊष्मा-प्रवाह की दर एक ही होगी।

अत: $$H = \frac{Q}{t} = K_1 \ A \ \frac{(\theta_1 - \theta)}{l_1} = K_2 A \ \frac{(\theta - \theta_2)}{l_2} \quad \text{...(i)}$$

$\therefore$ $$\frac{K_1}{l_1}(\theta_1 - \theta) = \frac{K_2}{l_2}(\theta - \theta_2)$$

या $$\left(\frac{K_1}{l_1}\right)\theta_1 + \left(\frac{K_2}{l_2}\right)\theta_2 = \left(\frac{K_1}{l_1} + \frac{K_2}{l_2}\right)\theta$$

$\therefore$ $$\theta = \frac{\left(\frac{K_1}{l_1}\right)\theta_1 + \left(\frac{K_2}{l_2}\right)\theta_2}{\frac{K_1}{l_1} + \frac{K_2}{l_2}}$$

सरल करने पर अन्तरापृष्ठ का ताप, $$\theta = \frac{K_1 \ \theta_1 \ l_2 + K_2 \ \theta_2 \ l_1}{K_1 \ l_2 + K_2 \ l_1} \quad \text{...(ii)}$$

ऊष्मा प्रवाह की दर, $$H = \frac{K_1 A}{l_1}\left[\theta_1 - \frac{K_1 \ \theta_1 \ l_2 + K_2 \ \theta_2 \ l_1}{K_1 \ l_2 + K_2 \ l_1}\right]$$

$$= \frac{K_1 A}{l_1}\left[\frac{K_2 \ l_1 \ \theta_1 - K_2 \ l_1 \ \theta_2}{K_1 \ l_2 + K_2 \ l_1}\right]$$

या $$H = \frac{K_1 \ K_2 \ A \ l_1 \ (\theta_1 - \theta_2)}{l_1 \ (K_1 \ l_2 + K_2 \ l_1)} = \frac{A \ (\theta_1 - \theta_2)}{\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2}} \quad \text{...(iii)}$$

यदि संयुक्त गुटके की तुल्य ऊष्मा चालकता K हो, तब $$H = \frac{KA \ (\theta_1 - \theta_2)}{(l_1 + l_2)} \quad \text{...(iv)}$$

समी (iv) की समी (iii) से तुलना करने पर, $$\boldsymbol{K = \frac{l_1 + l_2}{\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2}}} \quad \text{...(v)}$$

समी (ii) अन्तरापृष्ठ के ताप θ तथा समी (v) तुल्य ऊष्मा चालकता को व्यक्त करती है।

ITI Question Bank.com

7. **0.5 मीटर लम्बाई की एक छड़ के चारों ओर लम्बाई में 4 मिमी मोटी रबर की पर्त लगी है। यदि इसके सिरों पर 50 °C तापान्तर स्थापित किया जाये तो इससे होकर ऊष्मा-संचरण की दर ज्ञात कीजिए।**

A rod of 0.5 m length covers lengthwise with a 4 mm thick layer of rubber. If its end is set at 50°C temperature, then find the rate of heat transmission throught it. $K_{metal} = 0.08 \times 10^2$ Jm−1 sec−1K−1, $K_{rubber} = 12 \times 10^{-2}$ Jm−1 sec−1K−1 (UPBTE 2007)

हल इस प्रश्न में त्रुटिवश छड़ की काट नहीं दी गयी है। यदि छड़ की काट वृत्ताकार तथा त्रिज्या $r = 20$ मिमी $= 0.02$ मी है तो

कुल प्रवाहित ऊष्मा की दर = धातु की छड़ से ऊष्मा प्रवाह की दर + रबर से ऊष्मा प्रवाह की दर

अत: $$\frac{Q}{t} = \frac{K_{metal} \times A_1 \times (T_1 - T_2)}{l} + \frac{K_{rubber} \times A_2 \times (T_1 - T_2)}{l}$$

इसलिए, $$\frac{Q}{t} = \frac{0.08 \times 10^2 \times \pi \times 0.02^2 \times 50}{0.5} + \frac{12 \times 10^{-2} \times \pi\,[0.024^2 - 0.02^2] \times 50}{0.5}$$

या $$\frac{Q}{t} = \mathbf{1.011} \text{ जूल/से}$$

8. **ऊष्मा चालकता गुणांक को परिभाषित कीजिए। कुचालकों की ऊष्मा चालकता ज्ञात करने की 'ली' विधि का वर्णन कीजिए।** (UPBTE 2002)

Define coefficient of thermal conductivity. Describe the lee's method to determine the thermal conductivity of insulators.

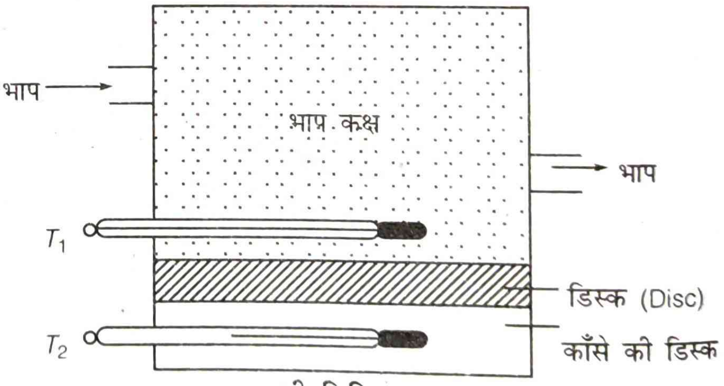
अथवा **ऊष्मा चालकता गुणांक की परिभाषा दीजिए तथा इसका S.I. मात्रक बताइए।** (UPBTE, Sem-I,)

Define coefficient of thermal conductivity and give its S.I. unit.

उत्तर **ऊष्मा चालकता गुणांक** एक पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक, ऊष्मा की उस मात्रा के बराबर होता है जो स्थायी अवस्था (steady state) में उस पदार्थ की एकांक लम्बाई की छड़ में, जिसकी अनुप्रस्थ-काट का क्षेत्रफल एकांक वर्ग मीटर है, प्रति सेकण्ड एक सिरे से दूसरे सिरे की ओर बहती है, जब इनके सिरों के बीच तापान्तर एकांक °C (1°C) है। यह नोट करने की बात है कि ऊष्मा गुणांक या ऊष्मा चालकता गुणांक, ताप की मात्रा नहीं है बल्कि यह ऊष्मा का एक कार्य होता है।

सूत्र $$Q = K \cdot A \frac{(T_1 - T_2)}{d} \text{ से,}$$

जहाँ पर, Q ऊष्मा की मात्रा तथा K ऊष्मा चालकता गुणांक होता है जिसका मात्रक M.K.S. पद्धति में किलो कैलोरी प्रति मीटर प्रति °C प्रति सेकण्ड होता है तथा इसकी विमा $[MLT^{-3}\theta^{-1}]$ होती है। A = पदार्थ के अनुप्रस्थ-काट का क्षेत्रफल, $T_1 - T_2$ = पदार्थ के सिरों की बीच तापान्तर तथा d = पदार्थ की छड़ की लम्बाई है।



ली विधि (Lee's Method)
चित्र 9.4

कुचालकों की ऊष्मा चालकता ज्ञात करने की ली विधि चित्र 9.4 में ली विधि से किसी कुचालक पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करने की व्यवस्था दर्शायी गयी है। जिस पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात

InQuestionBank.com

करना होता है सर्वप्रथम उस पदार्थ की d मोटाई (thickness) वाली एक डिस्क (disc) बना ली जाती है। डिस्क को भाप कक्ष की तली (bottom) तथा काँसे की डिस्क के मध्य कसकर दबा दिया जाता है।

भाप कक्ष में लगा थर्मामीटर डिस्क के ऊपरी भाग का तापमान बताता है। काँसे की डिस्क में एक छेद कर उसमें भी एक थर्मामीटर लगा दिया जाता है जो डिस्क के नीचे का तापमान बताता है। जब भाप कक्ष में भाप को प्रवेश कराया जाता है तो पहले दोनों थर्मामीटरों का तापमान बढ़ता है। कुछ देर बाद स्थायी अवस्था आने पर दोनों थर्मामीटरों के तापमान स्थिर हो जाते हैं। यदि डिस्क का क्षेत्रफल A तथा ऊष्मा चालकता गुणांक K हो तो ऊष्मा प्रवाह की दर

$$\frac{Q}{t} = KA\frac{(T_1 - T_2)}{d} \qquad \ldots(i)$$

वर्नियर कैलिपर्स की सहायता से डिस्क का व्यास नापकर डिस्क का क्षेत्रफल ($A = \frac{\pi}{4}D^2$) ज्ञात किया जाता है। स्क्रूगेज (screw gauge) की सहायता से डिस्क की मोटाई ज्ञात कर ली जाती है।

अब माना काँसे की डिस्क का द्रव्यमान m तथा काँसे की विशिष्ट ऊष्मा C है। चूँकि काँसा डिस्क D से प्राप्त ऊष्मा को वातावरण में विकरित कर देता है, अत: स्थिर तापमान T_2 पर काँसे द्वारा ऊष्मा विकिरण की दर

$$= mC\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{T = T_2} \qquad \ldots(ii)$$

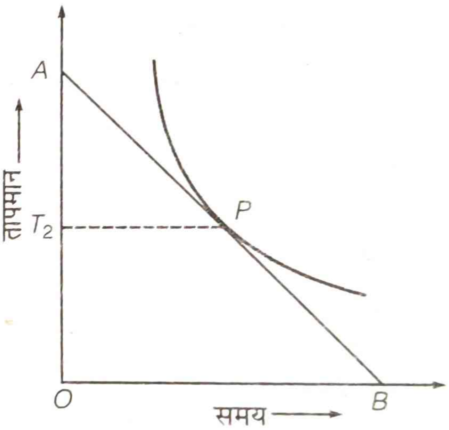
स्थायी अवस्था में समी (i) व (ii) के मान समान होते हैं, अत:

$$KA\frac{(T_1 - T_2)}{d} = mC\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{T = T_2}$$

