ऊष्मा संचरण (HEAT TRANSFER)

1. परिचय (INTRODUCTION)

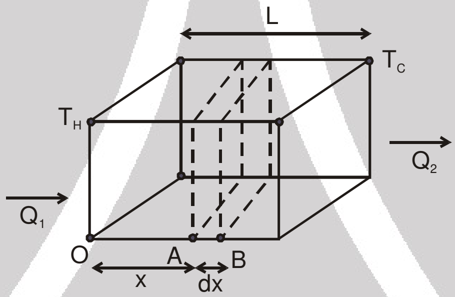
ऊष्मा ऐसी ऊर्जा है जो तापान्तर के कारण प्रवाहित होती है। उच्च ताप से निम्न ताप की वस्तु की ओर यह ऊष्मा संचरण तीन प्रकार से होता है।

(i) चालन (ii) संवहन (iii) विकिरण

2. चालन (CONDUCTION)

ऊष्मा ऊर्जा के संचरण की वह प्रक्रिया जिसमें ऊष्मा माध्यम के एक कण से दूसरे की ओर संचरित होती है, परन्तु माध्यम का प्रत्येक कण अपनी स्थिति पर रूका रहता है, चालन कहलाती है। उदाहरण स्वरूप यदि आप लोहे की एक छड़ को पकड़ कर उसके एक सिरे को कुछ समय के लिए आग पर रखें तो इसका हत्था गर्म हो जाता है। ऊष्मा, लोहे की छड़ के अनुदिश चालन द्वारा संचरित होती है। लोहे की छड़ के परमाणु व इलेक्ट्रॉनों का कम्पन आयाम गर्म सिरे पर वातावरण के उच्चताप के कारण अधिकतम मान प्राप्त कर लेता है। ये बढ़े हुए कम्पन आयाम, पड़ौसी परमाणुओं के मध्य परमाणु से परमाणु की टक्कर के दौरान छड़ के अनुदिश संचरित होते हैं। इस प्रकार बढ़ा हुआ ताप का क्षेत्र छड़ की लम्बाई के अनुदिश आपके हाथ तक फैलता है।

फलकीय क्षेत्रफल A व मोटाई L की एक पटि्टका पर विचार कीजिये जिसके फलकों का ताप T_H व T_C ($T_H > T_C$) है।



अब पटि्टका में अन्तराल dx पर स्थितियों A व B पर दो अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफलों पर विचार कीजिये। फलक A का ताप T व फलक B का ताप $T + \Delta T$ मानिये। प्रयोगों द्वारा प्रदर्शित होता है कि x दूरी पर t समय में पटि्टका के A क्षेत्रफल से गुजर रही ऊष्मा की मात्रा Q निम्न के द्वारा दी जाती है।

$$\boxed{\frac{Q}{t} = -KA\frac{dT}{dx}} \quad .....(2.1)$$

यहां K एक नियतांक है जो पटि्टका के पदार्थ पर निर्भर है इसको पदार्थ की ऊष्मा चालकता कहते हैं एवं राशि $\left(\frac{dT}{dx}\right)$ को ताप प्रवणता कहते हैं। समीकरण (2.1) में (–) चिन्ह प्रदर्शित करता है कि ऊष्मा उच्चताप से निम्न ताप की ओर प्रवाहित होती है। ΔT –ve राशि है

3. स्थायी अवस्था (STEADY STATE)

यदि उपरोक्त प्लेट में किसी स्थिति x पर अनुप्रस्थ काट का तापमान समय के साथ नियत रहता है। (याद रखें यह स्थिति x के साथ परिवर्तित होती है) प्लेट स्थायी अवस्था में है। याद रखें स्थायी अवस्था, तापीय साम्यावस्था से अलग है, जिसके लिए किसी स्थिति x पर प्लेट में ताप समान रहना चाहिये। स्थायी अवस्था में किसी चालक के लिए किसी अनुप्रस्थ काट पर ऊष्मा का अवशोषण या उत्सर्जन नहीं होना चाहिए (क्योंकि प्रत्येक बिन्दु पर तापमान समय के साथ नियत रहता है)। बाँया व दाँया फलक नियत ताप क्रमशः T_H व T_C पर रखे जाते है, एवं अन्य सभी फलकों की दीवारें रूद्धोष्म हैं ताकि

उनसे कोई ऊष्मा बाहर नहीं निकलती एवं दिये गये समायान्तराल में प्रत्येक अनुप्रस्थ काट से समान ऊष्मा की मात्रा प्रवाहित होती है। इस प्रकार $Q_1 = Q = Q_2$ हो तो, परिणामस्वरूप पूरी प्लेट में ताप प्रवणता समान है।

अतः, $\frac{dT}{dx} = \frac{\Delta T}{L} = \frac{T_f - T_i}{L} = \frac{T_C - T_H}{L}$ व $\frac{Q}{t} = -KA\frac{\Delta T}{L}$

$$\Rightarrow \quad \frac{Q}{t} = KA\left(\frac{T_H - T_C}{L}\right) \qquad .... (3.1)$$

यहाँ Q, समयान्तराल t में किसी स्थिति पर प्लेट के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल से प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा है।

Solved Examples

Example 1 2 मीटर भुजा के एक ऐल्यूमिनियम के घन के एक फलक का ताप 100°C एवं दूसरे सिरे का 0°C रखा जाता है एवं सभी सतह रूद्धोष्म दीवारों से घिरी हुई है। घन के द्वारा 5 से. में प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा ज्ञात कीजिये। (ऐल्यूमिनियम की ऊष्मा चालकता 209 W/m–°C है।

Solution : ऊष्मा 100ºC वाले सिरे से 0ºC वाले सिरे की ओर प्रवाहित होगी। ऊष्मा प्रवाह की दिशा के लम्बवत् अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल–

$A = 4m^2$

तो $\frac{Q}{t} = KA\frac{(T_H - T_C)}{L}$

$$Q = \frac{(209W/m^\circ C)(4m^2)(100^\circ C - 0^\circ C)(5\,sec)}{2m} = 209\ KJ \ \textbf{Ans.}$$

4. चालन में ताप प्रतिरोध (THERMAL RESISTANCE TO CONDUCTION)

यदि आप अपने घर को ठंडे मौसम से अवरोधित करने के इच्छुक हैं या अपने टिफिन बॉक्स में खाना गर्म रखने के, तो आप की रूचि अच्छे चालकों की बजाय खराब ऊष्मा चालकों में अधिक हैं। इस कारण से ताप प्रतिरोध R का परिचय करवाया गया है।

अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A, मोटाई L व ऊष्मा चालकता K की एक प्लेट के लिए

$$R = \frac{L}{KA} \qquad .... (4.1)$$

स्थायी अवस्था में प्लेट द्वारा प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा R के पदों में (t समय में)

$$\frac{Q}{t} = \frac{(T_H - T_C)}{R}$$

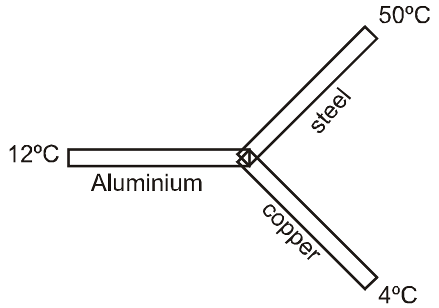
यदि हम $\frac{Q}{t}$ को तापीय धारा i_T का नाम दें

$$\text{तो,} \quad i_T = \frac{T_H - T_C}{R} \qquad ....(4.2)$$

यह गणितीय रूप में ओम के नियम के तुल्य है। तापमान, विद्युत विभव की भूमिका अदा कर रहा है। अतः ओम के नियम से व्युत्पन्न परिणाम ऊष्मीय चालन के लिए भी सत्य है। स्थायी अवस्था में एक प्लेट के लिए हम देख चुके है कि तापीय धारा i_T प्रत्येक अनुप्रस्थ काट पर समान रहती है। यह विद्युतिकी में किरचोफ के धारा के नियम के समरूप है जो अब ऊष्मीय चालन में आसानी से उपयोग किया जा सकता है।

Solved Examples

Example.2 तीन एक समान छड़ों की लम्बाई प्रत्येक 1 मी., प्रत्येक का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 1 सेमी^{2} है एवं ये ऐल्यूमिनियम तांबे व इस्पात की बनी हैं, जिनके मुक्त सिरों के ताप क्रमशः 12ºC, 4ºC व 50ºC है, पर रखे जाते है। उनकी उभयनिष्ठ संधि का ताप ज्ञात कीजिये [K_{Cu} = 400 W/m-K, K_{Al} = 200 W/m-K, K_{steel} = 50 W/m-K]

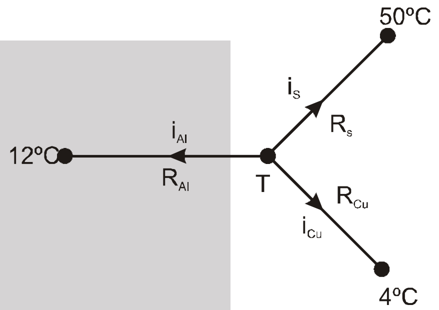


Solution : $R_{Al} = \frac{L}{KA} = \frac{1}{10^{-4} \times 200} = \frac{10^4}{200}$

इसी प्रकार $R_{steel} = \frac{10^4}{50}$ तथा $R_{Cu} = \frac{10^4}{400}$

माना कि उभयनिष्ठ संधि का ताप = T

तो किरचोफ के धारा के नियम से,



$i_{Al} + i_{steel} + i_{Cu} = 0$

$\Rightarrow \frac{T-12}{R_{Al}} + \frac{T-50}{R_{steel}} + \frac{T-4}{R_{Cu}} = 0$

$\Rightarrow$ (T – 12) 200 + (T – 50) 50 + (T – 4) 400

$\Rightarrow$ 4(T – 12) + (T – 50) + 8 (T – 4) = 0

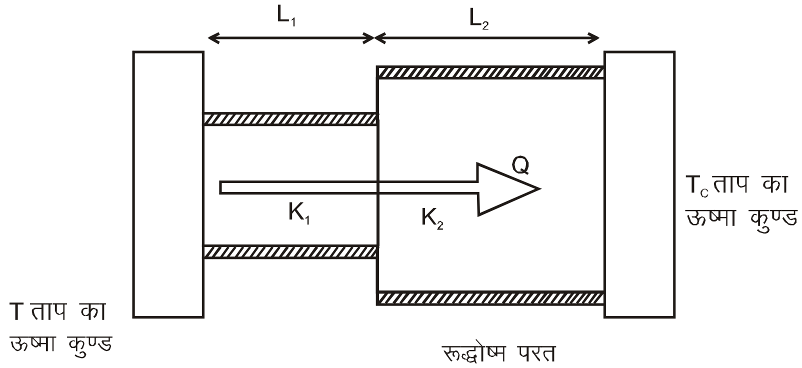
$\Rightarrow$ 13T = 48 + 50 + 32 = 130

$\Rightarrow$ T = 10ºC **Ans.**

5. समान्तर व श्रेणीक्रम में प्लेटें (SLABS IN PARALLEL AND SERIES)

5.1 श्रेणी क्रम में प्लेटें (स्थायी अवस्था में)

दो पदार्थो जिनकी मोटाई L_1 व L_2 अलग–अलग अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A_1 व A_2 तथा भिन्न ऊष्मा चालकता K_1 व K_2 हैं से बनी एक संयुक्त प्लेट पर लीजिये। बाह्य सतहों के ताप T_H व T_C रखे जाते है, एवं सभी पार्श्व सतहों पर रूद्धोष्म परत चढ़ा दी जाती है।



माना जब स्थायी अवस्था प्राप्त कर ली जाती है तो संधि का ताप T होगा, प्रत्येक प्लेट से प्रवाहित तापीय धारा समान होगी। तो प्रथम प्लेट से तापीय धारा –

$i = \frac{Q}{t} = \frac{T_H - T}{R_1}$ या $T_H - T = iR_1$ .... (5.1)

एवं द्वितीय प्लेट से

$i = \frac{Q}{t} = \frac{T - T_C}{R_2}$ या $T - T_C = iR_2$ ....(5.2)

समी. 5.1 व 5.2 को जोड़ने पर

$T_H - T_L = (R_1 + R_2)\, i$ या $i = \frac{T_H - T_C}{R_1 + R_2}$

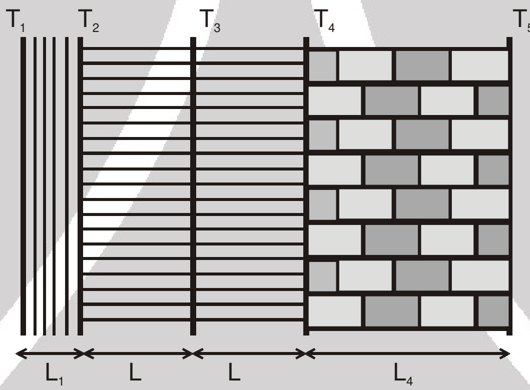
इस प्रकार दोनों प्लेटें ताप प्रतिरोध $R_1 + R_2$ की एकल प्लेट के तुल्य हैं।

यदि श्रेणीक्रम में दो से अधिक प्लेटें जोड़ी जाती हैं, एवं स्थायी अवस्था प्राप्त करने दी जाती है तो ताप प्रतिरोध व्यक्त किया जा सकता है –

$R = R_1 + R_2 + R_3 + ...$ ....(5.3)

Solved Examples

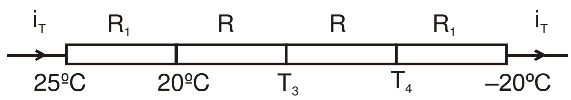
Example. 3 चित्र में एक पहाड़ी स्थल पर बने मकान की बाह्य दीवार का अनुप्रस्थ काट दिखाया गया जो मकान को बाहर के गलन ताप से अवरूद्ध रखती है दीवार की L_1 मोटाई में चीड़ की लकड़ी है एवं मोटाई $(L_2 = 5L_1)$ में ईटें है। इनके बीच समान ऊष्मा चालकता के अज्ञात पदार्थ की दो परतें है। चीड़ की लकड़ी की ऊष्मा चालकता K_1 है व ईट की $K_2 = 5K_1$ है। दीवार से चालन स्थायी अवस्था में पहुंचने के बाद तीन सतहों का तापमान ज्ञात है, $T_1 = 25^oC$, $T_2 = 20^oC$ एवं $T_5 = -20^oC$। आन्तरिक सतहों का ताप T_4 व T_3 ज्ञात कीजिये।



Solution : माना आन्तरिक सतह का क्षेत्रफल A है, तो लकड़ी का ताप प्रतिरोध $R_1 = \frac{L_1}{K_1A}$ एवं ईट की दीवार का

$R_2 = \frac{L_2}{K_2A} = \frac{5L_1}{5K_1A} = R_1$

माना बीच की प्रत्येक परत का ताप प्रतिरोध = R है, तो उपरोक्त दीवार का परिपथ की तरह विश्लेषण करने पर