इसलिए ऊष्मा चालकता गुणांक
$$K = \frac{mCd}{A(T_1 - T_2)}\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{T = T_2} \qquad \ldots(iii)$$

उपरोक्त समीकरण से ऊष्मा कुचालक पदार्थ; जैसे—काँच, अभ्रक (mica), नमदा (felt), कॉर्क, रबर इत्यादि के ऊष्मा चालकता गुणांक का मान ज्ञात किया जा सकता है।

समी (iii) में, $\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{T = T_2}$ का मान एक अलग प्रयोग से ज्ञात किया जाता है।



चित्र 9.5

इसके लिए उपकरण में से ऊष्मा कुचालक पदार्थ की डिस्क D को हटा दिया जाता है। अब काँसे की डिस्क भाप कक्ष के सीधे सम्पर्क में आ जाती है जिससे काँसे की डिस्क का तापमान बढ़ने लगता है। काँसे का तापमान T_2 से लगभग 10°C अधिक तक बढ़ने दिया जाता है। इसके पश्चात्, भाप को बन्द कर दिया जाता है। अब काँसे की डिस्क का तापमान धीरे-धीरे घटने लगता है। तापमान में होने वाली कमी को निश्चित समय अंतराल पर नोट कर लिया जाता है। समय तथा काँसे की डिस्क के तापमान T_2 के मध्य ग्राफ खींच लिया जाता है। चित्र 9.5 में समय को x अक्ष पर तथा काँसे की डिस्क के तापमान को y अक्ष पर दिखाया गया है। y अक्ष पर तापमान T_2 से x अक्ष के समान्तर एक रेखा खींची जाती है। रेखा (T_2P) ग्राफ को P बिन्दु पर काटती है। बिन्दु P पर एक स्पर्श रेखा खींची जाती है जो अक्षों को A व B बिन्दु पर काटती है।

बिन्दु P पर स्पर्श रेखा का ढाल (slope) ही $\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{T = T_2}$ है, अत:

$$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{T = T_2} = \frac{OA}{OB}$$

समी (iii) में, $\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{T = T_2}$ के स्थान पर $\frac{OA}{OB}$ का मान रखकर ऊष्मा चालकता गुणांक का मान ज्ञात किया जा सकता है।

iQuestionBank.com

10. विभिन्न पदार्थों की दो छड़ों की त्रिज्याएँ 1 : 2 के अनुपात में हैं। जब उनमें ताप प्रवणता समान रखी जाती है तो प्रत्येक छड़ 10 कैलोरी/सेकण्ड ऊष्मा संचरित करती है। उनकी ऊष्मा चालकताओं का अनुपात क्या है? (UPBTE 2012)

The radius of two different materials rods are in proportion 1 : 2. When their heating gradient is kept equal then every rod transmits 10 cal/sec heat. What is the ratio of their heat conductivities?

हल माना r_1, r_2 छड़ की त्रिज्याएँ हैं, तब प्रश्नानुसार, $r_1 : r_2 = 1:2$

$$\Rightarrow \quad \frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{2}$$

चूँकि ऊष्मा प्रवाह की दर तथा ताप प्रवणता दोनों छड़ों में समान हैं, इसलिए

$$\frac{Q}{t} = K_1 A_1 \left(\frac{\Delta T}{l}\right) = K_2 A_2 \left(\frac{\Delta T}{l}\right)$$

या

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{2r_1}{r_1}\right)^2 = \frac{4}{1}$$

अत: ऊष्मा चालकताओं का अनुपात, $K_1 : K_2 = \mathbf{4:1}$

11. निम्नलिखित का अर्थ बताइए—1. चक्रीय प्रक्रम, 2. समतापी परिवर्तन, 3. रुद्धोष्म प्रक्रम, 4. समदाबी प्रक्रम और 5. समआयतनिक प्रक्रम।

Explain the meaning of the following:

1. Inactive process, 2. Isothermal process, 3. Adiabatic process, 4. Isobaric process and 5. Isovolumic process.

उत्तर 1. **चक्रीय प्रक्रम** जब कोई निकाय अपनी प्रारम्भिक अवस्था से चलकर विभिन्न अवस्थाओं से गुजरता हुआ पुन: अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आ जाता है तो ऐसे प्रक्रम को चक्रीय प्रक्रम कहते हैं।

चक्रीय प्रक्रम में आन्तरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता अर्थात् $\Delta U = 0$

अत: $\Delta Q = \Delta U + W$

या $\Delta Q = 0 + W$

या $\Delta Q = W$

अत: **गैस को दी गयी ऊष्मा, गैस द्वारा किये गये नेटकार्य के बराबर होती है।**

2. **समतापी प्रक्रम** इसमें ताप स्थिर रहता है अत: निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होगा।

$$\Delta U = 0$$

अत: $\Delta Q = \Delta U + W$ में $\Delta U = 0$ रखने पर

अत: $\Delta Q = 0 + W = W$

अत: **गैस को दी गयी ऊष्मा, गैस द्वारा कार्य करने में व्यय होती है।**

3. **रुद्धोष्म प्रक्रम** इस प्रक्रम में निकाय, वातावरण से न तो ऊष्मा लेता है और न देता है अत: $\Delta Q = 0$

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

$$0 = \Delta U + W \Rightarrow W = -\Delta U$$

यदि कोई कार्य **निकाय पर** किया जाता है तब $\Delta U = -(-W) = W$

अर्थात् **आन्तरिक ऊर्जा, उतनी ही बढ़ जाती है जितना कि निकाय पर कार्य किया जाता है।** यदि कार्य **निकाय द्वारा** किया जाता है, तब $\Delta U = (-W) = -W$

अत: **आन्तरिक ऊर्जा परिमाण में इस कार्य के बराबर घट जाती है।**

ITIQuestionBank.com

4. **समदाबी प्रक्रम** यदि किसी प्रक्रम के दौरान दाब (pressure) स्थिर रहता है तो प्रक्रम को समदाबी कहते हैं। उदाहरणार्थ, जल का जमना (या बर्फ का पिघलना), जल का वाष्प बनना (या वाष्प का ठण्डा होकर जल बनना) आदि।

माना जल (द्रव्यमान $= m$) नियत दाब तथा ताप (क्वथनांक) पर वाष्प में बदलता है।

अत: **जल द्वारा ली गई ऊष्मा** $\Delta Q = mL$ **(L = वाष्प की गुप्त ऊष्मा)**

माना जल का आयतन V_1 है तथा इससे बनी वाष्प का आयतन V_2 है, तब जल द्वारा नियत दाब P के विरुद्ध किया गया कार्य

$$W = P\Delta V = P(V_2 - V_1)$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से, $\Delta Q = \Delta U + W$

$\Rightarrow$ $mL = \Delta U + P(V_2 - V_1)$

अत: वाष्प की आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि $\Delta U = mL - P(V_2 - V_1)$

5. **समआयतनिक प्रक्रम** यदि किसी प्रक्रम के दौरान निकाय का आयतन नियत रहता है तो उसे समआयतनिक प्रक्रम कहते हैं।

आयतन में परिवर्तन नहीं होता अर्थात् $\Delta V = 0$

$\Rightarrow$ $W = 0$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से, $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$

या $\Delta U = \Delta Q$ $(\because \Delta W = 0)$

स्पष्ट है कि **निकाय को दी गई सम्पूर्ण ऊर्जा उसकी आन्तरिक ऊर्जा को बढ़ाने में व्यय होती है।**

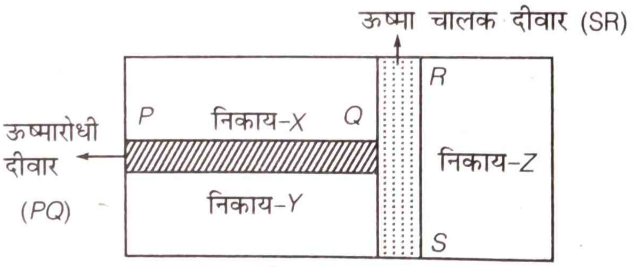
12. ऊष्मागतिकी का शून्यांक नियम क्या है? **(UPBTE 2010)**

What is the zeroth law of thermodynamics?

उत्तर

ऊष्मागतिकी का शून्यांक नियम

ऊष्मीय साम्यावस्था माना X और Y दो ऐसे ऊष्मागतिक निकाय हैं जिनके ताप एकसमान हैं। इसका सीधा-सा अर्थ है कि दोनों निकायों X व Y की ऊष्मीय अवस्था (state of heat) एकसमान है।



चित्र 9.7

दूसरे शब्दों में, दोनों निकाय X व Y ऊष्मीय साम्यावस्था (thermal equilibrium) में है। स्पष्ट है कि तापमान वह भौतिक राशि है जो किन्हीं दो या दो से अधिक निकायों के मध्य ऊष्मीय साम्यावस्था को बताती है।

उदाहरण—माना X, Y व Z तीन ऊष्मागतिक निकाय चित्र 9.7 हैं जो इस प्रकार संयोजित किये गये हैं कि X तथा Y निकायों के मध्य एक ऊष्मारोधी दीवार (adiabatic wall) PQ है जिससे X–Y के मध्य ऊष्मा प्रवाह नहीं होगा। तीसरा निकाय Z है जिसे एक ऊष्मा- चालक दीवार (diathermic wall) RS द्वारा निकायों X तथा Y से अलग किया गया है।

प्रारम्भ में माना तीनों निकायों X, Y तथा Z के ताप अलग-अलग हैं अर्थात् उनके मध्य ऊष्मीय साम्यावस्था नहीं है, परन्तु कुछ समय पश्चात् ऊष्मा स्थानान्तरण के कारण X तथा Z के ताप एकसमान हो जाते हैं अर्थात् निकाय X, निकाय Z के साथ ऊष्मीय साम्यावस्था में आ जाता है, इसी प्रकार निकाय Y भी निकाय Z के साथ ऊष्मीय साम्यावस्था में आ जाता है। इस प्रकार, हम देखते हैं कि निकाय X व निकाय Y भी आपस में साम्यावस्था में आ जाते हैं, जबकि निकाय X व निकाय Y आपस में ऊष्मारोधी दीवार PQ द्वारा विभाजित हैं।

उपरोक्त विवेचन से स्पष्ट है कि "यदि कोई दो ऊष्मागतिक निकाय X तथा Y किसी तीसरे ऊष्मागतिक निकाय Z के साथ अलग-अलग (separately) ऊष्मीय साम्यावस्था मे हैं तो ऊष्मागतिक निकाय X तथा Y भी आपस में ऊष्मीय साम्यावस्था में होंगे।"

यही ऊष्मागतिकी का शून्यांक नियम (zeroth law)है।

mQuestionBank.com

13. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम समझाइए। यह एक प्रकार से ऊर्जा संरक्षण के सिद्धान्त की पुष्टि करता है, विवेचना कीजिए। इसकी सीमाएँ भी लिखिए। (UPBTE 2009, 10)

Explain the first rule of thermodynamics. Describe in what way it confirms the principle of energy conservation. Write its limitation.

अथवा ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम लिखिए। (UPBTE, Sem-I, 2016)

Write the first law of thermodynamics.

उत्तर जब किसी ऊष्मागतिकी निकाय को ΔQ ऊष्मा दी जाती है तो यह ऊष्मा निम्न दो रूपों में व्यय होती है

(i) निकाय द्वारा कार्य (ΔW) करने में।

(ii) निकाय की आन्तरिक ऊर्जा (ΔU) में वृद्धि करने में।

यदि निकाय को दी गई ऊष्मा $= \Delta Q$,

तो

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

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W = \text{आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन}$$

अर्थात् "किसी ऊष्मागतिकी निकाय को दी जाने वाली ऊष्मा की मात्रा, निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि (ΔU) तथा निकाय द्वारा किये गये कार्य (ΔW) के योग के बराबर होती है।"

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

यही **ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम है।** यह नियम **ऊर्जा संरक्षण** के नियम का ही एक रूप है।

नियम की सीमाएँ ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊष्मा व यांत्रिक कार्य के मध्य सम्बन्ध स्थापित करता है अर्थात् $dQ = dU + dW$

फिर भी इस नियम की निम्न सीमाएँ हैं

1. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से ऊष्मा स्रोत की कोई जानकारी नहीं मिलती है अर्थात् स्रोत गर्म है या ठण्डा, इसका पता नहीं चल पाता है।
2. यह नियम ऊष्मा के प्रवाह की दिशा के बारे में कुछ नहीं बताता है। प्रयोगों द्वारा सिद्ध किया गया है कि अधिक ताप से कम ताप की ओर ऊष्मा प्रवाहित होती है व कम ताप से अधिक ताप की ओर ऊष्मा प्रवाहित नहीं होती है, परन्तु दोनों स्थितियों में यह नियम लागू होता है।
3. यह नियम स्पष्ट नहीं करता है कि सम्पूर्ण ऊष्मा को कार्य में या सम्पूर्ण कार्य को ऊष्मा में परिवर्तित किया जा सकता है या नहीं।

14. आन्तरिक ऊर्जा से आप क्या समझते हैं?

What do you understand by internal energy.

उत्तर **आन्तरिक ऊर्जा** यह निकाय की गुप्त या छिपी हुई ऊर्जा होती है जो सदैव निकाय में ही निहित रहती है। साधारणत: इसका आभास नहीं हो पाता। यह निकाय की अवस्था का अभिलाक्षणिक गुण है। यह पदार्थ के अणुओं और परमाणुओं के कारण होती है।

"किसी पदार्थ के अणुओं और परमाणुओं की कुल गतिज ऊर्जा (रेखीय गति + घूर्णन गति + कम्पन गति की गतिज ऊर्जा) तथा स्थितिज ऊर्जा के योग को उस पदार्थ की आन्तरिक ऊर्जा कहते हैं।" इसे सामान्यत: U से प्रदर्शित करते हैं।

$$U = U_k + U_p$$

जहाँ, U_k = गतिज ऊर्जा, U_p = स्थितिज ऊर्जा

चूँकि प्रत्येक पदार्थ छोटे-छोटे अणुओं से मिलकर बना है। अत: अणुओं की गतिज ऊर्जा उस पदार्थ के ताप पर तथा स्थितिज ऊर्जा अणुओं के मध्य दूरी तथा आकर्षण बल पर निर्भर करती है।

15. ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का उल्लेख कीजिए। (UPBTE 2009)

Describe the second law of thermodynamics.

अथवा ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम लिखिए। (UPBTE 2013)

Write the second law of thermodynamics.

ITIQuestionBank.com

उत्तर ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम, यद्यपि ऊर्जा संरक्षण के नियम पर आधारित होता है और इससे प्राप्त परिणाम भी शुद्ध होता है, लेकिन परिणाम अधूरा होता है और यह अधूरा परिणाम हमें ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम देता है। सर्वप्रथम इसे **कार्नो** (Carnot) ने बताया था। लेकिन बाद में इसकी व्याख्या **केल्विन** (Kelvin) तथा **क्लॉसियस** (Clausius) ने की।

क्लॉसियस की व्याख्या किसी स्व-कार्यकारी मशीन (self-acting machine) में या किसी निकाय में अथवा वातावरण में, बिना कोई परिवर्तन लाये हुए या बिना किसी बाहरी स्रोत की सहायता के, निकाय से कम ताप से उच्च ताप लेकर उसे कार्य में परिवर्तित करना असम्भव है। इसका मतलब है, ऊष्मा कम तापक्रम से उच्च तापक्रम में नहीं बह सकती (बिना किसी बाहरी स्रोत की सहायता लिए)।

केल्विन की व्याख्या किसी निकाय में अथवा आस-पास के वातावरण में, बिना कोई परिवर्तन लाये हुए, उस निकाय से ऊष्मा लेकर उसे कार्य में परिवर्तित करना असम्भव है। अर्थात् किसी वस्तु को, बिना किसी बाह्य स्रोत की सहायता के, उसके आस-पास के ताप से ठण्डा करके लगातार कार्य प्राप्त करना असम्भव है।

6. समतापी और रुद्धोष्म प्रक्रमों में भेद कीजिए। एक आदर्श गैस को पहले समतापी और फिर रुद्धोष्म रीति से समान आयतन तक सम्पीडित किया जाता है। किस दशा में **(UPBTE 2010)**

(i) अधिक दाब की आवश्यकता होगी? (ii) अधिक कार्य करना होगा?

Differentiate between isothermal process and adiabatic process. An ideal gas is compressed first to the isothermal and then adiabatic process upto the equal volume. In what position,

(i) more pressure will be needed?

(ii) Will have to work more?

उत्तर

समतापी प्रक्रम तथा रुद्धोष्म प्रक्रम में भेद

1. समतापी प्रक्रम में ताप (T) स्थिर होता है ($\Delta T = 0$), लेकिन रुद्धोष्म प्रक्रम में ताप न तो बाहरी वातावरण से लिया जाता है और न ही ताप पूर्ण प्रक्रम में दिया जाता है अर्थात् ऊष्मा का स्थानान्तरण (transfer of heat) शून्य होता है ($Q = 0$)।
2. समतापी प्रक्रम में, आदर्श गैस बॉयल के नियम (Boyle's law) (PV = स्थिरांक) का पालन करती है, लेकिन रुद्धोष्म प्रक्रम में, आदर्श गैस, बॉयल के नियम का पालन नहीं करती है।
3. समतापी प्रक्रम में, प्रणाली की दीवारें, पूरी तरह से रोधित (insulating) होनी चाहिये तथा प्रक्रम बहुत मंद (slow) होना चाहिए, जबकि रुद्धोष्म प्रक्रम में यदि प्रक्रम की दीवारें रोधित होती हैं, मंद आवृत्ति में परिवर्तन भी रुद्धोष्म में होगा तथा ऐसी कोई स्थिति नहीं है कि प्रक्रम अधिक तीव्रता में होना चाहिये।
4. समतापी प्रक्रम में, आपेक्षित ऊष्मीय धारिता अनन्त है, जबकि रुद्धोष्म प्रक्रम में आपेक्षित ऊष्मीय धारिता शून्य है।
5. समतापी में, आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा के ताप पर निर्भर होने के कारण, गैस की आन्तरिक ऊर्जा स्थिर होती है (ΔV = स्थिरांक), लेकिन रुद्धोष्म प्रक्रम में ऐसा नहीं होता है।

प्रश्नानुसार,

(i) समतापी प्रक्रम में, $P_1V_1 = P_2V_2$, अत: सम्पीडित समान आयतन पर $V_1 = V_2$, $P_1 = P_2$, इसी प्रकार रुद्धोष्म प्रक्रम में अन्दर सम्पीडित करने पर $P_1V_1^r = P_2V_2^r$, अत: समान आयतन तक सम्पीडित करने पर $P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$, अत: रुद्धोष्म प्रक्रम में समतापी प्रक्रम की तुलना में दाब अधिक उत्पन्न होगा।

(ii) समतापी प्रक्रम की तुलना में रुद्धोष्म प्रक्रम के अन्तर्गत समान आयतन तक सम्पीडित करने पर समतापी प्रक्रम की तुलना में अधिक कार्य करना पड़ेगा।

ITIQuestionBank.com

17. **रुद्धोष्म प्रक्रम किसे कहते हैं?**

What do you mean by adiabatic process?