प्रत्येक दीवार से तापीय धारा समान है।

अतः $\frac{25-20}{R_1} = \frac{20-T_3}{R} = \frac{T_3-T_4}{R} = \frac{T_4+20}{R_1} \Rightarrow 25 - 20 = T_4 + 20 \Rightarrow T_4 = -15^oC$ **Ans.**

also, $20 - T_3 = T_3 - T_4 \Rightarrow T_3 = \frac{20 + T_4}{2} = 2.5^oC$ **Ans.**

Example. 4 उदाहरण 3 में, K_1 = 0.125 W/m–ºC, $K_2 = 5K_1$ = 0.625 W/m–ºC एवं अज्ञात पदार्थ की ऊष्मा चालकता K = 0.25 W/mºC है। L_1 = 4cm, $L_2 = 5L_1$ = 20cm है। यदि मकान में केवल एक कमरा है जिसकी दीवारों का क्षेत्रफल 100 m^2 है, तो कमरे में उपयोग किये जा रहे विद्युत हीटर की शक्ति ज्ञात कीजिये।

Solution : **Ist method** $R_1 = R_2 = \dfrac{(4\times10^{-2}m)}{(0.125w/m{-}^{o}C)(100m^2)}$ = 32 × 10^{-4} ºC/w

$\because \dfrac{25-20}{R_1} = \dfrac{20-T_3}{R}$

$\Rightarrow L = \dfrac{17.5}{5} \times \dfrac{K}{K_1} L_1 = 28$ cm

$R = \dfrac{L}{KA} = 112 \times 10^{-4}$ ºC/W

पूरी दीवार का तुल्य ताप प्रतिरोध = $R_1 + R_2 + 2R = 288 \times 10^{-4}$ ºC/W

$\therefore$ कुल ऊष्मीय धारा, अर्थात मकान से प्रति सेकण्ड बाहर निकल रही ऊष्मा की मात्रा = $\dfrac{T_H - T_C}{R}$

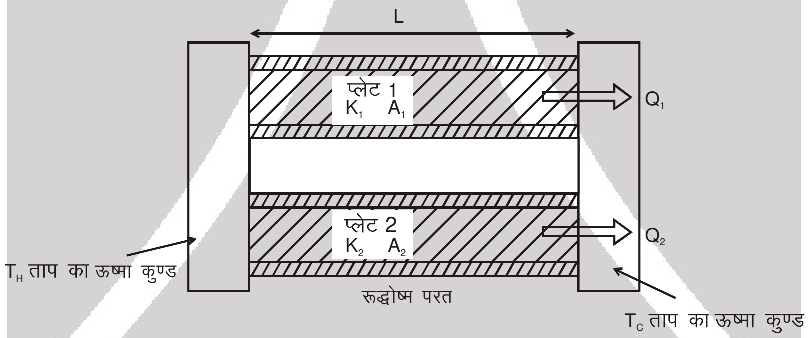
$= \dfrac{25^oC-(-20^oC)}{288\times10^{-4}\,{}^oC/w} = \dfrac{45\times10^4}{288}$ watt = 1.56 Kwatt

अतः निर्गत ऊष्मा की पूर्ति करने के लिए हीटर द्वारा 1.56 kW दी जानी चाहिये। **Ans.**

IInd method

$i = \dfrac{T_1-T_2}{R_1} = \dfrac{25-20}{32\times10^{-4}}$ = 1.56 Kwatt

5.2 समान्तर क्रम में प्लेटें :



दो ऊष्मा कुण्डों (heat reservoirs) के मध्य रखी दो प्लेटों पर विचार कीजिये। उनकी ऊष्मीय चालकता K_1 व K_2 तथा अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A_1 व A_2 है तो $R_1 = \dfrac{L}{K_1A_1}$, $R_2 = \dfrac{L}{K_2A_2}$

प्लेट 1 के द्वारा तापीय धारा $i_1 = \dfrac{T_H - T_C}{R_1}$ एवं प्लेट 2 से $i_2 = \dfrac{T_H - T_C}{R_2}$

गर्म से ठण्डे कुण्ड (reservoir) की ऊष्मीय धारा $i = i_1 + i_2 = (T_H - T_C)\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)$

$i = \dfrac{T_H - T_C}{R_{eq}}$, से तुलना करने पर हम पाते हैं

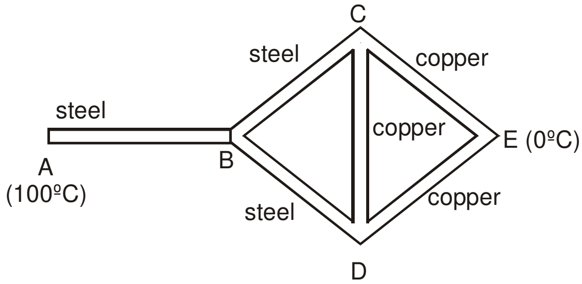
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

यदि दो से अधिक छड़ें समान्तर क्रम में जोड़ी जाती है तो तुल्य प्रतिरोध निम्न से दिया जायेगा

$$\frac{1}{R_{eq}} = + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{.......... (5.4)}$$

Solved Examples

Example. 5 ताँबें की तीन छड़े एवं इस्पात की तीन छड़ें प्रत्येक की लम्बाई ℓ = 10 सेमी. एवं अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 1 सेमी^{2} चित्रानुसार जोड़े जाते है।



यदि सिरे A व E क्रमशः ताप 125ºC व 0ºC पर रखे जाते है, तो गर्म से ठंडी संधि की ओर प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा ज्ञात कीजिये। (सारणी 3.1 का उपयोग कीजिये)

Solution : $R_{steel} = \dfrac{L}{KA} = \dfrac{10^{-1}m}{46(W/m\text{–}^{o}C)\times 10^{-4}m^2} = \dfrac{1000}{46}$ ºC/W.

इसी प्रकार $R_{Cu} = \dfrac{1000}{385}$ ºC/W

संधि C व D सभी प्रकार से एक जैसी हैं एवं दोनों संधि का ताप समान होगा। परिणाम स्वरूप छड़ CD तापीय साम्य में है एवं इससे कोई ऊष्मा प्रवाहित नहीं होगी। अतः आगे के विश्लेषण में यह छोड़ी जा सकती है। अब छड़ BC एवं CE श्रेणीक्रम में हैं व उनका तुल्य प्रतिरोध $R_1 = R_S + R_{Cu}$ है। इसी प्रकार छड़ BD व DE भी श्रेणी क्रम में हैं एवं उनका तुल्य प्रतिरोध भी $R_1 = R_S + R_{Cu}$ उतना ही होगा।

ये दोनों समान्तर क्रम में हैं जिनका तुल्य प्रतिरोध $\dfrac{R_1}{2} = \dfrac{R_S + R_{Cu}}{2}$

यह प्रतिरोध छड़ AB के साथ श्रेणीक्रम में है। अतः संयोजन का तुल्य प्रतिरोध होगा

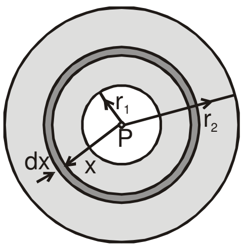
$$R = R_{steel} + \frac{R_1}{2} = \frac{3R_{steel} + R_{Cu}}{2} = 500\left(\frac{3}{46} + \frac{1}{385}\right)^{o}C/W$$

$$\text{अब } i = \frac{T_H - T_C}{R} = \frac{100\ ^{o}C}{500\left(\dfrac{3}{46} + \dfrac{1}{385}\right)^{o}C/W} = \frac{46 \times 385}{5(385 \times 3 + 46)} \text{ Watt.} = 2.95 \text{ Watt.}$$ **Ans.**

Example. 6 दो पतले संकेन्द्रीय कोश तांबे से बने हैं जिनकी त्रिज्या r_1 व r_2 ($r_2 > r_1$) है। उनके मध्य K ऊष्मा चालकता का पदार्थ भरा है। दोनों गोलो के केन्द्र पर P शक्ति के एक हीटर द्वारा आन्तरिक व बाह्य गोलों को क्रमशः T_H व T_C ताप पर रखा जाता है। P का मान ज्ञात कीजिये।

Solution : गोले के प्रत्येक अनुप्रस्थ काट से प्रति सेकण्ड प्रवाहित ऊष्मा = P = i.

x त्रिज्या व dx मोटाई के गोलीय कोश का ताप प्रतिरोध होगा



$$dR = \frac{dx}{K.4\pi x^2} \quad \Rightarrow \quad R = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dx}{4\pi x^2.K} = \frac{1}{4\pi K}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\text{तापीय धारा } i = P = \frac{T_H - T_C}{R} = \frac{4\pi K(T_H - T_C)\ r_1\ r_2}{(r_2 - r_1)}.$$ **Ans.**

Example 7. नगण्य ऊष्मा धारिता के एक पात्र में 1 किग्रा. जल है। इसे एक इस्पात की छड़ लम्बाई 10 मी. व अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 10 सेमी.^{2} के द्वारा एक बड़े भाप के कक्ष से जोड़ा जाता है जिसका ताप 100ºC रखा जाता है। यदि जल का प्रारम्भिक ताप 0ºC है, तो वह समय ज्ञात कीजिये जिसके बाद यह 50ºC हो जाता है। (इस्पात की छड़ की ऊष्मा धारिता नगण्य मानिये एवं यह मानिये कि वातावरण को ऊष्मा क्षय नहीं होता) (सारणी 3.1 का उपयोग कीजिये एवं जल की विशिष्ट ऊष्मा = 4180 J/Kg°C लें)

Solution : माना t समय पर जल का ताप T है तो t समय पर ऊष्मीय धारा $i = \left(\frac{100 - T}{R}\right)$

यह जल का ताप T से T + dT तक बढ़ाती है।

$$\Rightarrow \quad i = \frac{dH}{dt} = ms\frac{dT}{dt} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{100 - T}{R} = ms\frac{dT}{dt}$$

$$\Rightarrow \quad \int_0^{50} \frac{dT}{100 - T} = \int_0^t \frac{dT}{Rms} \qquad \Rightarrow \qquad -\ell n\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{t}{Rms}$$

or $\quad t = \text{Rms } \ell n2 \text{ sec} = \frac{L}{KA} \text{ ms } \ell n2 \text{ sec}$

$$= \frac{(10\text{m})\ (1\ \text{kg})(4180\ \ \text{J/kg–°C})}{46(\text{w/m}\ \ \text{°C})\times(10\times10^{-4}\text{m}^2)} \ell n2 = \frac{418}{46}(0.69) \times 10^5 = 6.27 \times 10^5 \text{ sec} = 174.16 \text{ hours}$$ **Ans.**

क्या आप निम्न तथ्यों को देखकर इनको ऊष्मीय चालन के आधार पर समझा सकते है ?

(a) जाड़ों में लोहे की कुर्सियां लकड़ियों की कुर्सियों से ज्यादा ठण्डी प्रतीत होती है।
(b) पिघलने से रोकने के लिए बर्फ को बोरे से ढका जाता है
(c) ऊनी कपड़े गर्म होते है।
(d) फर वाले कोट में हम गर्मी महसूस करते है।
(e) दो पतले कम्बल, दुगुनी मोटाई के एक कम्बल से ज्यादा गर्मी देते हैं।
(f) जाड़ों में चिडियाँ अपने पंख फैला लेती है।
(g) नई रजाई, पुरानी रजाई से ज्यादा गर्म होती है।
(h) केटली में लकड़ी के हत्थे लगाये जाते है।
(i) एस्किमों दोहरी दीवार के बर्फ के घर बनाते है।
(j) अन्दर, बाहर से ऊष्मा संचरण को रोकने के लिए थर्मस फ्लास्क दो दीवारों का बनाया जाता है।

6. संवहन *(not in JEE Syllabus)

जब द्रव में एक स्थान से दूसरे स्थान तक उष्मा प्रवाह ऊष्मीय अणुओं की वास्तविक गति के कारण होता है तो इस प्रक्रम को संवहन कहते है। द्रव तथा गैसों में कुछ उष्मा, चालन के द्वारा भी प्रवाहित होती है परन्तु अधिकांश ऊष्मा संवहन के द्वारा प्रवाहित होती हैं। संवहन पृथ्वी के गुरूत्वीय प्रभाव के कारण उत्पन्न होता है। साधारणतया द्रव का उच्चताप वाला भाग विरल होता है। जबकि निम्न ताप वाला भाग सघन होता है। अतः संवहन के आधार पर गर्म द्रव ऊपर उठता है। जबकि ठण्डा द्रव नीचे बैठता है। गुरूत्व की अनुपस्थिति में संवहन सम्भव नहीं है।

जल का यह विपरीत (anamalous) व्यवहार (0-4ºC ताप के मध्य इसका घनत्व बढ़ता है) जिसके कारण रूचिकर घटनायें उत्पन्न होती है साथ ही संवहन की प्रक्रिया होती है। इनमें से एक रूचिकर घटना ध्रुवों पर जल के अन्दर जीवन है। दूसरा वर्षा चक्रक है।

क्या आप निम्न तथ्यों को देखकर इनको ऊष्मीय संवहन के आधार पर समझा सकते है ?

(a) समुद्र का पानी सतह पर बर्फ के रूप में जम जाता है, जबकि तल का पानी नहीं जमता।
(b) गहरे समुद्रों के तल पर पानी का तापमान 4ºC के लगभग रहता है। चाहे वातावरण गर्म हो या ठण्डा हो।
(c) मुक्त रूप से गिरती हुई लिफ्ट अथवा पृथ्वी के कृत्रिम उपग्रह में मोमबत्ती नहीं जला सकते है।
(d) आप अपने कमरे को मोमबत्ती के द्वारा प्रकाशित कर सकते है।

7. विकिरण

विकिरण प्रक्रम में एक स्थान से दूसरे स्थान तक ऊष्मा प्रवाह माध्यम को बिना गर्म करे ही प्रवाहित होती है। यहां पर प्रयुक्त विकिरण शब्द के लिए एक दूसरा शब्द विद्युत चुम्बकीय तरंगे है।

ये तरंगे वि. क्षेत्र तथा लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्रों के अध्यारोपण से बनती है तथा ऊर्जा प्रवाहित करती है।

विकिरण के गुणधर्म :

(a) साधारतया सभी वस्तुऐं विकिरण उत्सर्जित करती है क्योंकि इनका तापमान परम शून्य ताप से ज्यादा होता है और सभी वस्तुऐं अपने ऊपर दूसरी वस्तुओं के द्वारा आपतित कुछ विकिरणों को अवशोषित करते है।

(b) मैक्सवेल ने अपनी विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त के आधार पर समझाया कि सभी विकिरणें विद्युत चुम्बकीय तरंगें होती है और इनके स्त्रोत अणुओं व परमाणुओं के कम्पन्न करते हुए आवेशित कण होते है।

(c) उच्च तापमान पर वस्तु अधिक विकिरण उत्सर्जित करती है। तथा निम्न तापमान पर कम विकिरण उत्सर्जित करती है।

(d) अधिकतम विकिरण उत्सर्जन के संगत तरंगदैर्ध्य में विस्थापन तापमान बढ़ने के साथ अधिकतम तरंगदैर्ध्य से निम्न तरंग दैर्ध्य की ओर विस्थापित होती है। इस कारण वस्तु के रंग में परिवर्तन प्रतीत होता है। NTP पर वस्तु द्वारा उत्सर्जित विकिरणें अवरक्त तरंगे होती है।

(e) ऊष्मीय विकिरण प्रकाश की चाल से और सीधी रेखा में गति करती है।

(f) विकिरणें विद्युत चुम्बकीय तरंगें होती है तथा ये निर्वात में गति कर सकती है।

(g) प्रकाश की तरह उष्मीय विकिरण परावर्तन, अपवर्तन विवर्तन तथा ध्रुवण प्रदर्शित कर सकती है।

(h) बिन्दु स्त्रोत से उत्सर्जित विकिरण व्युत्क्रम वर्ग के नियम का पालन करती है। (तीव्रता $\alpha \frac{1}{r^2}$).