उत्तर **रुद्धोष्म प्रक्रम** जब किसी ऊष्मागतिक निकाय (thermodynamic system) में परिवर्तन (दाब तथा आयतन में) इस प्रकार होता है कि पूरी प्रक्रिया में निकाय द्वारा न तो बाह्य वातावरण से ऊष्मा ली जाती है और न ही बाह्य वातावरण को ऊष्मा दी जाती है भले ही निकाय (गैस) का ताप बदल जाये, तो इस प्रकार के प्रक्रम को रुद्धोष्म प्रक्रम (adiabatic process) कहते हैं।

व्याख्या इस प्रक्रम के लिए यह आवश्यक है कि निकाय बाह्य वातावरण से पूर्णतया ऊष्मारोधी (perfectly insulated) हो तथा प्रक्रम अत्यन्त तीव्र हो। इस दिशा में यदि निकाय में ऊष्मा उत्पन्न होती है, तो वह निकाय की दीवारों के ऊष्मारोधी होने के कारण, निकाय से बाहर नहीं जा पाती। फलस्वरूप निकाय का ताप बढ़ जाता है। इसी प्रकार यदि निकाय द्वारा ऊष्मा अवशोषित की जाती है तो निकाय की दीवारों के ऊष्मारोधी होने के कारण बाह्य वातावरण से ऊष्मा, निकाय के अन्दर नहीं आ पाती। फलस्वरूप निकाय का ताप गिर जाता है।

प्रकृति में कोई भी पदार्थ पूर्ण रूप से ऊष्मारोधी नहीं है, अत: पूर्ण रुद्धोष्म प्रक्रम व्यवहार में सम्भव नहीं है, परन्तु जब कोई प्रक्रम अचानक (sudden) और बहुत तीव्र गति से किया जाता है तो बाह्य वातावरण से ऊष्मा लेने या बाह्य वातावरण को ऊष्मा देने का समय ही नहीं मिलता। इस दशा में यह प्रक्रम लगभग रुद्धोष्म हो जाता है।

यदि किसी गैस को अचानक संपीडित कर दिया जाये तो उसका ताप बढ़ जाता है। ताप बढ़ने का कारण यह है कि गैस को संपीडित करने में, गैस पर जो कार्य (work) किया जाता है वह ऊष्मा (heat) में बदल जाता है। निकाय के ऊष्मा रोधी होने के कारण यह ऊष्मा बाहर नहीं जा पाती। अत: यह ऊष्मा गैस की आन्तरिक ऊर्जा से जुड़ जाती है जिससे निकाय का ताप बढ़ जाता है।

इसके विपरीत यदि किसी गैस को अचानक फैलने (expand) दिया जाये, तो निकाय के अन्दर गैस का दाब, वायुमण्डलीय दाब से अधिक हो जाता है और गैस तेजी से बाहर निकलने लगती है जिससे गैस के अणुओं के मध्य दूरी बढ़ जाती है (दाब कम होने के कारण)। इस कार्य में जो ऊर्जा खर्च होती है वह गैस से ही ली जाती है, अत: उसका ताप गिर जाता है। **ज्ञातव्य है कि रुद्धोष्म प्रक्रम के लिए प्रक्रम का अचानक और बहुत तीव्रता से होना कोई सैद्धान्तिक शर्त नहीं है।**

यदि निकाय की दीवारें शून्य चालकता (absolute insulator) के पदार्थ की हों, तो मन्द (slow) गति से किया गया परिवर्तन इसका अनुपालन नहीं करता।

रुद्धोष्म प्रक्रम पॉयसन के नियम (Poisson's law) के अनुसार होता है, जो निम्न है

$$PV^{\gamma} = \text{नियतांक}$$

यहाँ, γ गैस की दो विशिष्ट ऊष्माधारिताओं C_P तथा C_V का अनुपात है।

$$\therefore \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

रुद्धोष्म प्रक्रम के कुछ उदाहरण

(i) पम्प से साइकिल की ट्यूब में हवा भरते समय पम्प के बैरल का गर्म हो जाना।

(ii) साइकिल की ट्यूब से अचानक वाल्व निकाल लेने पर, साइकिल की ट्यूब से निकली वायु का ठण्डा होना।

(iii) कार्बन डाइऑक्साइड (CO_2) के सिलेण्डर को अचानक खोल देने पर इसका शुष्क बर्फ (dry ice) बन जाना।

ITI Question Bank.com

21. समतापी प्रक्रम से आप क्या समझते हैं? सिद्ध कीजिए कि समतापी प्रक्रम में गैस की विशिष्ट ऊष्मा अनन्त होती है।

What do you understand by isothermal process? Prove that the specific heat of gas in the isothermal process is infinite.

उत्तर **समतापी प्रक्रम** जब किसी ऊष्मागतिक निकाय में परिवर्तन (दाब तथा आयतन में) इस प्रकार हो कि पूर्ण प्रक्रिया में निकाय का ताप स्थिर रहे, तो इस प्रकार के प्रक्रम को समतापी प्रक्रम कहते हैं।

व्याख्या हम जानते हैं कि निकाय की अवस्था में परिवर्तन लाने से निकाय की ऊष्मा घटती है अर्थात् बदलती है। उदाहरणार्थ, यदि किसी गैस का दाब बढ़ाया जाये तो उसकी ऊष्मा भी बढ़ेगी, यदि दाब घटाया जाये तो ऊष्मा भी घटेगी। अत: समतापी प्रक्रम के लिए आवश्यक है कि निकाय को किसी ऐसे बर्तन में बन्द करके रखा जाये जो ऊष्मा का पूर्ण सुचालक हो जिससे निकाय और वातावरण में ऊष्मा का आदान-प्रदान आसानी से हो सके। निकाय की ऊष्मा बढ़ने पर, उसकी ऊष्मा वातावरण में चली जाये, तथा घटने पर वातावरण की ऊष्मा निकाय में आ जाये ताकि निकाय का ताप पूर्ण प्रक्रिया के दौरान स्थिर रहे।

प्रकृति में कोई भी पदार्थ पूर्ण सुचालक नहीं है, अत: पूर्ण समतापी प्रक्रम व्यवहार में असम्भव है। यथासम्भव पूर्ण समतापी प्रक्रम प्राप्त करने हेतु हम परिवर्तन को इतना धीरे-धीरे करते हैं कि निकाय और वातावरण के मध्य ऊष्मा के आदान-प्रदान के लिए पर्याप्त समय मिल जाये और निकाय का ताप स्थिर रहे अर्थात् प्रक्रम लगभग समतापी हो।

उदाहरणार्थ, यदि हम आदर्श गैस से भरा एक ऐसा सिलेण्डर लेकर जिसकी दीवारें पूर्ण सुचालक धातु की बनी हों, पिस्टन द्वारा, गैस को धीरे-धीरे संपीडित करें, तो गैस पर किये गये कार्य से ऊष्मा उत्पन्न होगी और गैस का ताप बढ़ेगा। चूँकि सिलेण्डर की दीवारें पूर्णत: सुचालक धातु की हैं, अत: निकाय की ऊष्मा वातावरण में चली जायेगी। फलत: निकाय का ताप नहीं बढ़ेगा। यदि गैस का दाब घटाकर, गैस का प्रसार होने दिया जाये तो निकाय का ताप घटेगा और निकाय वातावरण से ऊष्मा शोषित कर अपना प्रारम्भिक ताप पुन: प्राप्त कर लेगा।

उपर्युक्त विवरण से स्पष्ट है कि प्रक्रम को समतापी होने के लिये निकाय की दीवारें पूर्ण सुचालक हों तथा प्रक्रम अत्यन्त धीमा हो।

आदर्श गैस में, समतापी परिवर्तन के लिये बॉयल का नियम लागू होता है अर्थात् स्थिर ताप पर किसी गैस के एक निश्चित द्रव्यमान का आयतन V उसके दाब P के अनुक्रमानुपाती होता है। इस प्रकार,

$$PV = \text{नियतांक}$$

यदि बर्तन में भरी गैस के प्रारम्भिक दाब व आयतन क्रमश: P_1 व V_1 तथा अन्तिम दाब व आयतन P_2 व V_2 हों, तो

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा के ताप पर निर्भर रहने के कारण, समतापी प्रक्रम में गैस की आन्तरिक ऊर्जा स्थिर रहती है।

समतापी प्रक्रम में गैस की विशिष्ट ऊष्मा धारिता, $C = \dfrac{Q}{m \times \Delta Q}$ $\quad [\because Q = m \times C \times \Delta Q]$

$$= \frac{Q}{m \times 0} \quad [\because \Delta Q = 0]$$

$$= \infty \text{ (अनन्त)}$$

अर्थात् समतापी प्रक्रम में गैस की विशिष्ट ऊष्मा धारिता अनन्त होती है।

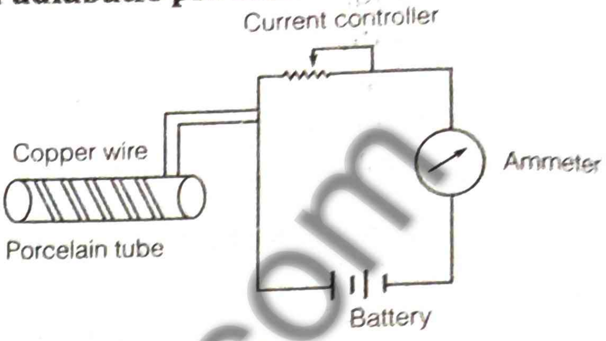
IFI QuestionBank.com

22. रुद्धोष्म प्रक्रम में गैस द्वारा किये गये कार्य की गणना कीजिए।

Calculate the work done by the gas in adiabatic process.

उत्तर माना किसी आदर्श गैस के n मोल का प्रारम्भिक दाब, आयतन व ताप क्रमशः P_1, V_1 व T_1 तथा रुद्धोष्म प्रसार के बाद अन्तिम दाब, आयतन तथा ताप क्रमशः P_2, V_2 तथा T_2 हैं, तो गैस द्वारा किया गया कार्य

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV \quad \text{...(i)}$$



चित्र 9.8

dV = गैस का अत्यन्त सूक्ष्म प्रसार तथा

P = प्रसार के दौरान गैस का तात्कालिक दाब

रुद्धोष्म प्रसार की समीकरण PV^{γ} = नियतांक से,

$$P = \frac{k}{V^{\gamma}} = k \cdot V^{-\gamma} \quad \text{...(ii)}$$

समी (ii) से P का मान समी (i) में रखने पर

$$W = \int_{V_1}^{V_2} k \cdot V^{-\gamma} \cdot dV = k\int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} \cdot dV$$

$$= k \cdot \left[\frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1}\right]_{V_2}^{V_1}$$

$$= \frac{k}{1-\gamma}[V^{1-\gamma}]_{V_1}^{V_2}$$

$$= \frac{k}{1-\gamma}[V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}]$$

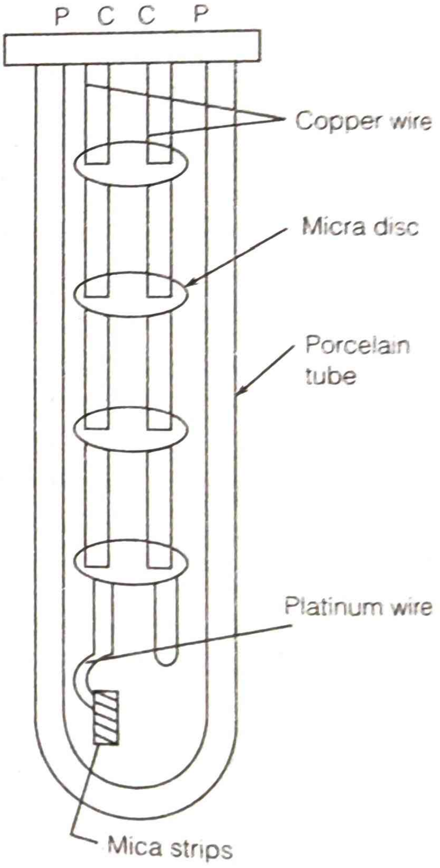
$$= \frac{1}{1-\gamma}[kV_2^{1-\gamma} - kV_1^{1-\gamma}]$$

परन्तु $$P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma} = k$$

k का यह मान उपरोक्त में प्रतिस्थापित करने पर,

कृत कार्य, $$W = \frac{1}{1-\gamma}[P_2V_2^{\gamma} \cdot V_2^{1-\gamma} - P_1V_1^{\gamma} \cdot V_1^{1-\gamma}]$$

$$W = \frac{1}{1-\gamma}[P_2V_2 - P_1V_1] \quad \text{...(iii)}$$



चित्र 9.9

परन्तु, गैस समीकरण $PV = nRT$ से, $P_1V_1 = nRT_1$ तथा $P_2V_2 = nRT_2$

उपरोक्त से P_2V_2 तथा P_1V_1 के मान समी (iii) में रखने पर,

$$W = \frac{1}{1-\gamma}[nRT_2 - nRT_1]$$

$$W = \frac{nR}{1-\gamma}[T_2 - T_1] \quad \text{...(iv)}$$

समी (iv) से स्पष्ट है कि किया गया कार्य केवल प्रारम्भिक व अन्तिम तापों T_1 व T_2 पर निर्भर करता है।
यदि W धनात्मक है तो गैस द्वारा कार्य किया गया है अर्थात् गैस ठंडी $(T_2 < T_1)$ हो रही है।
यदि W ऋणात्मक है तो गैस पर कार्य किया गया है (गैस का संपीडन) अर्थात गैस गर्म $(T_2 > T_1)$ हो रही है।

ITI Question Bank.com

23. **एक छड़ के लिए ऊष्मा चालन के सम्बन्ध में निम्नलिखित की व्याख्या कीजिए** (UPBTE 2001)

(i) स्थायी अवस्था, (ii) ताप-प्रवणता।

Explain the following in reference of heat conduction for a rod

(i) Permanent state

(ii) Thermal gradient.

उत्तर (i) **स्थायी अवस्था** यदि किसी छड़ के एक सिरे को लगातार गर्म करें तो कुछ समय बाद छड़ की प्रत्येक काट (section) का तापक्रम बढ़ जाता है; लेकिन कुछ समय बाद, छड़ की प्रत्येक काट का तापक्रम स्थिर हो जाता है। इस स्थिति में, छड़ की प्रत्येक काट अपने से पहली काट से जितनी ऊष्मा लेती है, उसका एक भाग काट के पार्श्वों (laterals) से संवहन तथा विकिरण की क्रिया के द्वारा वातावरण में चला जाता है तथा शेष भाग को वह अपने से आगे की काट को स्थानान्तरित कर देती है। इस अवस्था में, छड़ की काट स्वयं ऊष्मा का अवशोषण नहीं करती जिससे उसका ताप नहीं बढ़ता है। छड़ की इस अवस्था को, जिसमें छड़ का कोई भाग ऊष्मा का अवशोषण नहीं करता तथा सभी तापमापियों का तापक्रम स्थिर हो जाता है, स्थायी अवस्था (steady state) कहते हैं।

दूसरे शब्दों में, स्थायी अवस्था में छड़ की प्रत्येक काट का ताप स्थिर रहता है, यद्यपि काट का ताप समान नहीं होता है। स्थायी अवस्था में छड़ के प्रत्येक भाग में ऊष्मा चालन की दर समान होती है।

(ii) **ताप-प्रवणता** दो समतापी (isothermal) सतहों के बीच की दूरी के साथ ताप परिवर्तन की दर को ताप प्रवणता (temperature gradient) कहते हैं।

दूसरे शब्दों में, विभिन्न समतापी सतहों के ताप अलग-अलग होते हैं। गर्म सिरे के ठंडे सिरे पर चलने-मिलने वाली समतापी सतहों के ताप घटते जाते हैं। किसी समतापी सतह की गर्म सिरे से दूरी जितनी अधिक होती है, उतना ही उसका ताप कम हो जाता है। एक छड़ की प्रत्येक काट जो स्थायी अवस्था में होती है, समतापी सतह होती है। यह एक सदिश राशि है।

यदि दो समतापी सतहों के बीच का तापान्तर $\Delta\theta$ हो तथा लम्ब दूरी Δx हो तब,

$$\text{ताप प्रवणता} = \frac{\Delta\theta}{\Delta x}$$

ताप प्रवणता का मात्रक °C या सेल्सियस प्रति मीटर होता है।

24. **एक गर्म ठोस की स्थायी अवस्था से आप क्या समझते हैं? d तथा $2d$ मोटाई वाली दो पट्टिकाएँ A तथा B की ऊष्मा चालकताएँ क्रमशः $2K$ तथा K हैं और इन्हें सम्पर्क में रखा गया है। A का स्वतन्त्र पृष्ठ 100°C तथा B का स्वतन्त्र पृष्ठ 20°C ताप पर है। सम्पर्क तल के ताप की गणना कीजिए।** (UPBTE 2011)

What do you understand by the steady state of a heat solid? The heat conductivities of plates A and B are $2K$ and K with d and $2d$ thickness respectively and they would be kept in contact. Independent surface of A is on 100°C and independent surface of B is on 20°C temperature. Calculate the temperature of contact surface.

अथवा **एक गर्म ठोस की स्थाई अवस्था से आप क्या समझते हैं?** (UPBTE 2014)

What do you understand by the steady state of a heat solid?

हल 'स्थायी अवस्था' का अध्ययन उपर्युक्त प्रश्न संख्या 26 के उत्तर के अन्तर्गत करें।

प्रश्नानुसार,

A पट्टिका की मोटाई $= d$, स्वतन्त्र सिरे का ताप $= 100°C$ तथा ऊष्मीय चालकता $= 2K$

B पट्टिका की मोटाई $= 2d$, स्वतन्त्र सिरे का ताप $= 20°C$ तथा ऊष्मीय चालकता $= K$

माना सम्पर्क सतह का ताप $\theta°$ है तथा शीट के पैंदे की काट का क्षेत्रफल A वर्ग मीटर है (चित्र 9.10 को देखें)।

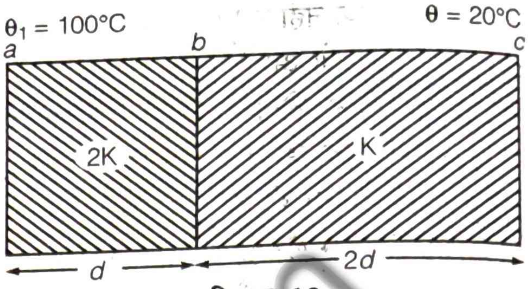
myQuestionBank.com

पट्टिका A में a से b की ओर ऊष्मा के संचरण की दर,

$$\frac{Q}{t} = \frac{2K \cdot A(100 - \theta)}{d} \quad ...(i)$$

इसी प्रकार, पट्टिका B में b से c की ओर ऊष्मा के संचरण की दर,

$$\frac{Q}{t} = \frac{K \cdot A(\theta - 20)}{2d} \quad ...(ii)$$



चित्र 9.10

स्थायी अवस्था में, a से b की ओर ऊष्मा का संचरण तथा b से c की ओर ऊष्मा का संचरण समान होगा।

अत: समी (i) तथा (ii) आपस में बराबर होंगी।

$$\therefore \quad \frac{2K \cdot A(100 - \theta)}{d} = \frac{K \cdot A(\theta - 20)}{2d}$$

या $$200 - 2\theta = \frac{\theta - 20}{2}$$

या $$400 - 4\theta = \theta - 20 \quad \text{या} \quad 5\theta = 420$$

$$\therefore \quad \theta = \frac{420}{5} = 84°C$$

सम्पर्क सतह का ताप = **84°C**

25. विकिरण सम्बन्धी वीन का नियम लिखिए।

Write the Wien rule related to radiation.