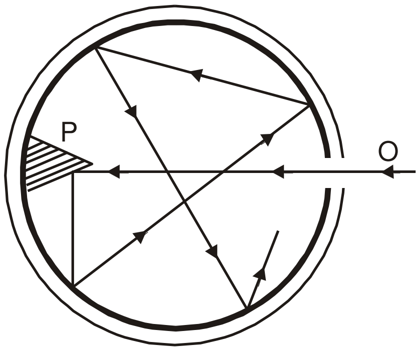
8. प्रीवोष्ट का ऊष्मा विनिमय का नियम

इस सिद्धान्त के अनुसार सभी वस्तुएँ सभी तापमानों पर उष्मीय विकिरण उत्सर्जित करती है। एकांक समय में उत्सर्जित उष्मीय विकिरण की मात्रा उत्सर्जक सतह की प्रकृति, सतह के क्षेत्रफल तथा सतह के तापमान पर निर्भर करती है। उच्च तापमान पर विकिरण की दर तीव्र होती है। जबकि वस्तु उसके चारों तरफ स्थित वस्तुओं द्वारा उत्सर्जित विकिरण की कुछ मात्रा अवशोषित भी करती है। यदि कोई वस्तु अवशोषण से ज्यादा उत्सर्जित करती है तो उसका तापमान गिरता है तथा तब कोई वस्तु अवशोषण से कम उत्सर्जित करती है तो उसका तापमान बढ़ता है और यदि वस्तु का ताप वातावरण के ताप के बराबर है तो यह उतनी ही दर से विकिरण उत्सर्जित करतीहै जितनी यह अवशोषित करती है।

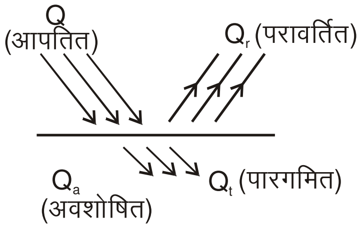
9. आदर्श कृष्णिका और काली वस्तु से विकिरण उत्सर्जन (फेरी की कृष्णिका)

एक आदर्श कृष्णिका अपने ऊपर आपतित सभी तरंग दैर्ध्यो की विकिरणों को अवशोषित कर लेती है। ना तो यह परावर्तित करती है और ना ही अपने ऊपर आपतित विकिरण को पारगमित करती है। अतः यह आपतित विकिरणों के किसी भी रंग के लिए काली प्रतीत होती है। वास्तव में कोई भी वास्तविक वस्तु आदर्श कृष्णिका की तरह व्यवहार नहीं करती है। परन्तु काजल तथा प्लेटिनम कालिख कृष्ण वस्तु की तरह व्यवहार करते है। ये आपतित विकिरणों का 99% तक अवशोषित कर लेते है। सबसे सरल व सर्वाधिक प्रयुक्त कृष्णिका फेरी द्वारा बनाई गई है।

यह एक अल्प खुले भाग वाली वस्तु होती है।जो कि अन्दर से काली पुती हुई होती है। खुला सिरा आदर्श काली वस्तु की तरह व्यवहार करता है। इसके अन्दर विकिरण जाने के पश्चात बाहर निकलने के पहले सम्पूर्ण विकिरण उत्तरोतर परार्वतन के कारण अवशोषित हो जाती है। खुले सिरे के सामने शंकू के कारण कोई भी विकिरण बाहर नहीं निकलती ।



10. विकिरणों का अवशोषण, परावर्तन और पारगमन



$Q = Q_r + Q_t + Q_a$

$$1 = \frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_t}{Q} + \frac{Q_a}{Q}$$

$1 = r + t + a$

जहाँ r = परावर्तन क्षमता, a = अवशोषण क्षमता

और t = पारगमन क्षमता

(i) r = 0, t = 0, a = 1, आदर्श कृष्ण वस्तु

(ii) r = 1, t = 0, a = 0, पूर्ण परावर्तक

(iii) r = 0, t = 1, a = 0, पूर्ण पारगमित

10.1 अवशोषण क्षमता

किसी भी वस्तु की अवशोषण क्षमता को अवशोषित ऊर्जा तथा आपतित ऊर्जा के अनुपात के रूप में परिभाषित करते है।

$$a = \frac{\text{अवशोषित ऊर्जा}}{\text{आपतित ऊर्जा}}$$

वस्तु के ऊपर आपतित सभी विकिरणें अवशोषित हो जाती हो तो कृष्ण वस्तु के लिए a = 1 होगा।

10.2 उत्सर्जन क्षमता

क्षेत्रफल के लम्बवत् एकांक समय में एकांक क्षेत्रफल से ये उत्सर्जित ऊर्जा, उत्सर्जन क्षमता कहलाती हैं।

$$E = \frac{Q}{\Delta A \ \ \Delta t}$$

(नोट– अवशोषण क्षमता, उत्सर्जन क्षमता विमाहीन राशि नहीं है)

10.3 स्पेक्ट्रमी उत्सर्जन क्षमता

तरंग दैर्ध्य λ पर, प्रति इकाई तरंग दैर्ध्य परास के लिए उत्सर्जन क्षमता, स्पेक्ट्रमी उत्सर्जन क्षमता कहलाती है। यदि E सम्पूर्ण उत्सर्जन क्षमता तथा E_λ स्पेक्ट्रमी उत्सर्जन क्षमता हो तो इनके बीच सम्बन्ध

$$E = \int_0^\infty E_\lambda \, d\lambda \ \text{तथा} \ \frac{dE}{d\lambda} = E_\lambda$$

10.4 उत्सर्जकता

$$e = \frac{T \ \text{तापमान पर वस्तु की उत्सर्जन क्षमता}}{T \ \text{तापमान पर कृष्ण वस्तु की उत्सर्जन क्षमता}} = \frac{E}{E_0}$$

11. किरचौफ का नियम

सभी वस्तुओं के लिए समान तापमान पर दी गई सभी तरंगदैर्ध्य के लिए उत्सर्जन क्षमता व अवशोषण क्षमता का अनुपात, समान तरंगदैर्ध्य व समान तापमान पर कृष्णिका के लिए उत्सर्जन क्षमता के बराबर होता है।

$$\frac{E \ (\text{वस्तु})}{a \ (\text{वस्तु})} = E \ (\text{कृष्ण वस्तु})$$

अतः हमेशा अच्छे उत्सर्जक, अच्छे अवशोषक भी होते है।

12. ऊष्मीय विकिरण की प्रकृति (वीन का विस्थापन नियम)

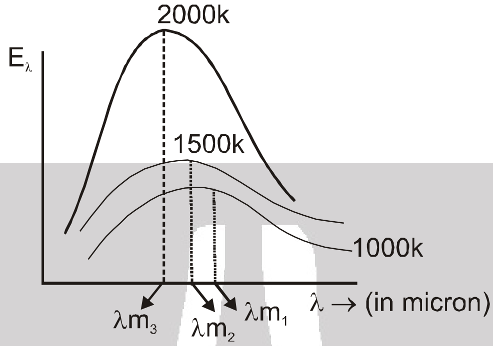
कृष्ण वस्तु के उर्जा वितरण वक्र से निम्न निष्कर्ष निकलते हैं।

(a) वस्तु के उच्च तापमान पर वक्र के नीचे का क्षेत्रफल अत्यधिक होता है। अतः उच्च तापमान पर वस्तु अत्यधिक मात्रा में ऊर्जा उत्सर्जित करती है।

(b) भिन्न भिन्न तापमानों पर वस्तु द्वारा उत्सर्जित उर्जा असमान होती है। लम्बी व छोटी तरंगदैर्ध्य के लिए उत्सर्जित उर्जा बहुत कम होती है।

(c) दिये गये तापमान पर, एक निश्चित तरंगदैर्ध्य (λ_m) पर उत्सर्जित उर्जा (E_λ) अधिकतम होती हैं।

(d) जब कृष्ण वस्तु का तापमान बढ़ाया जाता है।
वक्र का उच्चिष्ठ मान कम तरंगदैर्ध्य की तरफ विस्थापित होता हैं।



ऊपर समझायें गये कृष्णिका के ऊर्जा वितरण से यह सिद्ध होता है कि कृष्णिका का तापमान बढ़ाने पर आपतित अधिकतम तीव्रता के संगत तरंगदैर्ध्य का मान घटता है।

अर्थात $\lambda_m \propto \frac{1}{T}$ या $\lambda_m T = b$

(वीन विस्थापन स्थिरांक) b = 0.282 cm-K

Solved Examples

Example. 8 सूर्य विकिरण कि अधिकतम् तीव्रता 470 nm परास तरंग दैर्ध्य के संगत मिलती है। सूर्य की सतह को पूर्ण अवशोषक (a = 1) मान सकते है। सूर्य की सतह का ताप ज्ञात करो

Solution : चूंकि a =1है,सूर्य को काली वस्तु की तरह उत्सर्जित करते हुए मान सकते है।
काली वस्तु के लिए वीन के नियम से $\lambda_m . T = b$

$$\Rightarrow \quad T = \frac{b}{\lambda_m} = \frac{0.282 \ (cm-K)}{(470 \times 10^{-7} cm)} \simeq 6000 \text{ K.}$$ **Ans.**

13. स्टीफन बोल्टजमेन का नियम

इस नियम के अनुसार किसी पृष्ठ के प्रति एकांक क्षेत्रफल से ऊष्मा विकिरण की मात्रा पृष्ठ के परम ताप की चतुर्थ घात के समानुपाती होता है। काली वस्तु के लिए एकांक समय व एकांक क्षेत्रफल से विकिरित ऊर्जा,

$$u = \sigma A T^4 \quad .....(13.1)$$

यहाँ σ स्टीफन नियतांक = 5.67×10^{-8} W/m^2 k^4

चूंकि कोई वस्तु जो कृष्णिका नहीं है समीकरण (13.1) में दी गई विकिरण से कम अवशोषित व उत्सर्जित करती है।

ऐसी वस्तु के लिए, $u = e\sigma AT^4$ .....(13.2)

यहाँ e = उत्सर्जकता (अवशोषण क्षमता के बराबर होती है।) इसका मान 0 से 1 के बीच होता है।

यदि वातावरण का ताप T_0 हो, तो क्षेत्रफल A द्वारा एकांक समय में उत्सर्जित कुल ऊर्जा

$$\Delta u = u - u_0 = e\sigma A(T^4 - T_0^4) \quad .....(13.3)$$

Solved Examples

Example. 9 एक वस्तु की उत्सर्जकता (e = 0.75) सतह क्षेत्रफल 300 cm^2 और 227º तापमान पर 27º तापमान के कमरे मे रखी जाती है। वस्तु द्वारा उत्सर्जित प्रारम्भिक कुल शक्ति का मान ज्ञात करो?

Solution : समीकरण 13.3 के प्रयोग से

$P = \rho\sigma A\,(T^4 - T_0^4)$

$= (0.75)\,(5.67 \times 10^{-8}\ W/m^2 - K^4)\,(300 \times 10^{-4}\ m^2) \times \{(500\ K)^4 - (300\ K)^4\} =$ 69.4 Watt. **Ans.**

Example. 10 एक गर्म कृष्णिका 16 J $m^{-2}\ s^{-1}$ की दर से ऊर्जा उत्सर्जित करती है तथा उसकी सबसे सघन विकिरण 20,000 Å है। जब वस्तु का तापमान और बढ़ाया जाता है तो इसकी सबसे सघन विकिरण 10,000 Å, हो जाती है तो उत्सर्जित ऊर्जा का मान $Jm^{-2}\ s^{-1}$ में ज्ञात करो।

Solution : वीन के विस्थापन नियम से : $\lambda_m . T = b$

i.e. $T \propto \dfrac{1}{\lambda_m}$

जब, λ_m आधी होती है–

$\therefore$ तापमान दुगुना हो जाता है।

तथा $e = \sigma T^4$

$\Rightarrow \dfrac{e_1}{e_2} = \left(\dfrac{T_1}{T_2}\right)^4 \Rightarrow e_2 = \left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^4 . e_1 = (2)^4 . 16 = 16.16 = 256\ J\ m^{-2}\ s^{-1}$ **Ans.**

14. न्यूटन का शीतलन का नियम :

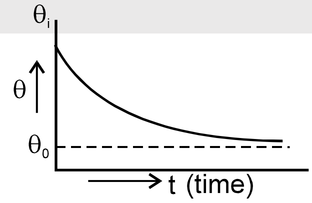
वस्तु व वातावरण के मध्य अल्प तापान्तर के लिए किसी वस्तु की ऊष्मा हास की दर, आस–पास की वस्तुओं से उसके तापान्तर तथा प्रयुक्त सतह क्षेत्रफल के समानुपाती होती है

अर्थात $\dfrac{d\theta}{dt} \propto (\theta - \theta_0)$, यहाँ θ व θ_0 क्रमशः वस्तु तथा वातावरण के तापमान है।

उपरोक्त सम्बन्ध से, $\dfrac{d\theta}{dt} = -k(\theta - \theta_0)$ .....(14.1)

यह व्यंजक न्यूटन का शीतलन के नियम को प्रदर्शित करता है। इसको स्टीफन के नियम द्वारा भी प्राप्त कर सकते है। इसके द्वारा

$k = \dfrac{4e\sigma\theta_0^3}{mc} A$ .....(14.2)



अतः $\dfrac{d\theta}{dt} = -k[\theta - \theta_0] \quad \Rightarrow \quad \displaystyle\int_{\theta_i}^{\theta_f} \dfrac{d\theta}{(\theta - \theta_0)} = \int_0^t -k\ dt$

यहां θ_i = वस्तु का प्रारम्भिक तापमान तथा θ_f = वस्तु का अन्तिम तापमान

$\Rightarrow \ell n \dfrac{(\theta_f - \theta_0)}{(\theta_i - \theta_0)} = -kt \Rightarrow (\theta_f - \theta_0) = (\theta_i - \theta_0)\, e^{-kt}$

$\Rightarrow \theta_f = \theta_0 + (\theta_i - \theta_0)\, e^{-kt}$ ..... (14.3)

14.1 न्यूटन के शीतलन के नियम की सीमाऐं

(a) वस्तु तथा वातावरण के मध्य तापान्तर अल्प होना चाहिए

(b) ऊष्मा हास केवल और केवल विकिरण द्वारा होना चाहिए।

(c) वस्तु के शीतलन के दौरान वातावरण का ताप नियत रहना चाहिए

14.2 न्यूटन के शीतलन के नियम के प्रयोग के लिए लगभग विधि

कुछ समय के लिए जब हमे न्यूटन के नियम के लिए लगभग विधि की आवश्यकता होती है। तो हम शीतलन की दर को नियत मान सकते है जो कि इस अन्तराल मे औसत तापमान के संगत शीतलन की दर के बराबर होती है

$$\left\langle \frac{d\theta}{dt} \right\rangle = -k(<\theta> - \theta_0) \qquad .....(14.4)$$

यदि θ_i व θ_f वस्तु के प्रारम्भिक व अन्तिम तापमान हो तो $<\theta> = \frac{\theta_i + \theta_f}{2}$.