उत्तर **किसी तप्त वस्तु का ताप बढ़ाते जाने पर उससे उत्सर्जित अधिकतम ऊर्जा विकिरण निम्न तरंगदैर्घ्य की ओर विस्थापित होता जाता है,** $(\lambda_m \propto 1/T)$। इसका यह अर्थ है कि किसी वस्तु को साधारण ताप तक गर्म करने पर केवल बड़ी तरंगदैर्घ्य वाली विकिरण तरंगें निकलती हैं, परन्तु जैसे-जैसे वस्तु का ताप बढ़ता है, इनके साथ छोटी तरंगदैर्घ्य वाली विकिरण तरंगें भी अधिकाधिक मात्रा में निकलने लगती हैं। यह **वीन का विस्थापन** नियम कहलाता है।

अत: उपर्युक्त नियम के अनुसार, $\lambda_m \times T =$ नियतांक 'b'

जहाँ, नियतांक 'b' वीन नियतांक कहलाता है। इसका मात्रक मीटर-केल्विन होता है।

इस नियम के अनुसार यह भी कहा जाता है कि कृष्णिका विकिरण के स्पेक्ट्रमी वितरण वक्रों में ताप वृद्धि के साथ अधिकतम तरंगदैर्घ्य के संगत वक्र का शिखर कम तरंगदैर्घ्य की ओर विस्थापित होता है। इसीलिए इसको वीन का विस्थापन नियम भी कहते हैं।

26. आदर्श कृष्णिका से आप क्या समझते हैं? आदर्श कृष्णिका को व्यवहार में कैसे प्राप्त किया जाता है? आदर्श कृष्णिका के परमताप को तीन गुना बढ़ा देने पर उससे ऊर्जा उत्सर्जन की दर कितने गुना हो जाएगी?

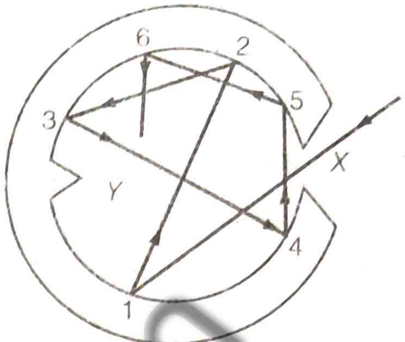
What do you understand by ideal block reflector panel? How to get the ideal block reflector panel in practice? How many times the energy emission rate will get increased on highly increasing the temperature of on ideal block reflector panel?

उत्तर **आदर्श कृष्णिका** आदर्श कृष्णिका वह वस्तु होती है जो अपने पृष्ठ पर आपतित सम्पूर्ण विकिरणों को (चाहे उनकी तरंगदैर्घ्य कुछ भी हो) पूर्णत: अवशोषित कर लेती है। इस प्रकार, आदर्श कृष्णिका के लिए $a_\lambda = 1$.

गर्म करने पर आदर्श कृष्णिका सभी तरंगदैर्घ्यों का उत्सर्जन भी करती है। यद्यपि कोई भी वस्तु आदर्श कृष्णिका नहीं है फिर भी काजल से पुती सतह कुछ सीमा तक कृष्णिका होती है।

ITI Question Bank.com

यह आवश्यक नहीं है कि कृष्णिका काले रंग की ही हो। आदर्श कृष्णिका वास्तव में वह वस्तु है जो अपने ऊपर बाहर से आपतित सभी तरंगदैर्घ्यों की विकिरणों को अवशोषित कर लेती है अथवा उच्च ताप पर सभी तरंगदैर्घ्यों की विकिरणों को उत्सर्जित करती है। इस प्रकार, सूर्य एवं ऊष्मारोधित एक बन्द भट्टी भी लगभग आदर्श कृष्णिका ही है।



चित्र 9.11

व्यावहारिक कृष्णिका किसी एकसमान ताप वाले बन्द बर्तन के भीतर विकिरण में सभी सम्भव तरंगदैर्घ्य होती हैं। इसे **'सम्पूर्ण विकिरण'** कहते हैं। अत: यदि इसके अन्दर एक आदर्श कृष्णिका रखी हो तो वह इस विकिरण का पूर्णत: अवशोषण करेगी। परन्तु बर्तन के भीतर विकिरण का परिमाण तथा गुण उसमें रखी किसी भी वस्तु की प्रकृति पर निर्भर नहीं करते हैं। अत: आदर्श कृष्णिका द्वारा उत्सर्जित विकिरण, परिमाण व गुण में, बन्द बर्तन के भीतर उपस्थित विकिरण के समान होगी। इस आधार पर फेरी ने एक आदर्श कृष्णिका बनायी। इसमें एक दोहरी दीवार का धातु का खोखला गोला होता है जिसमें एक ओर संकीर्ण छिद्र X होता है। गोले की भीतरी दीवार कालिख से पुती होती है। छिद्र X के सामने गोले की भीतरी दीवार शंकु Y के आकार में उठी होती है। दोनों दीवारों के बीच निर्वात् कर दिया जाता है जिससे चालन व संवहन द्वारा ऊष्मा की हानि न हो सके। जब कोई विकिरण छिद्र X द्वारा गोले में प्रवेश करती है तो भीतरी दीवार पर बहुल परावर्तन के कारण, उसका भीतरी दीवार पर अवशोषण हो जाता है। यदि शंकु Y न हो तो दीवार के इस भाग से विकिरण सीधे परावर्तित होकर छिद्र X से बाहर आ सकती है। अत: छिद्र X पर जो भी विकिरण गिरती है वह लगभग पूर्णत: अवशोषित कर ली जाती है। इस प्रकार, छिद्र X एक आदर्श कृष्णिका की भाँति कार्य करता है। यदि इस गोले को एकसमान रूप से एक निश्चित ताप तक गर्म किया जाए तो छिद्र से निकलने वाली विकिरण लगभग आदर्श कृष्णिका की ही विकिरण होगी।

ऊर्जा उत्सर्जन की दर $\propto T^4$, अत: परमताप T को 3 गुना बढ़ा देने पर ऊर्जा उत्सर्जन की दर $(3)^4$ अर्थात् 81 गुना हो जाएगी।

27. ऊष्मा इंजन क्या है? समझाइए।

What is the heat engine? Explain.

उत्तर **ऊष्मा इंजन** Heat Engine "वह युक्ति जो ऊष्मीय ऊर्जा को यान्त्रिक कार्य में बदल देती है, ऊष्मा इंजन कहलाती है।"

किसी भी ऊष्मा इंजन में मुख्य रूप से तीन भाग होते हैं

1. **ऊष्मा-स्रोत** Source of Heat जो वस्तु लगातार एक निश्चित ताप पर ऊष्मा दे सकती है उसे ऊष्मा-स्रोत कहते हैं।

   ऊष्मा-स्रोत की विशेषताएँ ऊष्मा-स्रोत की निम्न विशेषताएँ हैं

   (i) इसका ताप चारों ओर के वातावरण के ताप से बहुत अधिक होता है और सदैव निश्चित (T_1) रहता है। वह न तो कम होता है और न ही अधिक।

   (ii) इसकी ऊष्माधारिता (heat capacity) अनन्त होती है। इसका अर्थ है कि स्रोत से कितनी ही ऊष्मा निकाल ली जाये, उसका ताप कम नहीं होता है अर्थात् निश्चित (T_1) ही बना रहता है।

2. **ऊष्मा सिंक** Sink of Heat स्रोत की अपेक्षा निम्न ताप (T_2) पर यह एक ऐसी वस्तु होती है, जिसे चाहे जितनी भी ऊष्मा दे दी जाए, इसका ताप बढ़ता नहीं है अर्थात् T_2 ही रहता है।

   सिंक की विशेषताएँ सिंक की निम्न विशेषताएँ हैं

   (i) इसकी ऊष्माधारिता अनन्त होती है, इसीलिए इसको चाहे कितनी ही ऊष्मा दे दी जाए, इसका ताप सदैव नियत ही रहता है।

   (ii) इसका ताप सदैव नियत (T_2) रहता है तथा $T_2 < T_1$।

myQuestionBank.com

उदाहरणार्थ—व्यवहार में सबसे अच्छा ऊष्मा सिंक **वायुमण्डल** होता है।

3. **कार्यकारी पदार्थ** Working Substance भाप, पेट्रोल, डीजल आदि जो पदार्थ ऊष्मा इंजन में प्रयुक्त किये जाते हैं, उन्हें कार्यकारी पदार्थ कहते हैं। कार्यकारी पदार्थ स्रोत से ऊष्मा, ऊँचे ताप (T_1) पर ग्रहण करता है, उसके कुछ हिस्से को उपयोगी कार्य में बदलता है और शेष को निम्न ताप (T_2) पर सिंक को दे देता है।

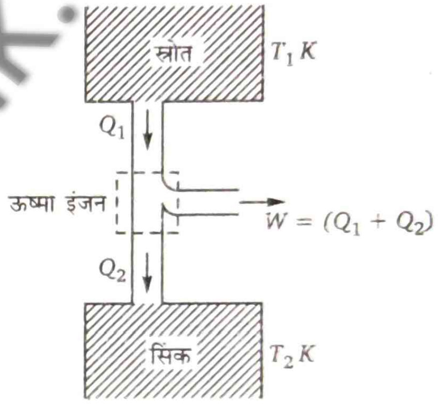
उदाहरणार्थ—कार्नो इंजन में **आदर्श गैस**, भाप-इंजन में पानी की भाप और ऑटो इंजन (आन्तरिक दहन इंजन) में कार्यकारी पदार्थ होते है।

कार्यकारी पदार्थ द्वारा स्रोत से ऊष्मा लेना, उसके कुछ भाग को उपयोगी कार्य में बदलना और शेष को सिंक को दे देना **इस सम्पूर्ण क्रिया को एक चक्र (cycle) कहते हैं।** इस क्रिया के बाद कार्यकारी पदार्थ अपनी प्रारम्भिक अवस्था में लौटता है अर्थात् **उसकी आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य होता है।**

28. ऊष्मा इंजन के कार्यकारी सिद्धान्त की विवेचना कीजिए।

Explain the working principle of heat engine.