समीकरण 14.4 लगभग मान देता है और समीकरण 14.1 का प्रयोग यथार्थ मान के लिए करते है।

Solved Examples

Example 11 40ºC ताप की वस्तु 20ºC नियत ताप के वातावरण मे रखी है। यह पाया जाता है कि इसका ताप 10 मिनट में 35ºCतक गिर जाता है। तो 30ºC ताप प्राप्त करने के लिए लिया गया अतिरिक्त समय ज्ञात करो

Solution : समीकरण 14.3 से $\Delta\theta_f = \Delta\theta_i\, e^{-kt}$

अन्तराल जिसमें ताप 40 से 35º C तक गिरता है के लिए $(35 - 20) = (40 - 20)\, e^{-k.10}$

$$\Rightarrow e^{-kt} = \frac{3}{4} \qquad \Rightarrow \qquad K = \frac{\ell n \frac{4}{3}}{10}$$

अगले अन्तराल के लिए

$$(30 - 20) = (35 - 20)e^{-kt} \Rightarrow \qquad e^{-10k} = \frac{2}{3}$$

$$\Rightarrow kt = \ell n \frac{3}{2} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\left(\ell n \frac{4}{3}\right) t}{10} = \ell n\, \frac{3}{2}$$

$$\Rightarrow t = 10\, \frac{\left(\ell n \frac{3}{2}\right)}{\left(\ell n \frac{4}{3}\right)} \text{ मिनिट} = 14.096 \text{ मिनिट}$$ **Ans.**

अन्यविधि : (लगभग विधि से)

तापमान 40 से 35ºC तक गिरने के अन्तराल के लिए $<\theta> = \frac{40 + 35}{2} = 37.5ºC$

समीकरण (14.4) से $\left\langle \frac{d\theta}{dt} \right\rangle = -k(<\theta> - \theta_0)$

$$\Rightarrow \frac{(35^\circ C - 40^\circ C)}{10(\min)} = -K(37.5ºC - 20ºC) \qquad \Rightarrow \qquad K = \frac{1}{35}(\min^{-1})$$

तापमान 35ºC से 30ºC तक गिरने के अन्तराल के लिए $<\theta> = \frac{35 + 30}{2} = 32.5ºC$

समीकरण (14.4) से

$\frac{(30^\circ C - 35^\circ C)}{t} = -(32.5ºC - 20ºC)\,K \Rightarrow$ आवश्यक समय $t = \frac{5}{12.5} \times 35 \min$ = 14 मिनिट **Ans.**

Exercise-1

✎ चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

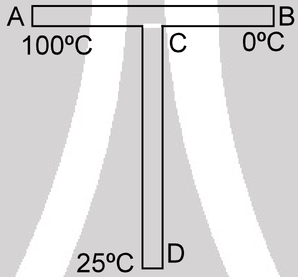
भाग - I : विषयात्मक प्रश्न (SUBJECTIVE QUESTIONS)

खण्ड (A) : रेखीय चालकों में स्थायी अवस्था में ऊष्मीय चालन

A-1. विमाओं 10cm × 10cm × 1cm की एक समरूप प्लेट, 10ºC व 90ºC के दो ऊष्मा ग्राही के मध्य रखी जाती हे जिसका अधिकतम क्षेत्रफल ऊष्मा ग्राही को स्पर्श करता है। पदार्थ की ऊष्मीय चालकता 0.80 W/m–ºC है। प्लेट से प्रति सैकण्ड प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा ज्ञात कीजिये।

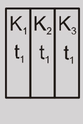
A-2. 1.0 m लम्बाई की स्टील की छड़ (K = 42 J/m–s–ºC) का एक सिरा 0ºC पर बर्फ में रखा जाता है तथा दूसरा सिरा 100°C पर उबलते जल में रखा जाता है। छड़ का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 0.04 cm^2 है। यह मानते हुये कि वातावरण में ऊष्मीय हानि नहीं होती है, तो प्रति सेकण्ड पिघल रहे बर्फ का द्रव्यमान ज्ञात कीजिये। बर्फ के गलन की गुप्त ऊष्मा = 3.36×10^5 J/kg है।

A-3. ऊष्मीय प्रतिरोध 5.0 K/W की एक छड़ CD एकसमान छड़ AB के मध्य में चित्रानुसार जोड़ी जाती है। सिरे A, B तथा D का ताप क्रमशः 100ºC, 0ºC व 25ºC हैं। CD में ऊष्मीय धारा ज्ञात करो।



A-4. एक अर्द्धवृत्ताकार छड़ इसके सिरों पर समान पदार्थ व समान अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल की एक सीधी छड़ से जोड़ी जाती है। सीधी छड़ दूसरी छड़ का व्यास बनाती हे। संधियाँ भिन्न–भिन्न तापों पर रखी जाती है। अर्द्धवृत्ताकार छड़ के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल से व सीधी छड़ के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल से दिये गये समय में पारित ऊष्मा का अनुपात ज्ञात कीजिए।

A-5. समान पृष्ठीय क्षेत्रफल परन्तु भिन्न चालकता k_1, k_2, k_3 एवं भिन्न मोटाई t_1, t_2, t_3 की तीन पट्टिकायें निकट सम्पर्क में रखी जाती है। स्थायी अवस्था के बाद यह संयोजन एक पट्टिका की तरह व्यवहार करता है। इसकी प्रभावी ऊष्मीय चालकता ज्ञात कीजिये।



खण्ड (B) : स्थायी अवस्था पर अरेखीय चालकों में ऊष्मा चालन

B-1.✎ एक 5 सेमी. त्रिज्या के धातु के गोले के चारों ओर 20 सेमी त्रिज्या का धातु का संकेन्द्रीय खोखला गोला है। दोनों गोलों के मध्य अधात्वीय पदार्थ भरा है। आन्तरिक एवं बाह्य गोले क्रमशः 50°C व 10°C पर रखे जाते है एवं यह पाया जाता है कि आन्तरिक गोले से बाह्य गोले की ओर 160 π जूल ऊष्मा प्रति सेकण्ड त्रिज्यीय रूप से प्रवाहित होती है। दोनों गोलों के मध्य के पदार्थ की ऊष्मीय चालकता ज्ञात कीजिये।

B-2. एक खोखली नली की लम्बाई ℓ, आन्तरिक त्रिज्या R_1 एवं बाह्य त्रिज्या R_2 है। पदार्थ की ऊष्मीय चालकता K है। यदि नली के अन्दर ताप T_1 व बाहर T_2 बना रहता है तो नली की दीवारों से प्रति सेकण्ड प्रवाहित ऊष्मा ज्ञात कीजिये। [माना $T_2 > T_1$]

खण्ड (C) : उन चालको के द्वारा ऊष्मा चालन जिन्होंने स्थायी अवस्था प्राप्त नहीं की है।

C-1. अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 1.0 cm^2 की एक धातु की छड़ एक सिरे पर गर्म की जाती है। किसी समय अनुप्रस्थ काट A पर ताप प्रवणता 5.0°C/सेमी एवं अनुप्रस्थ काट B पर ताप प्रवणता 2.6 °C/सेमी. है। वह दर ज्ञात कीजिये जिस पर छड़ के AB भाग में ताप बढ़ रहा है। भाग AB की ऊष्मीय धारिता 0.40 J/°C, छड़ के पदार्थ की ऊष्मीय चालकता 200 W/m–°C है। वातावरण में ऊष्मा हानि को नगण्य मानिये।

खण्ड (D) : विकिरण,स्टीफन का नियम एवं वीन का नियम

D-1. जब किसी वस्तु पर विकिरण के q_1 जूल आपतित होते है तो यह इसमें से कुल q_2 जूल परावर्तित और पारगमित करती है। वस्तु की उत्सर्जकता ज्ञात कीजिये।

D-2. 1 सेमी^{2} पृष्ठीय क्षेत्रफल की एक कृष्णिका एक बन्द पात्र में रखी है। बन्द पात्र का नियत ताप 27ºC है एवं कृष्णिका को विद्युत द्वारा ऊष्मा देकर 327ºC पर रखा जाता है ताप को बनाये रखने के लिए कितनी विद्युत शक्ति चाहिये ?
$\sigma = 6.0 \times 10^{-8}$ W/m^2 –K^4.

D-3. उस ताप का अनुमान लगाइये जिस पर वस्तु नीली या लाल दिखाई देती है। इनके लिये $\lambda_{\text{माध्य}}$ क्रमशः 5000 Å एवं 7500 Å है। [दिया गया है वीन का नियतांक b = 0.3 cm K]

D-4 नगण्य ऊष्मा धारिता के एक पात्र में भरे गरम द्रव का ताप, वातावरण को ऊष्मा उत्सर्जन के कारण 3 K /min की दर से गिरता है। ठोस अवस्था में आने के ठीक पूर्व 30 min के लिये ताप नियत रहता है। इस समय में सम्पूर्ण द्रव ठोस बन जाता है। द्रव की विशिष्ट ऊष्मा धारिता तथा जमने की विशिष्ट गुप्त ऊष्मा का अनुपात .... होगा ।

D-5. पृथ्वी अपनी सतह पर सूर्य से 1400 Wm^{-2} विकीरण प्राप्त करती है। सूर्य के केन्द्र से पृथ्वी सतह के बीच की दूरी 1.5×10^{11} m तथा सूर्य की त्रिज्या 7×10^8 m है। सूर्य को कृष्ण वस्तु मानते हुए सूर्य का तापमान ज्ञात करो।

D-6 r त्रिज्या को ठोस तांबे का गोला (घनत्व ρ तथा विशिष्ट ऊष्मा c) प्रारम्भ में 200 K ताप पर 0 K ताप वाले पात्र के अन्दर लटका हुआ है, तो गोले का ताप 100 K होने में लगा समय ज्ञात करो। (गोले को कृष्ण वस्तु मानिए)

खण्ड (E) : न्यूटन का शीतलन का नियम

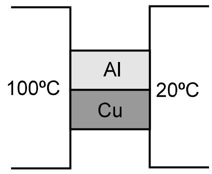
E-1. एक द्रव 70ºC से 60ºC तक 5 मिनट में ठंडा होता है। वह समय ज्ञात कीजिये जिसमें यह और 50ºC तक ठंडा होता है। यदि इसके परिवेश (वातावरण) का ताप 30ºC पर नियत रखा जाता है।

भाग - II : केवल एक सही विकल्प प्रकार

खण्ड (A) : रेखीय चालकों में स्थायी अवस्था में ऊष्मीय चालन

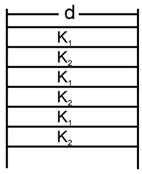
A-1. एक दीवार की दो परतें A व B हैं प्रत्येक भिन्न पदार्थ की बनी है। दोनों परतों की मोटाई समान है। A की ऊष्मा चालकता, B से दुगुनी है। स्थायी अवस्था में पूरी दीवार पर तापान्तर 36°C है तो A दीवार पर तापान्तर है –
(A) 6°C (B) 12°C (C) 18°C (D) 24°C

A-2. 3 सेमी किनारे के दो धात्वीय घन तांबे व ऐल्यूमिनियम के चित्रानुसार व्यवस्थित है (मानना है कि खुली सतह से किसी भी ऊष्मा की हानि नही होगी) (K_{CU} =385 W/m-K, K_{AL} = 209 W/m-K)
(a) एक कुण्ड (reservoir) से दूसरे की ओर कुल तापीय धारा है –



(A) 1.42×10^3 W (B) 2.53×10^3 W (C) 1.53×10^4 W (D) 2.53×10^4 W
(b) तांबे के घन द्वारा ले जायी गई व ऐल्यूमिनियम के घन द्वारा ले जायी गई ऊष्मीय धारा का अनुपात है–
(A) 1.79 (B) 1.69 (C) 1.54 (D) 1.84

A-3. एक दीवार में एक के बाद एक 'd' लम्बाई व ऊष्मीय चालकता गुणांक k_1 व k_2 के गुटके एकान्तर रूप से रखें हैं। गुटकों का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल समान है। बांयी तथा दायी ओर के मध्य दीवार का तुल्य ऊष्मा चालकता गुणांक है



(A) $K_1 + K_2$ (B) $\frac{(K_1+K_2)}{2}$ (C) $\frac{K_1\ K_2}{K_1+K_2}$ (D) $\frac{2\ K_1\ K_2}{K_1+K_2}$

A-4. एक वाष्पक (Boiler) 2.4 mm मोटी तांबे की प्लेट से बना है जिसके अन्दर 0.2 mm मोटी टिन की परत है। 400 cm^2 का पृष्ठीय क्षेत्रफल 700°C की गैसों के संपर्क में है। वायुमण्डलीय दाब पर प्रति घण्टा उत्पन्न वाष्प की अधिकतम मात्रा है। (K_{cu} = 0.9 और K_{tin} = 0.15 cal/cm/s/°C और L_{steam} = 540 cal/g)

(A) 5000 Kg (B) 1000 kg (C) 4000 kg (D) 200 kg

A-5. एक झील की सतह वातावरण में खुली है जहाँ ताप < 0°C है। सतह पर बनी बर्फ की परत की मोटाई 2 सेमी से 4 सेमी. तक बढ़ने में 1 घण्टा लगता है तो, वातावरण का ताप T_a होगा (बर्फ की ऊष्मा चालकता K = 4 x 10^{-3} cal/cm/s/°C; बर्फ का घनत्व = 0.9 gm/cc. है। बर्फ के गलन की गुप्त ऊष्मा = 80 cal/gm है। अवस्था परिवर्तन में घनत्व परिवर्तन को नगण्य मानिये। बर्फ के नीचे जल का ताप प्रत्येक स्थान पर 0ºC मानिये।)

(A) – 20 °C (B) 0 °C (C) – 30 °C (D) – 15 °C

खण्ड (B) : स्थायी अवस्था पर अरेखीय चालकों में ऊष्मा चालन

B-1. आन्तरिक त्रिज्या R_1 व बाह्य त्रिज्या R_2 के एक गोलीय कोश के द्वारा ऊष्मा त्रिज्यीय बाहर की ओर प्रवाहित होती है। यदि कोश की आन्तरिक सतह का ताप θ_1 तथा बाहरी सतह का θ_2 है। कोश के केन्द्र से त्रिज्यीय दूरी जहाँ ताप θ_1 व θ_2 का माध्य है–

(A) $\frac{R_1+R_2}{2}$ (B) $\frac{R_1\ R_2}{R_1+R_2}$ (C) $\frac{2\ R_1\ R_2}{R_1+R_2}$ (D) $R_1 + \frac{R_2}{2}$