उत्तर **ऊष्मा इंजन का सिद्धान्त** Principle of Heat Engine इंजन का कार्यकारी पदार्थ स्रोत से ऊष्मा लेता है, उसके कुछ भाग को उपयोगी कार्य में बदलता है, शेष ऊष्मा को सिंक को लौटा देता है। इसके बाद कार्यकारी पदार्थ अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आ जाता है और अगले चक्र के लिए तैयार हो जाता है। यह क्रिया बार-बार दोहरायी जाती है, इससे ऊष्मा लगातार उपयोगी कार्य (यान्त्रिक ऊर्जा) में बदलती रहती है।



चित्र 9.12

ऊष्मा इंजन की दक्षता Efficiency of Heat Engine "एक चक्र में, इंजन द्वारा किए गए उपयोगी कार्य तथा कार्यकारी पदार्थ द्वारा स्रोत से प्राप्त की गयी ऊष्मा के अनुपात को इंजन की दक्षता कहते हैं।

दक्षता को प्रायः η (ईटा) द्वारा दर्शाते हैं। दक्षता को प्रतिशत में लिखने की परम्परा है।

$$\text{प्रतिशत दक्षता } (\eta) = \frac{\text{क्रिया गया कार्य}}{\text{ग्रहण की गयी ऊष्मा}} \times 100\%$$

चित्र 9.12 ऊष्मा इंजन का सैद्धान्तिक चित्र प्रदर्शित करता है।

माना एक ऊष्मा इंजन के स्रोत का ताप T_1 है। कार्यकारी पदार्थ स्रोत से Q_1 ऊष्मा लेता है और इसमें से W ऊष्मा को कार्य में बदल देता है। शेष ऊष्मा $Q_2 = Q_1 - W$ को वह सिंक (ताप T_2) को वापस कर देता है। अतः इंजन की दक्षता

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) = 1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

[यहाँ Q_1 तथा Q_2 या W और Q_1 या T_1 और T_2 एक ही मात्रक में (दोनों जूल में अथवा दोनों कैलोरी मे) प्रयुक्त होने चाहिए।]

उपरोक्त सूत्र से, स्पष्ट है कि इंजन की दक्षता बढ़ाने के लिए कार्यकारी पदार्थ द्वारा ग्रहण की गयी ऊष्मा के ज्यादा-से-ज्यादा भाग को कार्य में बदलना होगा।

29. कार्नोट इंजन से क्या अभिप्राय है? इसके विभिन्न भागों का वर्णन कीजिए।

What do you understand by carnot engine? Explain its various parts.

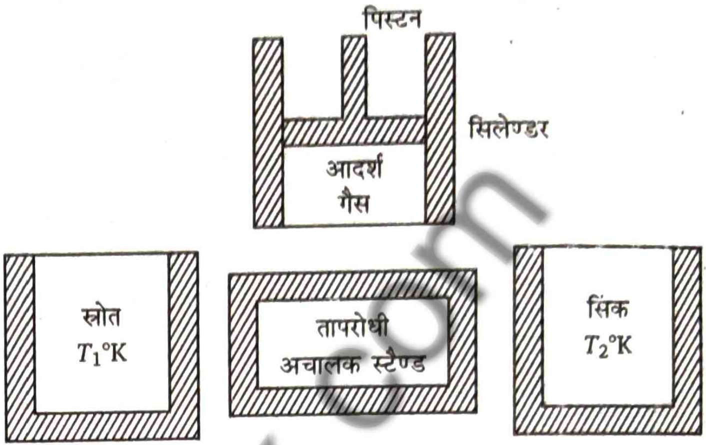
उत्तर **कार्नोट इंजन** Carnot Engine आदर्श इंजन की संकल्पना को व्यावहारिक रूप देने के लिए कार्नो ने, आदर्श गैस को कार्यकारी पदार्थ के रूप में प्रयुक्त कर एक उत्क्रमणीय निकाय (जिसमे घर्षण या भौतिक क्रियाओं द्वारा ऊष्मा ऊर्जा का क्षय नहीं होता हो) को आदर्श इंजन मान लिया। इसे कार्नो इंजन भी कहा जाता है। इस इंजन की दक्षता केवल उन तापों (स्रोत तथा सिंक के ताप क्रमशः T_1 तथा T_2) पर निर्भर करती है जिनके मध्य यह कार्य करता है।

वास्तव में व्यवहार में ऐसा इंजन सम्भव नहीं है, क्योंकि कोई भी निकाय, आदर्श रूप से उत्क्रमणीय नहीं हो सकता। अतः स्रोत तथा सिंक के नियत ताप क्रमशः T_1 तथा T_2 के मध्य कार्य करने वाला कोई व्यावहारिक इंजन, कार्नोट इंजन से

ITI Question Bank.com

अधिक दक्ष (more efficient) नहीं हो सकता। दूसरे शब्दों में, कार्नो इंजन की दक्षता सर्वाधिक (लेकिन शत-प्रतिशत नहीं) होती है।

कार्नोट इंजन के मुख्य भाग कार्नोट इंजन के मुख्य भाग निम्नलिखित होते हैं।



चित्र 9.13

1. **सिलेण्डर, पिस्टन एवं कार्यकारी पदार्थ** एक सिलेण्डर में कार्यकारी पदार्थ के रूप में आदर्श गैस भरी जाती है, जिसमें एक घर्षण- रहित पिस्टन भी लगा रहता है। सिलेण्डर की दीवारें तथा पिस्टन का आधार पूर्णत: कुचालक पदार्थ से बने होते हैं, परन्तु सिलेण्डर का आधार (base) पूर्णत: सुचालक पदार्थ का बना होता है। अत: सिलेण्डर को ऊष्मा का आदान-प्रदान केवल आधार द्वारा ही किया जाता है।
2. **ऊष्मा-स्रोत** Source of Heat इस स्रोत का ताप सदैव नियत रहता है, चाहे उसमें से कितनी ही ऊष्मा निकाली जाए अर्थात् इसकी ऊष्माधारिता अनन्त होती है। स्रोत का ताप (T_1) वातावरण के ताप से बहुत ऊँचा होता है।
3. **सिंक** Sink यह एक ऐसी व्यवस्था या स्थान है, जिसमें कार्यकारी पदार्थ अपनी बची हुई ऊष्मा को डाल देता है। इसका ताप (T_2), स्रोत के ताप से बहुत नीचे होता है, परन्तु सदैव नियत रहता है, चाहे उसमें कितनी ही ऊष्मा डाल दी जाए अर्थात् इसकी ऊष्माधारिता भी अनन्त होती है।
4. **तापरोधी (अचालक) स्टैण्ड** यह अचालक पदार्थ का बना स्टैण्ड होता है। स्टैण्ड पर सिलेण्डर को रखने से उत्क्रमणीय निकाय पूर्ण ऊष्मारोधी बन जाता है।

30. कार्नोट इंजन की कार्यविधि समझाइए।

Explain the working method of Carnot engine.

अथवा **कार्नोट चक्र के विभिन्न प्रक्रम कौन-कौन से हैं? विवेचना कीजिए।**

What are the different process of Carnot cycle? Explain.

अथवा **कार्नोट चक्र का वर्णन कीजिए और इसका महत्त्व समझाइए।** (UPBTE 2009)

Define the carnot cycle and explain its importance.

अथवा **कार्नोट चक्र की कार्यविधि का वर्णन कीजिए।** (UPBTE 2013)

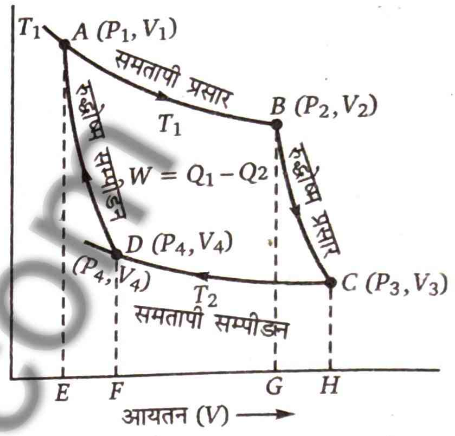
Describe the working method of Carnot cycle.