खण्ड (C) : विकिरण व स्टीफन का नियम

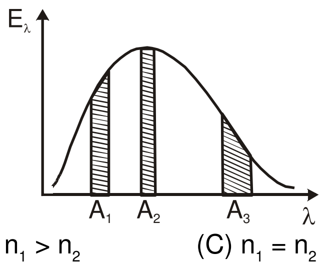
C-1. 0.08 m त्रिज्या तथा m = 10 kg द्रव्यमान के एक धातु के गोले को 227°C तक गर्म किया जाता है एवं इसे एक बक्से के अन्दर लटकाया जाता है जिसकी दीवारों का ताप 27°C है। अधिकतम दर जिससे इसका ताप गिरेगा (दिया है e = 1, स्टीफन नियतांक σ = 5.8 x 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4} एवं धातु की विशिष्ट ऊष्मा s = 90 cal/kg/डिग्री J = 4.2 जूल/केलारी लीजिये)

(A) .055 °C/sec (B) .066 °C/sec (C) .044 °C/sec (D) 0.03 °C/sec

C-2. एक ठोस गोलीय आदर्श कृष्णिका की त्रिज्या r है तथा मुक्त आकाश में द्रव्यमान वितरण समान है। यह 'P' शक्ति उत्सर्जित करती है तथा ठण्डे होने की दर R है तब –

(A) R P α r^2 (B) R P α r (C) R P α $1/r^2$ (D) R P α

C-3. तीन भिन्न–भिन्न भाग A_1, A_2 तथा A_3 जिनके क्षेत्रफल समान हैं, को कृष्णिका के ऊर्जा वितरण वक्र पर चित्रानुसार दिखाया गया है। अगर n_1, n_2 तथा n_3 क्रमशः प्रति एकांक समय में प्रत्येक क्षेत्रफल भाग से उत्सर्जित फोटॉन हैं तो–

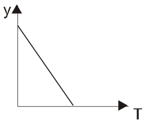


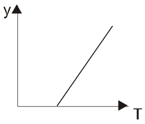
(A) $n_2 > n_1 > n_3$ (B) $n_3 > n_1 > n_2$ (C) $n_1 = n_2 = n_3$ (D) $n_3 > n_2 > n_1$

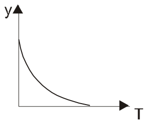
खण्ड (D) : न्यूटन का शीतलन का नियम

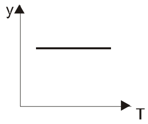
D-1. स्टीफन के नियम द्वारा कौनसा नियम समझाया जा सकता है
(A) वीन का विस्थापन नियम (B) किरचॉफ का नियम
(C) न्यूटन का शीतलन का नियम (D) प्लांक का नियम

D-2. एक गर्म द्रव किसी बड़े कमरे में रखा हुआ है। न्यूटन के शीतलन नियम के अनुसार शीतलन की दर y एवं ताप T के मध्य सम्बन्ध को कौनसा वक्र प्रदर्शित करता है।

(A) 

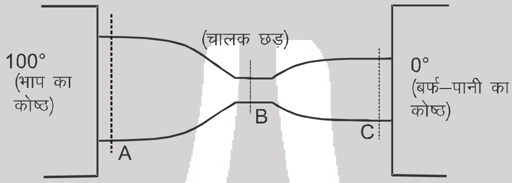
(B) 

(C) 

(D) 

भाग - III : कॉलम को सुमेलित कीजिए (MATCH THE COLUMN)

1. असमरूप अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल की एक तांबें की छड़ (प्रारम्भ में कमरे के तापमान 20°C पर) को भाप के कोष्ठ (100°C पर) तथा बर्फ–पानी कोष्ठ (0°C पर) के बीच रखा गया है :–



(A) प्रारम्भिक ऊष्मा प्रवाह की दर $\left(\dfrac{dQ}{dt}\right)$ होगी — (p) भाग A पर अधिकतम

(B) स्थायी अवस्था में ऊष्मा प्रवाह की $\left(\dfrac{dQ}{dt}\right)$ दर होगी — (q) भाग B पर अधिकतम

(C) स्थायी अवस्था में तापमान प्रवणता $\left|\left(\dfrac{dT}{dx}\right)\right|$ होगा — (r) भाग A पर न्यूनतम

(D) स्थायी अवस्था पर तापमान में परिवर्तन की दर किसी $\left(\dfrac{dT}{dt}\right)$ बिन्दु पर होगी — (s) भाग B पर न्यूनतम

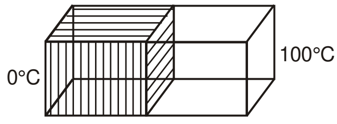
(t) सभी भागों के लिए समान

Exercise-2

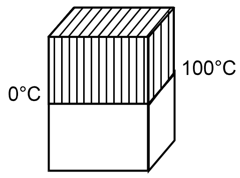
चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

भाग-I : केवल एक सही विकल्प प्रकार

1. धातु की दो वर्गाकार छड़ें सिरे से सिरे द्वारा (a). चित्रानुसार जोड़ी जाती है, यह मानिये कि छड़ों द्वारा 2 मिनट में 10 कैलोरी ऊष्मा प्रवाहित होती है। जब छड़ें (b) चित्रानुसार जोड़ी जाती है तो छड़ों द्वारा 10 कैलोरी ऊष्मा प्रवाहित होने में समय लगेगा।



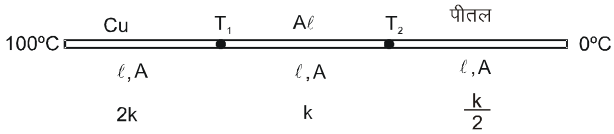
(a)



(b)

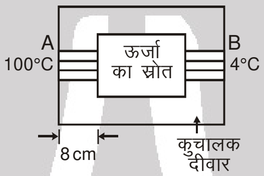
(A) 0.75 min (B) 0.5 min (C) 1.5 min (D) 1 min

2. तांबे, ऐल्यूमिनियम व पीतल से बनी धातु की तीन छड़ों को सिरे से सिरे द्वारा जोड़कर ऐल्यूमिनियम को अन्य दो के मध्य रखा जाता है। प्रत्येक की लम्बाई 20 सेमी तथा व्यास 4 सेमी है। तांबे व पीतल के मुक्त सिरों के ताप क्रमशः 100°C व 0°C रखे जाते हैं। यह मानिये कि तांबे की ऊष्मीय चालकता ऐल्यूमिनियम की दुगुनी व पीतल की चार गुनी है। तांबा–ऐल्युमिनियम व ऐल्यूमिनियम–पीतल संधियों के ताप साम्यावस्था में क्रमशः है (लगभग) –



(A) 68 °C तथा 75 °C (B) 75 °C तथा 68 °C (C) 57 °C तथा 86 °C (D) 86 °C तथा 57 °C

3. एक घनाकार बन्द बक्सा पूर्ण रूप से कुचालक पदार्थ की 8 सेमी मोटी दीवारों से बना है एवं ऊष्मा के अन्दर जाने या बाहर निकलने के लिए धातु के दो ठोस बेलनाकार धात्विक प्लग आमने सामने की दीवारों पर लगें है प्रत्येक का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 12 सेमी^{2} व लम्बाई 8 सेमी है। एक प्लग की बाह्य सतह A, 100°C पर रखी जाती है जबकि दूसरे प्लग की बाह्य सतह B, 4°C पर रखी जाती है। प्रत्येक प्लग के पदार्थ की ऊष्मीय चालकता 0.5 cal/°C/cm है। 36 cal/s ऊर्जा उत्पन्न कर रहा एक स्त्रोत बक्से के अन्दर बन्द है। आन्तरिक सतह के सभी बिन्दुओं का ताप समान मानते हुए बक्से की आन्तरिक सतह का साम्यावस्था ताप है –



(A) 62 °C (B) 46 °C (C) 76 °C (D) 52 °C

4. एक खिड़की के दरवाजे के दो नमूने (Model) बनाये जाते है। एक नमूने में 3 mm मोटे एक जैसे दो कांच 3 mm के वायु अन्तराल द्वारा अलग करके लगाये जाते हैं यह पूरा निकाय कमरे की एक खिड़की में लगाया जाता है। दूसरे नमूने में केवल 6 mm मोटा एक कांच लगाया जाता है। इसके व प्रथम नमूने दोनों में तापान्तर समान है तो दोहरे कांच व इकहरे कांच वाले दरवाजे से ऊष्मा प्रवाह का अनुपात है (K_{glass} = 2.5×10^{-4} cal/s.m. °C and K_{air} = 6.2×10^{-6} cal/s.m.°C)

(A) 1/20 (B) 1/70 (C) 31/1312 (D) 31/656

5. समान पदार्थो से बनी दो बेलनाकार छड़ों से ऊष्मा प्रवाहित हो रही है, जिनके सिरे एक जैसे ताप पर रखे जाते है। यदि छड़ों के व्यास का अनुपात 1 : 2 व उनकी लम्बाईयों का अनुपात 2 : 1 है तो स्थायी अवस्था में उनसे पारित ऊष्मीय धारा का अनुपात ज्ञात कीजिये।

(A) 1 : 8 (B) 1 : 4 (C) 1 : 6 (D) 4 : 1

6. एक मीटर की छड़ के सिरे 100°C तथा 0°C पर रखे जाते है। किसी छड़ का एक सिरा 25°C पर रखा जाता है। इस छड़ का दूसरा सिरा मीटर छड़ पर कहां रखा जाना चाहिए ताकि छड़ में स्थायी अवस्था में कोई ऊष्मीय धारा प्रवाहित न हो?

(A) गर्म सिरे से 25 cm (B) ठण्डे सिरे से 40 cm
(C) ठण्डे सिरे से 25 cm (D) ठण्डे सिरे से 60 cm

खण्ड (B) : विकिरण एवंम् स्टीफन का नियम

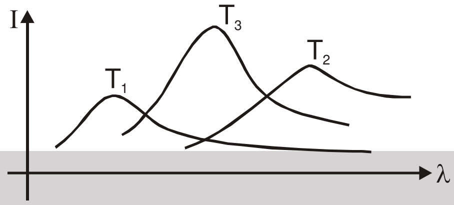
7. एक गोलीय कृष्णिका जिसकी त्रिज्या r है, H शक्ति विकिरित करती है एवं इसकी शीतलन की दर C है यदि घनत्व नियत है तो निम्न में कौनसा सत्य है –

(A) $H \propto r$ तथा $c \propto r^2$ (B) $H \propto r^2$ तथा $c \propto \frac{1}{r}$ (C) $H \propto r$ तथा $c \propto \frac{1}{r^2}$ (D) $H \propto r^2$ तथा $c \propto r^2$

8. पृथ्वी सूर्य से ऊर्जा प्राप्त करती है, सूर्य का तापमान T_s तथा त्रिज्या R है। माना पृथ्वी की त्रिज्या r तथा इसकी सूर्य से दूरी d है। पृथ्वी तथा सूर्य दोनों एक आदर्श कृष्ण वस्तु की तरह व्यवहार करती है, तथा पृथ्वी T_e तापमान पर तापीय साम्यावस्था में है। यदि सूर्य का तापमान $T_s = xT_e$ हो तो x का मान क्या होगा।

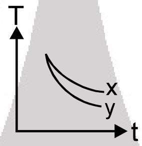
(A) $\sqrt{\frac{2d}{R}}$ (B) $\sqrt{\frac{2R}{r}}$ (C) $\sqrt{\frac{4d}{r}}$ (D) $\frac{d}{r}$

9. तीन काली वस्तुओं के लिए क्रमशः T_1, T_2 तथा T_3 ताप पर तीव्रता तरंगदैर्ध्य वक्र चित्र में दिखाये गये है। उनके ताप इस प्रकार है –



(A) $T_1 > T_2 > T_3$ (B) $T_1 > T_3 > T_2$ (C) $T_2 > T_3 > T_1$ (D) $T_3 > T_2 > T_1$

10. X व Y वस्तुओं के ताप समय के साथ चित्रानुसार बदलते हैं। यदि X व Y वस्तुओं की उत्सर्जकता e_X व e_Y तथा अवशोषण क्षमता A_X व A_Y, है (माना दोंनो के लिए सभी अवस्था एकसमान है) तो :

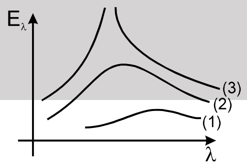


(A) $e_Y > e_X$, $A_Y > A_X$ (B) $e_Y < e_X$, $A_Y < A_X$ (C) $e_Y > e_X$, $A_Y < A_X$ (D) $e_Y < e_X$, $A_Y > A_X$

11. समान पदार्थ की तीन चकतियाँ A, B, C क्रमशः 2 cm, 4 cm व 6 cm की त्रिज्या की हैं, उन पर कार्बन की कालिख (Carbon Black) की परत चढ़ाई जाती है। अधिकतम स्पेक्ट्रमी विकिरकता (spectral radiancy) के संगत उनकी तरंगदैर्ध्य क्रमशः 300, 400 व 500 nm है, तो किसके द्वारा अधिकतम शक्ति उत्सर्जित की जायेगी।

(A) A (B) B (C) C (D) सभी द्वारा समान

12. प्रदर्शित चित्र में अधिकतम उत्सर्जन क्षमता एवं सूर्य के विकीरणों की तरंगदैर्ध्य welding ज्वाला की तरंगदैर्ध्य एवं टंगस्टक तन्तु द्वारा उत्सर्जित तरंगदैर्ध्यो के मध्य ग्राफ प्रदर्शित किया गया है निम्न में से कौनसा विकल्प सही ग्राफ को प्रदर्शित करता है।



(A) 1- टंगस्टक तन्तु, 2 → welding ज्वाला, 3 → sun (B) 2- टंगस्टक तन्तु, 3 → welding ज्वाला, 1 → sun
(C) 3- टंगस्टक तन्तु, 1 → welding ज्वाला, 2 → sun (D) 2- टंगस्टक तन्तु, 1 → welding ज्वाला, 3 → sun

10. 263K के बाहरी तापमान के साथ एक ठण्डी सर्दी से एक 0.5 m गहराई का छोटा तालाब दिखाया गया है। बर्फ की तापीय चालकता $K = 2.2\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$ है, गुप्त ऊष्मा $L = 3.4 \times 10^5\ Jkg^{-1}$ तथा घनत्व $\rho = 0.9 \times 10^3\ kgm^{-3}$ तालाब का तापमान 273 K लें। सम्पूर्ण तालाब को जमने में लगने वाला समय लगभग है **[Olympiad (Stage-1) 2017]**

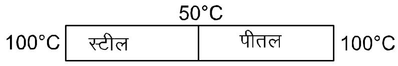
(A) 20 days (B) 25 days (C) 30 days (D) 35 days

भाग - II : पूर्णांक मान (एकल या द्वि–पूर्णांक) प्रकार (INTEGER (SINGLE OR DOUBLE DIGIT) TYPE

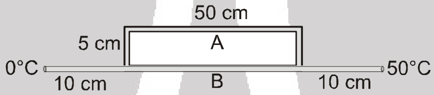
खण्ड (A) : रेखीय चालकों में स्थायी अवस्था में ऊष्मीय चालन

1. समान विमाओं परन्तु भिन्न पदार्थो से बनी दो छड़ें सिरे से सिरे द्वारा जोड़ी जाती है। तथा उनके मुक्त सिरों के ताप क्रमशः 100ºC व 0ºC हैं तथा संधि का ताप 70ºC है। यदि छड़ों को आपस में बदल दिया जायें तो संधि का ताप T °C होगा। T ज्ञात कीजिए

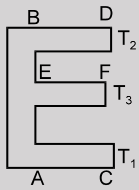
2. चित्र में एक स्टील की छड़ पीतल की छड़ से जुड़ी है। प्रत्येक छड़ की लम्बाई 31 सेमी. एवं अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 0.20 सेमी.^{2} है। संधि का ताप 50°C नियत व सिरों का ताप 100°C रखा जाता है। स्थायी अवस्था आने के बाद ठण्डी संधि पर 10 मिनट में बाहर निकाली गई ऊष्मा की मात्रा n × 10^2 J होगी। 'n' ज्ञात कीजिये। तापिय चालकताऐं है K_{steel} = 46 W/m–°C तथा K_{brass} = 109 W/m–°C.



3. चित्र में दी गई स्थिति पर विचार कीजिए। फ्रेम एक ही पदार्थ का बना है व सभी जगह अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल समरूप है। यदि भाग A के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल से प्रति सेकण्ड प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा 60 J हो, तो 50°C वाले सिरे से प्रति सैकण्ड बाहर निकलने वाली ऊष्मा की मात्रा 0.132 × 10^n J/s होगी। n ज्ञात कीजिए।



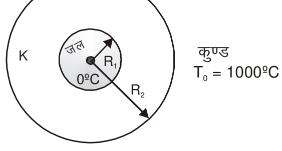
4. चार पतली एक समान छड़े AB, AC, BD व EF समान पदार्थ की है, चित्रानुसार जोड़ी जाती है। मुक्त सिरे C, D व F क्रमशः T_1, T_2 व T_3 पर हैं। वातावरण में ऊष्मा हानि नहीं होती यह मानते हुए, स्थायी अवस्था प्राप्त होने के बाद संधि E का ताप $\frac{1}{K}$ $(2T_1 + 2T_2 + 3T_3)$ होगा। K ज्ञात कीजिये। (E, AB का मध्य बिन्दु है)



5. समरूप अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल व 1.45 मी. लम्बाई की एक तांबे की छड़ का एक सिरा 0ºC पर बर्फ के व दूसरा सिरा 100°C पर जल के सम्पर्क में रखा जाता है। इसकी लम्बाई के अनुदिश 100°C वाले के सापेक्ष उस बिन्दु की स्थिति x cm होगी तो x ज्ञात कीजिये, जहां 200°C का ताप रखा जाये ताकि स्थायी अवस्था में पिघल रही बर्फ का द्रव्यमान समान समयान्तराल में उत्पन्न वाष्प के बराबर हो। [सम्पूर्ण निकाय को वातावरण या परिवेश से अवरूद्ध मानिये] (L_v = 540 cal/g L_f = 80 cal/g)

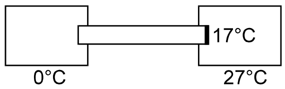
खण्ड (B) : अरेखीय चालकों में स्थायी अवस्था में ऊष्मीय चालन

6. आन्तरिक त्रिज्या R_1 = 0.25 मी. व बाह्य त्रिज्या R_2 = 0.50 मी. का खोखला चालक गोला T_0 = 1000 ºC ताप के ऊष्मीय कुण्ड (reservoir) के अन्दर रखा जाता है। प्रारम्भ में गोलीय कोश में 0ºC पर जल भरा जाता है। पदार्थ की ऊष्मीय चालकता k = $\frac{10^2}{4\pi}$ W/m-K है इसकी ऊष्मीय धारिता नगण्य है। जल का ताप 100ºC तक बढ़ने मे लगा समय 1100 K ℓn $\frac{10}{9}$ sec है तो K ज्ञात कीजिये। जल की विशिष्ट ऊष्मा s = 4.2 kJ/kg.°C, जल का घनत्व d_w = 1000 kg/m^3 , $\pi = \frac{22}{7}$ है



खण्ड (C) : विकिरण एवंम् स्टीफन का नियम

7. लम्बाई 1 मी की एक बेलनाकार छड़ 0°C पर बर्फ के एक बड़े कक्ष व 27°C पर एक निर्वातित कक्ष के मध्य चित्रानुसार जोड़ी जाती है। छड़ के केवल छोटे से भाग कक्षों के अन्दर हैं व शेष भाग वातावरण से ऊष्मीय रूप से विलगित है। निर्वातित कक्ष के अन्दर का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल काला किया गया है ताकि यह इस पर आपतित किसी भी विकिरण को पूर्ण रूप से अवशोषित कर ले। स्थायीअवस्था के बाद काले सिरे का ताप 17°C है। स्टीफन नियतांक $\sigma = 6 \times 10^{-8} W/m^2-K^4$. है। छड़ के पदार्थ की ऊष्मा चालकता 1.2 P (W/m – °C) है तो P ज्ञात कीजिये। ($29^4 = 707281$)



8. 1.0 सेमी त्रिज्या का एक टंगस्टन का गोला एक निर्वातित कक्ष में लटका है जिस कक्ष का ताप 300 K है। गोले को विद्युत ऊष्मा द्वारा 1000 K पर रखा जाता है। विद्युत ऊर्जा प्रदान करने की दर P वॉट है तो P ज्ञात कीजिये। टंगस्टन की उत्सर्जकता 0.30 एवं स्टीफन नियतांक $\sigma = 6.0 \times 10^{-8} W/m^2-K^4$.

भाग - III : एक या एक से अधिक सही विकल्प प्रकार(ONE OR MORE THAN ONE OPTION CORRECT TYPE)

1. प्रत्येक स्थिति में पारगम्यता $t \rightarrow 0$ मानिये –
(A) खराब (बुरा) अवशोषक खराब उत्सर्जक है।
(B) खराब (बुरा) अवशोषक अच्छा परावर्तक है।
(C) खराब (बुरा) परावर्तक अच्छा उत्सर्जक है।
(D) खराब (बुरा) उत्सर्जक अच्छा अवशोषक है।

2. समान पदार्थ व एक जैसी बाह्य सतह के एक खोखला व एक ठोस गोला समान ताप तक आदर्श अवस्था में गर्म किये जाते (दोंनो का e, a समान है) है –
(A) प्रारम्भ में दोनों प्रति इकाई समय में विकिरण की समान मात्रा उत्सर्जित करेंगे।
(B) प्रारम्भ में दोनों प्रति इकाई समय में विकिरण की समान मात्रा अवशोषित करेंगे।
(C) दोनों गोलों के ताप हास की दर (dT/dt) समान होगी
(D) किसी समय दोनों गोलों का ताप समान होगा।

3. दो वस्तुओं A व B की ऊष्मीय उत्सर्जकता क्रमशः 0.01 व 0.81 है। दोनों वस्तुओं का बाह्य पृष्ठीय क्षेत्रफल समान है। दोनों वस्तुऐं कुल विकिरण शक्ति समान दर से उत्सर्जित करती है। B से विकिरण में अधिकतम स्पेक्टमी विकिरकता के संगत तरंगदैर्ध्य λ_B, A से विकिरण में अधिकतम स्पेक्ट्रमी विकिरकता के संगत तरंगदैर्ध्य λ_A से 1.00 µm से विस्थापित होती है। यदि A का ताप 5802 K है तो –
(A) B का ताप 1934 K है।
(B) $\lambda_B = 1.5$ µm
(C) B का ताप 11604 K है।
(D) B का ताप 2901 K है।

4. सौर नियतांक पूर्णतया कृष्णिका सतह जोकि पृथ्वी तथा सूर्य के माध्य दूरी पर रखी गई है, के एकांक क्षेत्रफल पर वायुमण्डल की अनुपस्थिति में प्रकाश की किरणों के लम्बवत् प्रति सैकण्ड प्राप्त की गई ऊष्मा की मात्रा है। इसका मान 1388 W/m^2 है। यदि पृथ्वी का सौर नियतांक 's' है। सूर्य की सतह का ताप TK है। सूर्य का व्यास D है तथा R सूर्य से पृथ्वी की माध्य दूरी है। सूर्य, पृथ्वी पर 'θ' कोण (अल्प) बनाता है, सही विकल्प है, है–
(A) $s = \sigma T^4 \left(\frac{D}{R}\right)^2$
(B) $s = \frac{\sigma T^4}{4}\left(\frac{D}{R}\right)^2$
(C) $s = \frac{\sigma T^4}{4}\theta^2$
(D) $s = \frac{\sigma T^4}{4}\left(\frac{R}{D}\right)^2$

5. एक गर्म वस्तु विकिरण उत्सर्जित करती है जिसकी तीव्रता ν_m आवृति पर अधिकतम है। यदि वस्तु का ताप दुगुना किया जाता है तो
(A) अधिकतम तीव्रता की विकिरण, $2\nu_m$ आवृति पर होगी।
(B) अधिकतम तीव्रता की विकिरण, ν_m आवृति पर होगी।
(C) उत्सर्जित कुल शक्ति 16 गुना हो जायेगी।
(D) उत्सर्जित कुल शक्ति 2 गुना हो जायेगी।

6. दो समरूप छड़ें दो अलग धातुओं A तथा B की बनी हुई क्रमशः K_A तथा K_B ऊष्मीय चालकता के साथ सिरे से सिरे पर जोड़ी गई है। A का मुक्त सिरे पर तापमान T_1 है जबकि B के मुक्त सिरे पर तापमान T_2 ($< T_1$) है। इसलिए साम्यावस्था की स्थिति में

(A) सन्धि का तापमान केवल K_A तथा K_B द्वारा निर्धारित होगा।

(B) यदि छड़ की लम्बाई को दुगुना कर दें तो ऊष्मा प्रवाह की दर आधी होगी

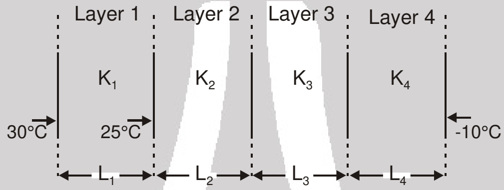
(C) यदि दोनों मुक्त सिरो पर तापमान आपस में बदल दें, तो सन्धि का तापमान बदलेगा

(D) संयुक्त छड़ की तुल्य तापीय चालकता $\dfrac{2K_AK_B}{K_A + K_B}$ है।

भाग - IV : अनुच्छेद (COMPREHENSION)

अनुच्छेद # 1

चार परतो वाली दीवार की अनुप्रस्थ काट चित्र में प्रदर्शित है। जिनकी ऊष्मीय चालकता K_1 = 0.06 W/mK; K_3 = 0.04 W/mK तथा K_4 = 0.10 W/mK है। संपर्क सतहों का तापमान चित्र में प्रदर्शित है। परतो की मोटाई L_1 = 1.5 cm; L_3 = 2.8 cm तथा L_4 = 3.5 cm है। दीवार से ऊर्जा प्रवाह नियत है।



1. परत 3 और 4 की सम्पर्कित सतह पर तापमान है :

(A) – 1°C (B) – 3°C (C) 2°C (D) 0°C

2. परत 2 व 3 के मध्य सम्पर्कित सतह का तापमान है :

(A) 11°C (B) 8°C (C) 7.2°C (D) 5.4°C

3. यदि L_2 परत की मोटाई 1.4 सेमी० हो तो इसकी ऊष्मीय चालकता K_2 का मान (W/mK में) होगा :

(A) 2×10^{-2} (B) 2×10^{-3} (C) 4×10^{-2} (D) 4×10^{-3}

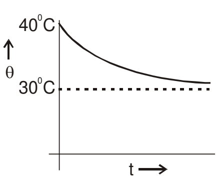
अनुच्छेद # 2

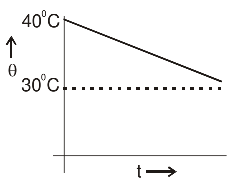
30 ºC नियत तापमान के वातावरण में एक वस्तु ठण्डी होती है। ऊष्मा धारिता 2J/ºC है। वस्तु का प्रारम्भिक तापमान 40ºC है। माना कि न्यूटन का शीतलन का नियम यहाँ मान्य होता है। वस्तु 10 मिनट में 38ºC तक ठण्डी होती है।

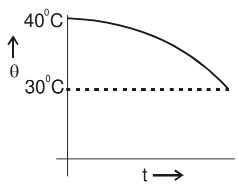
4. अगले 10 मिनट में यह 38ºC से निम्न ताप तक ठण्डी हो जाएगी –

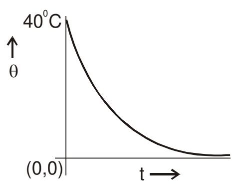
(A) 36ºC (B) 36.4ºC (C) 37ºC (D) 37.5ºC

5. वस्तु का ºC में तापमान θ द्वारा प्रदर्शित है θ का समय t के साथ परिवर्तन का सही प्रदर्शन है

(A)


(B)


(C)


(D)


6. जब वस्तु का ताप 38 ºC पहुँचता है तो इसको दुबारा इस प्रकार गर्म करते है कि इसका तापमान 10 मिनट में 40ºC हो जाता है तो वस्तु के लिए हीटर से प्राप्त कुल ऊष्मा होगी –

(A) 3.6J (B) 7J (C) 8 J (D) 4 J

अनुच्छेद # 3

किसी कमरे में 2 किग्रा द्रव्यमान वाली धातु की एक गेंद 25°C ताप पर 40 वॉट के विद्युत हीटर द्वारा गर्म की जाती है। गेंद का ताप 60°C पर स्थिर हो जाता है।

7. जब गेंद 60°C पर है तो वातावरण में ऊष्मा हानि की दर ज्ञात कीजिये।
(A) 40 W (B) 16W (C) 96W (D) 100 W

8. मान लीजिये कि न्यूटन का शीतलन का नियम लागू रहता है, जब गेंद 39°C ताप पर है, वातावरण में होने वाली ऊष्मा हानि की दर की गणना कीजिये।
(A) 40 W (B) 16W (C) 96W (D) 100 W

9. मान लीजिये कि 2 मिनिट में गेंद का ताप एक समान रूप से बढ़कर 25°C से 39°C हो जाता है, इस काल में वातावरण में होने वाली ऊष्मा हानि ज्ञात कीजिये।
(A) 900 J (B) 940 J (C) 960 J (D) 1000 J

Exercise-3

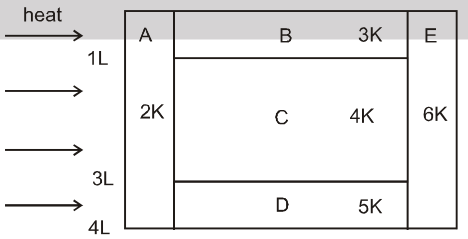
*** चिन्हित प्रश्न एक से अधिक सही विकल्प वाले प्रश्न है -**
✍ चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