उत्तर **कार्नोट इंजन की क्रियाविधि** इंजन से लगातार उपयोगी कार्य प्राप्त करने के लिए उसे एक निश्चित क्रम में चलाया जाता है, जिससे कार्यकारी पदार्थ प्रत्येक चक्र के बाद पुन: अपनी प्रारम्भिक अवस्था में ही आ जाता है और अगले चक्र में फिर वही क्रिया दोहराने लायक बना रहता है। इंजन द्वारा ऊष्मा-स्रोत से ऊष्मा ग्रहण करना, उसके कुछ भाग को उपयोगी कार्य में बदलकर शेष भाग को सिंक को देना तथा फिर अपनी प्रारम्भिक अवस्था को प्राप्त करना; ये सभी क्रियाएँ मिलकर इंजन की कार्यविधि का एक चक्र बनाती हैं।

व्यवहार में, इस चक्र को प्राप्त करने के लिए कार्यकारी पदार्थ के दाब, आयतन तथा ताप को एक निश्चित क्रम में तथा निश्चित प्रक्रम (समतापी या रुद्धोष्म) द्वारा बदला जाता है जिससे कार्यकारी पदार्थ एक चक्र के बाद पुन: अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आ जाता है। इस प्रकार, "**कार्नोट इंजन में कार्यकारी पदार्थ (आदर्श गैस) के आयतन, दाब व ताप को ऊष्मागतिक प्रक्रमों द्वारा एक निश्चित क्रम में परिवर्तित करके अपनी प्रारम्भिक अवस्था में लाने की सम्पूर्ण क्रियाओं को कार्नोट चक्र कहते हैं।**"

कार्नोट चक्र के प्रक्रम कार्नोट चक्र में कार्यकारी पदार्थ पर किये जाने वाले चार ऊष्मागतिक प्रक्रम तथा उनका क्रम अग्रलिखित प्रकार से होता है

1. समतापी प्रसार 2. रुद्धोष्म प्रसार 3. समतापी सम्पीडन 4. रुद्धोष्म सम्पीडन।



चित्र 9.14

कार्नोट चक्र को चित्र 9.14 में दर्शाए गए सूचक आरेख द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है। कार्नोट चक्र के चारों प्रचालनों को समझने के लिए माना कार्यकारी पदार्थ (आदर्श गैस) का 1 ग्राम मोल $T_1 K$ पर सिलेण्डर में लिया जाता है। इस अवस्था में माना गैस का दाब P_1 तथा आयतन V_1 है। इसको सूचक आरेख पर A बिन्दु द्वारा दर्शाया गया है।

1. **समतापी प्रसार** माना अब सिलेण्डर को उठाकर ताप $T_1 K$ वाले ऊष्मा-स्रोत के सम्पर्क में रख दिया जाता है तथा पिस्टन को धीरे-धीरे चलने दिया जाता है जिससे गैस का समतापीय प्रसार हो सके। क्योंकि सिलेण्डर का आधार पूर्ण चालक है तथा स्रोत के सम्पर्क में है इसलिए आदर्श गैस के समतापीय प्रसार के लिए आवश्यक ऊष्मा Q_1 स्रोत से प्राप्त होती है तथा प्रसार के समय ताप T_1 स्थिर बना रहता है।

   यह प्रक्रिया तब तक की जाती है जब तक कि सूचक आरेख पर स्थित बिन्दु B द्वारा प्रदर्शित अवस्था प्राप्त नहीं हो जाती है। सूचक आरेख पर यह प्रसार प्रक्रिया समतापी वक्र AB द्वारा दर्शायी गयी है। माना बिन्दु B के संगत दाब तथा आयतन क्रमशः V_1 तथा V_2 हैं।

   समतापीय प्रसार में ताप स्थिर रहने के कारण आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य होगा। अतः ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की समीकरण $Q = \Delta U + W$ से स्रोत से अवशोषित ऊष्मा की मात्रा $Q_1 = W_1$ जहाँ कार्यकारी पदार्थ द्वारा किया गया कार्य W_1 = क्षेत्रफल $ABGEA$

   अथवा
$$W_1 = Q_1 = RT_1 \cdot \log_e\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad \ldots(i)$$

2. **रुद्धोष्म प्रसार** अब सिलेण्डर को स्रोत से हटाकर उसके आधार को पूर्णतया अचालक स्टैण्ड के सम्पर्क में रखते हैं। पिस्टन अपने जड़त्व के कारण स्वतः ऊपर की ओर चलता है जिससे आदर्श गैस का रुद्धोष्म प्रसार होता है, क्योंकि सिलेण्डर तथा स्टैण्ड पूर्ण अचालक होने के कारण गैस को न तो वातावरण से ऊष्मा मिल पाती है और न ही अन्दर की ऊष्मा बाहर जा पाती है। पिस्टन को ऊपर उठाने में कार्यकारी पदार्थ अपनी आन्तरिक ऊर्जा व्यय करता है जिससे ताप गिरने लगता है। यह प्रसार तब तक किया जाता है जब तक कि ताप सिंक के ताप $T_2 K$ के बराबर नहीं हो जाता। सूचक आरेख में वक्र BC कार्यकारी पदार्थ के रुद्धोष्म प्रसार को व्यक्त करता है अर्थात् यह रुद्धोष्म वक्र है। यदि बिन्दु C पर दाब P_3 तथा आयतन V_3 हो तो पदार्थ द्वारा B से C तक रुद्धोष्म प्रसार में किया गया कार्य W_2 = क्षेत्रफल $BCHGB$.

   अथवा
$$W_2 = \frac{R}{1-\gamma}(T_1 - T_2) \quad ..(ii)$$

   इस अवस्था में $Q = 0$, अतः $\Delta U = Q - W$ से,
$$\Delta U = -W_2$$
   जहाँ (–) चिह्न आन्तरिक ऊर्जा में कमी का प्रतीक है, जिससे ताप गिरता है।

3. **समतापी सम्पीडन** बिन्दु C पर आदर्श गैस का ताप गिरकर सिंक के ताप $T_2 K$ के बराबर हो जाता है तथा दाब भी बहुत कम हो जाता है जिससे गैस में कार्य करने की सामर्थ्य समाप्त हो जाती है। कार्य करने की सामर्थ्य को गैस द्वारा पुनः प्राप्त करने के लिए उसे प्रारम्भिक स्थिति में लाया जाता है। अतः अब सिलेण्डर को स्टैण्ड पर से उतारकर सिंक B पर रख देते हैं। पिस्टन को बहुत धीरे-धीरे नीचे की ओर चलाते हैं; जब तक दाब P_4 तथा आयतन V_4 नहीं हो जाता है। ऐसा करने से कार्यकारी पदार्थ का समतापीय सम्पीडन होता है। पिस्टन द्वारा गैस पर कार्य होता है तथा पदार्थ (गैस) उत्पन्न ऊष्मा Q_2 को ताप $T_2 K$ पर सिंक को दे देता है तथा पदार्थ का ताप $T_2 K$ ही बना रहता है।

HJ Question Bank.com

सूचक आरेख पर यह समतापीय सम्पीडन वक्र CD द्वारा दर्शाया गया है अर्थात् यह समतापी वक्र है। इस दशा में गैस पर किया गया कार्य

$$W_3 = -\text{ क्षेत्रफल } CHFDC$$

इस अवस्था में $\Delta u = 0$, अत: $Q = \Delta U + W$ से, $Q_2 = -W_3$ या $W_3 = -Q_2$

अर्थात् इस प्रक्रिया में गैस पर किया गया कार्य = सिंक द्वारा अवशोषित ऊष्मा की मात्रा

अर्थात् $$W_3 = -Q_2 = -RT_2 \log_e\left(\frac{V_3}{V_4}\right) \quad \text{...(iii)}$$

4. **रुद्धोष्म सम्पीडन** गैस को उसकी प्रारम्भिक अवस्था में लाने के लिए सिलेण्डर को सिंक से हटाकर पुन: अचालक स्टैण्ड पर रखते हैं तथा पिस्टन को नीचे की ओर दबाते हैं। इससे गैस और अधिक सम्पीडित होती है। यह सम्पीडन रुद्धोष्म होता है। यह प्रक्रिया तब तक जारी रखते हैं जब तक कि गैस का ताप T_2, दाब P_4 तथा आयतन V_4 से परिवर्तित होकर प्रारम्भिक ताप T_1, दाब P_1 तथा आयतन V_1 पर नहीं आ जाता। सूचक आरेख में बिन्दु A पर यह परिवर्तन इस आरेख में वक्र DA द्वारा प्रदर्शित है। अत: यह रुद्धोष्म सम्पीडन वक्र है। स्पष्ट है कि इस दशा में पिस्टन द्वारा कार्यकारी पदार्थ पर कार्य किया जाता है तथा यह कार्य गैस में आन्तरिक ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है जिससे उसका ताप T_2 से बढ़कर T_1 हो जाता है।

इस प्रक्रम में, $Q = 0$ अत: $Q = \Delta U + W$ से, $\Delta U = -W$

परन्तु, रुद्धोष्म सम्पीडन में कार्य, $W_4 = -$ क्षेत्रफल $DFEAD$

$\therefore$ $\Delta U = -(-W_4) = +$ क्षेत्रफल $DFEAD$, यहाँ $(+)$ चिह्न आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि का प्रतीक है।

यहाँ गैस पर किया गया कार्य $$W_4 = \left[\frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}\right] \quad \text{...(iv)}$$

इस प्रकार सम्पूर्ण एक चक्र में कार्यकारी पदार्थ पुन: अपनी प्रारम्भिक स्थिति में लौट आता है तथा यह फिर से पहले की तरह कार्य करने को तैयार हो जाता है। अत: गैस की आन्तरिक ऊर्जा में कोई नेट परिवर्तन नहीं होता। चक्र $ABCD$ की आकृति कार्यकारी गैस की प्रकृति पर निर्भर करती है।

31. 10^5 N/m^2 के वायुदाब पर जब बर्फ के एक गुटके 3.4×10^5 J को ऊष्मा दी जाती है तो इसके आयतन में $9 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ की कमी हो जाती है। आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन की गणना कीजिए।

(UPBTE 2016)

On the air pressure 10^5 N/m^2, when ice cube has given 3.4×10^5 J heat then its volume decreases to $9 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. Calculate the change in internal energy.

हल माना बर्फ के गुटके का द्रव्यमान 1g है।

$$P = 10^5 \text{ N/m}^2, \Delta V = 9 \times 10^{-5} \text{ m}^3, L_v = 3.4 \times 10^5 \text{ J}$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से,

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$
$$\Delta Q = m \,.\, L_u = 1 \times 3.4 \times 10^5 = 3.4 \times 10^5 \text{ J}$$
$$\Delta W = P \times \Delta v$$
$$= 10^5 \times 9 \times 10^{-5} = 9\text{J}$$

अत: आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$
$$= 3.4 \times 10^5 - 9 = -5.6 \times 10^5 \text{J}$$

ΔU ऋणात्मक हैं, अत: आन्तरिक ऊर्जा में कमी होगी।

ITIQuestionBank.com