भाग - I : JEE (ADVANCED) / IIT-JEE (पिछले वर्षो) के प्रश्न

1. धातु की 10x लम्बाई वाली छड़ AB का एक छोर A 0ºC पर रखी बर्फ में तथा दूसरा छोर B 100ºC पर रखे पानी में रखा गया है। इस छड़ के एक अन्य बिन्दु P को 400ºC के स्थिर तापमान पर रखा जाता है। पाया जाता है कि A छोर पर प्रति इकाई समय में पिघलने वाली बर्फ का द्रव्यमान तथा B छोर पर प्रति इकाई समय में वाष्पित होने वाले जल का द्रव्यमान बराबर है। पानी के वाष्पीकरण तथा बर्फ के पिघलने की गुप्त ऊष्माएँ, क्रमशः 540 cal/g तथा 80 cal/g है। यदि P की दूरी बर्फ वाले छोर से λx हो, तो λ का मान निकालें। [वातावरण में होने वाली ऊष्मा की हानि को नगण्य मानें।]
[JEE, 2009, 4,/160, –1]

2.✍ दो गोलाकार पिण्ड A (त्रिज्या 6 cm) तथा B, (त्रिज्या 18 cm) क्रमशः T_1 तथा T_2 तापमान पर हैं। उनसे उत्सर्जित स्पेक्ट्रम की अधिकतम तीव्रता A के लिए 500 nm पर तथा B के लिए 1500 nm पर हैं। इन पिण्डों को कृष्णिकायें मानते हुए, A तथा B से कुल ऊर्जा उत्सर्जन का अनुपात क्या होगा ? **[JEE, 2010, 3,/163]**

3. अलग–अलग ताप चालकताओं (K के मात्रक में) तथा अलग–अलग साइजों (L के मात्रक में) के A, B, C, D व E स्लैबों (slabs) को चित्र में दर्शाये अनुसार जोड़ा गया है। सब स्लैबों की चौड़ाई समान है। ऊष्मा 'Q' का चालन सिर्फ A से E की दिशा में है। तब साम्यावस्था में **[JEE, 2011, 4,/160]**

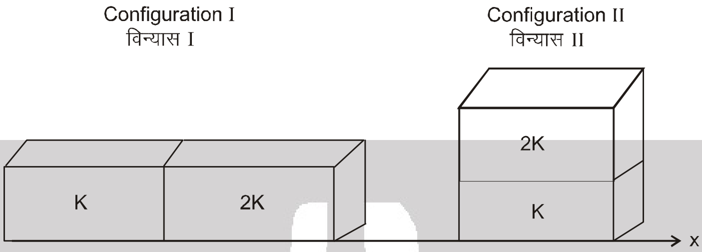


(A) A व E स्लैबों में से चालित ऊष्मा बराबर है।
(B) अधिकतम ऊष्मा चालन स्लैब E में से है।
(C) न्यूनतम तापमान–अन्तर E स्लैब के फलकों के बीच है।
(D) C में से ऊष्मा चालन = B में से ऊष्मा चालन + D में से ऊष्मा चालन

4. तीन बहुत बड़ी प्लेटें, जिनका क्षेत्रफल बराबर है, समांतर व एक दूसरे के पास रखी गयी हैं। उनको आदर्श –कृष्ण –सतह मानें और उनकी ऊष्मा चालकता बहुत अधिक है। पहली और तीसरी प्लेटों को क्रमशः 2T और 3T तापमान पर रखा जाता है। स्थाई अवस्था में बीच की (अर्थात दूसरी) प्लेट का तापमान है। **[IIT-JEE-2012, Paper-1; 3/70, –1]**

(A) $\left(\frac{65}{2}\right)^{\frac{1}{4}}T$ (B) $\left(\frac{97}{4}\right)^{\frac{1}{4}}T$ (C) $\left(\frac{97}{2}\right)^{\frac{1}{4}}T$ (D) $(97)^{\frac{1}{4}}T$

5. दो समरूपी आयताकार गुटकों को दर्शाये चित्रानुसार दो विन्यासों I और II में व्यवस्थित किया गया है। गुटकों की ऊष्मा चालकता k व 2k है। दोंनो विन्यासों में x–अक्ष के दोंनो छोरों पर तापमान का अन्तर समान है। विन्यास I में, ऊष्मा की एक निश्चित मात्रा गरम छोर से ठण्डे छोर तक अभिगमन में 9s लेती है। विन्यास II में, समान मात्रा की ऊष्मा के अभिगमन के लिए समय है : **[JEE(Advanced)-2013,3/60,–1]**



(A) 2.0 s (B) 3.0 s (C) 4.5 s (D) 6.0 s

6. एक गोलाकार कृष्णिका(black body) को 300 K तापमान वाले वातावरण में रखा गया है। इस पर प्रकश के समान्तर किरणें, जिनकी तीव्रता $I = 912\ Wm^{-2}$ है, आपतित हैं। स्टीफन वोल्टज्मान नियतांक $\sigma = 5.7 \times 10^{-8}\ Wm^{-2}\ K^{-4}$ का मान लेकर यह मानते हुए कि ऊर्जा का आदान प्रदान सिर्फ विकिरण द्वारा ही हो रहा है, कृष्णिका का स्थायी अवस्था में तापमान लगभग है : **[JEE (Advanced)-2014, 3/60, –1]**

(A) 330 K (B) 660 K (C) 990 K (D) 1550 K

7. दो गोलाकर तारों A तथा B द्वारा कृष्णिका (ब्लैक बॉडी) विकिरण उत्सर्जित किया जा रहा है। A की त्रिज्या B की त्रिज्या की 400 गुना है तथा A से उत्सर्जित ऊर्जा B से उत्सर्जित ऊर्जा की 10^4 गुना है। उनकी उन तरंगदैर्ध्यो λ_A और λ_B, जिन पर उनके विकिरण वक्र उच्चतम् हैं, $\left(\frac{\lambda_A}{\lambda_B}\right)$ के अनुपात का मान है। **[JEE(Advanced) 2015 ; P-1, 4/88]**

8. एक तापदीप्त बल्ब के टंगस्टन तन्तु को विद्युत धारा के प्रवाह से उच्च तापमान पर गरम करने पर टंग्स्टन तन्तु कृष्णिका विकिरण (black-body radiation) उत्सर्जित करता है। यह देखा गया है कि लंबे समय के प्रयोग के बाद टंग्स्टन तन्तु में असमान वाष्पीकरण के कारण तन्तु किसी भी जगह से टूट जाता है। यदि बल्ब को विद्युत शक्ति एक स्थिर वोल्टता पर दी गयी है तो निम्नलिखित में से कौनसा/कौनसे कथन सत्य है/ हैं ? **[JEE Advanced 2016 ; P-1, 4/62, –2]**

(A) तन्तु पर तापमान का वितरण एक समान है

(B) तन्तु के छोटे भागों का प्रतिरोध समय के साथ कम होता जाता है

(C) टूटने से पहले तन्तु उच्च आवृती पट्टी (high frequency band) का प्रकाश पहले से ज्यादा उत्सर्जित करता है

(D) तन्तु अपनी आयु के आखरी समय में कम विद्युत शक्ति का प्रयोग करता है

9. एक धातु के भट्टी में गरम करते हुए उसकी विकिरण शक्ति (P) को धातु के ऊपर रखे हुए एक संवेदक (sensor) से पढ़ते है। संवेदक का $\log_2 (P / P_0)$ को पढता है, यहाँ P_0 एक स्थिरांक है। जब धातु का तापमान 487 ºC है तो संवेदक का पठन 1 है। मान लीजिये कि धातु की सतह की उत्सर्जकता स्थिर है। धातु की सतह का तापमान 2767 ºC तक बढाने पर संवेदक का पठन क्या होगा ? **[JEE Advanced 2016 ; P-1, 3/62]**

10. मानवीय पृष्ठीय क्षेत्रफल लगभग $1m^2$ होता हैं मानव शरीर का तापमान परिवेश के तापमान से 10 K अधिक होता है। परिवेश तापमान T_0 = 300 K है, इस परिवेश तापमान के लिए σT_0^4 = 460 Wm^{-2} है जहाँ σ स्टीफान–बोल्ट्जमान नियतांक (Stefan-Boltzmann constant) है। निम्न में कौन सा (से) कथन सही है/हैं ?

[JEE (Advanced) 2017 ; P-1, 4/61, –2]

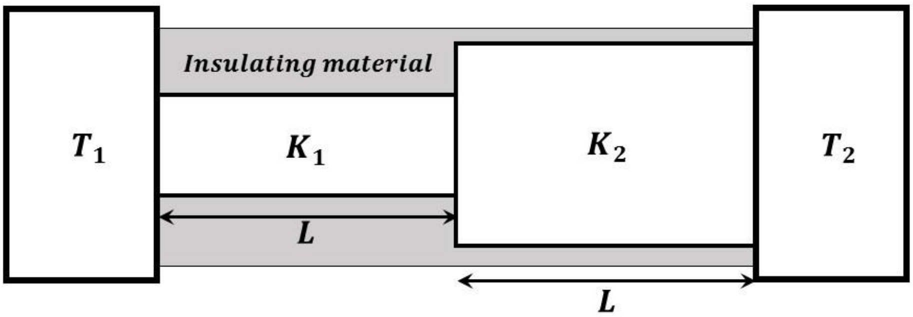
(A) परिवेश तापमान अगर ΔT_0 से घटता है ($\Delta T_0 << T_0$) तब मानव शरीर को तापमान का अनुरक्षण करने के लिए $\Delta W = 4\sigma T_0^3 \Delta T_0$ अधिक ऊर्जा विकिरित करनी पडती है।

(B) पृष्ठीय क्षेत्रफल घटाने (जैसे : सिकुडने से) से मानव अपने शरीर से विकिरित ऊर्जा घटाते है एवं अपने शरीर का तापमान अनुरक्षित करते है।

(C) मानवीय शरीर के तापमान में अगर सार्थक वृद्धि हो तब प्रकाश चुम्बकीय विकिरण स्पेक्ट्रम की शिखर तरंग दैर्ध्य (the electromagnetic spectrum) दीर्घ तरंग दैर्ध्य की ओर विस्थापित होती है।

(D) मानवीय शरीर से 1 सैकण्ड में निकटतम विकिरित ऊर्जा 60 जूल (60 joules) है।

11. समान लम्बाई परन्तु अलग–अलग त्रिज्याओं वाले दो बेलनाकार चालक (cylinders conductors) श्रेणीक्रम में (in series) दो ऊष्माशयों (heat baths) के बीच में जोड़े गए है, जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है। इन ऊष्माशयओं का तापमान T_1 = 300K और T_2 = 100K है। बड़े चालक की त्रिज्या छोटे चालक की त्रिज्या की दोगुनी है। छोटे चालक की ऊष्मा चालकता (thermal conductivities) K_1 है और बड़े चालक की ऊष्मा K_2 है। यदि स्थायी अवस्था (steady state) में, बेलनों के संधि (junction) का तापमान 200K हो, तब K_1/K_2 का मान ___________ होगा।

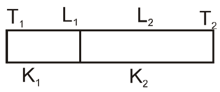


भाग - II : JEE (MAIN) / AIEEE (पिछले वर्षो) के प्रश्न

1. सूर्य को TK तापमान पर R त्रिज्या की एक गोलीय वस्तु मानकर, सूर्य से r दूरी पर पृथ्वी पर आपतित सम्पूर्ण विकिरित शक्ति की गणना कीजिए। (पृथ्वी की त्रिज्या = r_0) **[AIEEE-2006; 3/180]**

(1) $\frac{R^2\sigma T^4}{r^2}$ (2) $\frac{4\pi r_0^2 R^2\sigma T^4}{r^2}$ (3) $\frac{\pi r_0^2 R^2\sigma T^4}{r^2}$ (4) $\frac{r_0^2 R^2\sigma T^4}{4\pi r^2}$

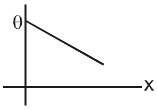
2. एक ऊष्मारोधी छड का एक सिरा T_1 ताप पर और दूसरा सिरा T_2 ताप पर है। छड़ क्रमशः L_1 और L_2 लम्बाई और k_1 और k_2 ऊष्मा चालकताओं की छड़ो को संयोग है दोनों भागों की सन्धि का ताप है। **[AIEEE-2007; 3/120]**

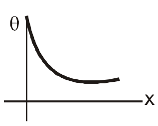


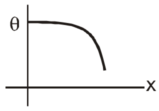
(1) $\frac{(K_2L_2T_1+K_1L_1T_2)}{(K_1L_1+K_2L_2)}$ (2) $\frac{(K_2L_1T_1+K_1L_2T_2)}{(K_2L_1+K_1L_2)}$ (3) $\frac{(K_1L_2T_1+K_2L_1T_2)}{(K_1L_2+K_2L_1)}$ (4) $\frac{(K_1L_1T_1+K_2L_2T_2)}{(K_1L_1+K_2L_2)}$

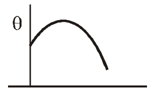
3. एक लम्बी धातु की छड़ में एक सिरे से दूसरे सिरे तक स्थिर अवस्था में ऊष्मा प्रवाहित हो रही है। तापमान θ का छड़ के गर्म सिरे से लम्बाई x से परिवर्तन निम्नलिखित चित्रों में से किसके द्वारा सर्वोत्तम प्रदर्शित किया जाता है?

[AIEEE-2009, 4/144]

(1) 

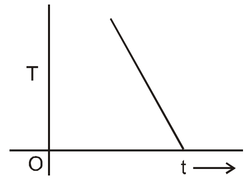
(2) 

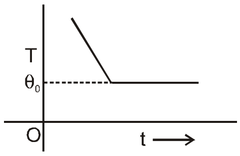
(3) 

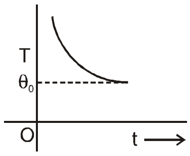
(4) 

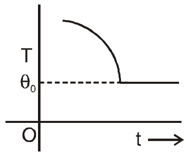
4. यदि धातु के एक टुकड़े को तापमान θ तक गर्म किया जाता है और फिर एक कमरे में, जिसका तापमान θ_0 है, ठंडा होने दिया जाता है, तब धातु के तापमान T और समय t के बीच ग्राफ इसके अत्यधिक समीप है :

[JEE (Main) 2013, 4/120,–1]

(1) 

(2) 

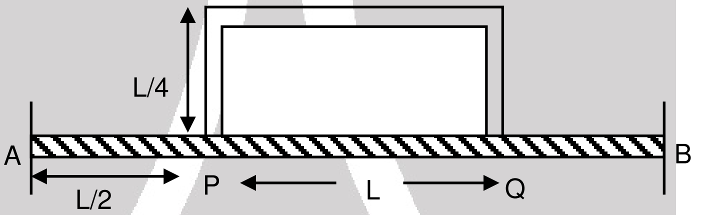
(3) 

(4) 

5. ताँबे, पीतल एवं स्टील की तीन छड़ों को Y-आकार संरचना में वेल्ड किया गया है। प्रत्येक छड़ की अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल = 4 cm^2 है। ताँबे की छड़ के सिरे का तापमान 100°C है जबकि पीतल एवं स्टील के सिरे 0°C तापमान पर रखे गये है। ताँबें, पीतल एवं स्टील की छड़ों की लम्बाईयाँ क्रमशः 46, 13 तथा 12 cms हैं। छड़ों को उनके सिरों को छोड़कर, वातावरण से ऊष्मीय रोधी किया गया है। ताँबें, पीतल एवं स्टील की ऊष्मा चालकताएँ क्रमशः 0.92, 0.26 एवं 0.12 CGS इकाई है। ताँबे की छड़ से प्रवाहित ऊष्मा की दर है। **[JEE (Main) 2014, 4/120, –1]**

(1) 1.2 cal/s (2) 2.4 cal/s (3) 4.8 cal/s (4) 6.0 cal/s

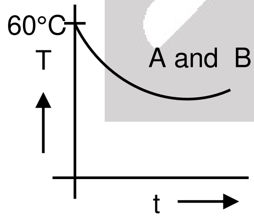
6. 2L लम्बाई की एक छड़ AB के दो सिरों के बीच तापान्तर 120°C रखा गया है। एक और इसी अनुप्रस्थ काट की $\frac{3L}{2}$ लम्बाई की मुड़ी हुयी छड़ PQ को चित्रानुसार AB से जोड़ा गया है। स्थिरावस्था में P तथा Q के बीच तापमान के अन्तर का सन्निकट मान होगा : **[JEE (Main) 2019, 4/120, –1]**

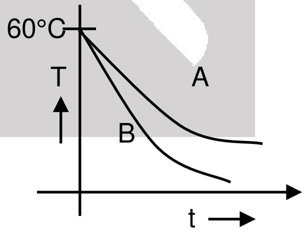


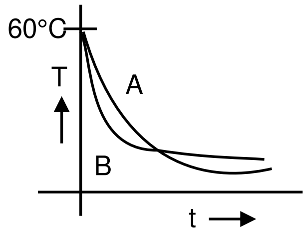
(1) 75°C (2) 45°C (3) 60°C (4) 35°C

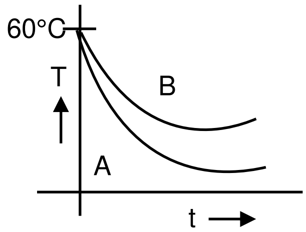
7. दो एकसमान बीकर A एवं B में दो भिन्न द्रवों के समान आयतन 60°C तापमान पर रखे हैं और ठंडा होने के लिये छोड़ दिये गये हैं। A में द्रव का घनत्व 8 × 10^2 kg/m^3 है और विशिष्ट ऊष्मा 2000 J kg^{-1} K^{-1} जबकि B में द्रव का घनत्व 10^3 kg m^{-3} हैं और विशिष्ट ऊष्मा 4000 j kg $^{-1}$ K^{-1} है। निम्नलिखित में से कौन–सा ग्राफ तापमान का समय के साथ परिवर्तन विधिवत् रूप से प्रदर्शित करता है ? (दोनों बीकरों की उत्सर्जकता एकसमान मान लें)

[JEE (Main) 2019, 4/120, –1]

(1) 

(2) 

(3) 

(4) 

Answers

EXERCISE # 1

PART - I

Section (A)

A-1. 64 J **A-2.** 5×10^{-5} g/s

A-3. 4.0 W **A-4.** 2 : π

A-5. $\dfrac{t_1 + t_2 + t_3}{\dfrac{t_1}{k_1} + \dfrac{t_2}{k_2} + \dfrac{t_3}{k_3}}$

Section (B)

B-1. 15 W/m–°C **B-2.** $\dfrac{2\pi K\ell(T_2 - T_1)}{In \ \ (R_2 / R_1)}$

Section (C)

C-1. 12 °C/s

Section (D)

D-1. $\dfrac{q_1 - q_2}{q_1}$ **D-2.** 0.73 W.

D-3. 6×10^3 K; 4×10^3 K **D-4.** $\dfrac{1}{90}$

D-5. 5803 **D-6.** 1.71 ρrc

Section (E)

E-1. 7 minutes

PART - II

Section (A)

A-1. (B) **A-2.** (a) (A) (b) (D)

A-3. (B) **A-4.** (C) **A-5.** (C)

Section (B)

B-1. (C)

Section (C)

C-1. (B) **C-2.** (B) **C-3.** (D)

Section (D)

D-1. (C) **D-2.** (B)

PART - III

1. (a) p, s , (b) t (c) q , r (d) t

EXERCISE # 2

PART - I

1.	(B)	**2.**	(D)	**3.**	(C)
4.	(D)	**5.**	(A)	**6.**	(C)
7.	(B)	**8.**	(A)	**9.**	(B)
10.	(A)	**11.**	(B)	**12.**	(A)
13.	(A)				

PART - II

1.	30	**2.**	3	**3.**	3
4.	7	**5.**	10	**6.**	5
7.	3	**8.**	22		

PART - III

1. (A, B, C) **2.** (A, B)

3. (A, B) **4.** (B, C) **5.** (A, C)

6. (B, C, D)

PART - IV

1.	(B)	**2.**	(A)	**3.**	(A)
4.	(B)	**5.**	(A)	**6.**	(C)
7.	(A)	**8.**	(B)	**9.**	(C)

EXERCISE # 3

PART - I

1.	9	**2.**	9	**3.**	(A, C, D)
4.	(C)	**5.**	(A)	**6.**	(A)
7.	2	**8.**	(C, D)	**9.**	9
10.	(B)	**11.**	4.00		

PART – II

1.	(3)	**2.**	(3)	**3.**	(1)
4.	(3)	**5.**	(3)	**6.**	(2)
7.	(2, 4)				

ऊष्मा संचरण (HEAT TRANSFER)

1. परिचय (INTRODUCTION)

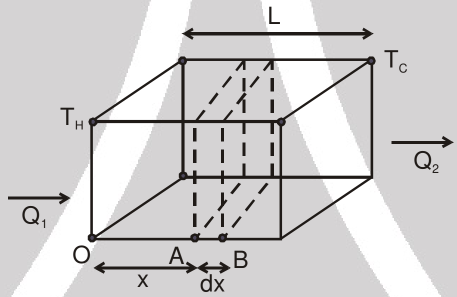
ऊष्मा ऐसी ऊर्जा है जो तापान्तर के कारण प्रवाहित होती है। उच्च ताप से निम्न ताप की वस्तु की ओर यह ऊष्मा संचरण तीन प्रकार से होता है।

(i) चालन (ii) संवहन (iii) विकिरण

2. चालन (CONDUCTION)

ऊष्मा ऊर्जा के संचरण की वह प्रक्रिया जिसमें ऊष्मा माध्यम के एक कण से दूसरे की ओर संचरित होती है, परन्तु माध्यम का प्रत्येक कण अपनी स्थिति पर रूका रहता है, चालन कहलाती है। उदाहरण स्वरूप यदि आप लोहे की एक छड़ को पकड़ कर उसके एक सिरे को कुछ समय के लिए आग पर रखें तो इसका हत्था गर्म हो जाता है। ऊष्मा, लोहे की छड़ के अनुदिश चालन द्वारा संचरित होती है। लोहे की छड़ के परमाणु व इलेक्ट्रॉनों का कम्पन आयाम गर्म सिरे पर वातावरण के उच्चताप के कारण अधिकतम मान प्राप्त कर लेता है। ये बढ़े हुए कम्पन आयाम, पड़ौसी परमाणुओं के मध्य परमाणु से परमाणु की टक्कर के दौरान छड़ के अनुदिश संचरित होते हैं। इस प्रकार बढ़ा हुआ ताप का क्षेत्र छड़ की लम्बाई के अनुदिश आपके हाथ तक फैलता है।

फलकीय क्षेत्रफल A व मोटाई L की एक पट्टिका पर विचार कीजिये जिसके फलकों का ताप T_H व T_C ($T_H > T_C$) है।



अब पट्टिका में अन्तराल dx पर स्थितियों A व B पर दो अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफलों पर विचार कीजिये। फलक A का ताप T व फलक B का ताप $T + \Delta T$ मानिये। प्रयोगों द्वारा प्रदर्शित होता है कि x दूरी पर t समय में पट्टिका के A क्षेत्रफल से गुजर रही ऊष्मा की मात्रा Q निम्न के द्वारा दी जाती है।

$$\boxed{\frac{Q}{t} = -KA\frac{dT}{dx}} \qquad .....(2.1)$$

यहां K एक नियतांक है जो पट्टिका के पदार्थ पर निर्भर है इसको पदार्थ की ऊष्मा चालकता कहते हैं एवं राशि $\left(\frac{dT}{dx}\right)$ को ताप प्रवणता कहते हैं। समीकरण (2.1) में (–) चिन्ह प्रदर्शित करता है कि ऊष्मा उच्चताप से निम्न ताप की ओर प्रवाहित होती है। ΔT –ve राशि है

3. स्थायी अवस्था (STEADY STATE)

यदि उपरोक्त प्लेट में किसी स्थिति x पर अनुप्रस्थ काट का तापमान समय के साथ नियत रहता है। (याद रखें यह स्थिति x के साथ परिवर्तित होती है) प्लेट स्थायी अवस्था में है। याद रखें स्थायी अवस्था, तापीय साम्यावस्था से अलग है, जिसके लिए किसी स्थिति x पर प्लेट में ताप समान रहना चाहिये। स्थायी अवस्था में किसी चालक के लिए किसी अनुप्रस्थ काट पर ऊष्मा का अवशोषण या उत्सर्जन नहीं होना चाहिए (क्योंकि प्रत्येक बिन्दु पर तापमान समय के साथ नियत रहता है)। बाँया व दाँया फलक नियत ताप क्रमशः T_H व T_C पर रखे जाते है, एवं अन्य सभी फलकों की दीवारें रूद्धोष्म हैं ताकि

उनसे कोई ऊष्मा बाहर नहीं निकलती एवं दिये गये समायान्तराल में प्रत्येक अनुप्रस्थ काट से समान ऊष्मा की मात्रा प्रवाहित होती है। इस प्रकार $Q_1 = Q = Q_2$ हो तो, परिणामस्वरूप पूरी प्लेट में ताप प्रवणता समान है।

अतः, $\frac{dT}{dx} = \frac{\Delta T}{L} = \frac{T_f - T_i}{L} = \frac{T_C - T_H}{L}$ व $\frac{Q}{t} = -KA\frac{\Delta T}{L}$

$$\Rightarrow \quad \frac{Q}{t} = KA\left(\frac{T_H - T_C}{L}\right) \quad \text{.... (3.1)}$$

यहाँ Q, समयान्तराल t में किसी स्थिति पर प्लेट के अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल से प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा है।

Solved Examples

Example 1 2 मीटर भुजा के एक ऐल्यूमिनियम के घन के एक फलक का ताप 100°C एवं दूसरे सिरे का 0°C रखा जाता है एवं सभी सतह रूद्धोष्म दीवारों से घिरी हुई है। घन के द्वारा 5 से. में प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा ज्ञात कीजिये। (ऐल्यूमिनियम की ऊष्मा चालकता 209 W/m–°C है।

Solution : ऊष्मा 100ºC वाले सिरे से 0ºC वाले सिरे की ओर प्रवाहित होगी। ऊष्मा प्रवाह की दिशा के लम्बवत् अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल–

$A = 4m^2$

तो $\frac{Q}{t} = KA\frac{(T_H - T_C)}{L}$

$$Q = \frac{(209W/m^oC)(4m^2)(100^oC - 0^oC)(5sec)}{2m} = 209 \text{ KJ } \textbf{Ans.}$$

4. चालन में ताप प्रतिरोध (THERMAL RESISTANCE TO CONDUCTION)

यदि आप अपने घर को ठंडे मौसम से अवरोधित करने के इच्छुक हैं या अपने टिफिन बॉक्स में खाना गर्म रखने के, तो आप की रूचि अच्छे चालकों की बजाय खराब ऊष्मा चालकों में अधिक हैं। इस कारण से ताप प्रतिरोध R का परिचय करवाया गया है।

अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A, मोटाई L व ऊष्मा चालकता K की एक प्लेट के लिए

$$R = \frac{L}{KA} \quad \text{............ (4.1)}$$

स्थायी अवस्था में प्लेट द्वारा प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा R के पदों में (t समय में)

$$\frac{Q}{t} = \frac{(T_H - T_C)}{R}$$

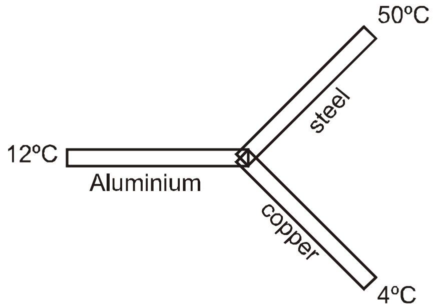
यदि हम $\frac{Q}{t}$ को तापीय धारा i_T का नाम दें

$$\text{तो,} \quad i_T = \frac{T_H - T_C}{R} \quad \text{............(4.2)}$$

यह गणितीय रूप में ओम के नियम के तुल्य है। तापमान, विद्युत विभव की भूमिका अदा कर रहा है। अतः ओम के नियम से व्युत्पन्न परिणाम ऊष्मीय चालन के लिए भी सत्य है। स्थायी अवस्था में एक प्लेट के लिए हम देख चुके है कि तापीय धारा i_T प्रत्येक अनुप्रस्थ काट पर समान रहती है। यह विद्युतिकी में किरचोफ के धारा के नियम के समरूप है जो अब ऊष्मीय चालन में आसानी से उपयोग किया जा सकता है।

Solved Examples

Example.2 तीन एक समान छड़ों की लम्बाई प्रत्येक 1 मी., प्रत्येक का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 1 सेमी^{2} है एवं ये ऐल्यूमिनियम तांबे व इस्पात की बनी हैं, जिनके मुक्त सिरों के ताप क्रमशः 12ºC, 4ºC व 50ºC है, पर रखे जाते है। उनकी उभयनिष्ठ संधि का ताप ज्ञात कीजिये [K_{Cu} = 400 W/m-K, K_{Al} = 200 W/m-K, K_{steel} = 50 W/m-K]



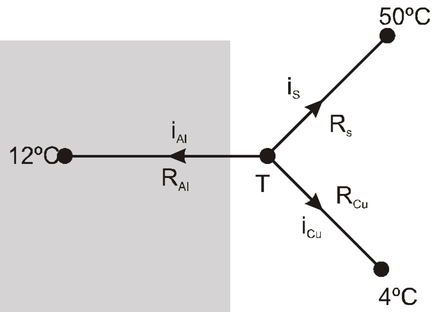
Solution : $R_{Al} = \dfrac{L}{KA} = \dfrac{1}{10^{-4} \times 200} = \dfrac{10^4}{200}$

इसी प्रकार $R_{steel} = \dfrac{10^4}{50}$ तथा $R_{Cu} = \dfrac{10^4}{400}$

माना कि उभयनिष्ठ संधि का ताप = T

तो किरचोफ के धारा के नियम से,

$i_{Al} + i_{steel} + i_{Cu} = 0$



$\Rightarrow \dfrac{T-12}{R_{Al}} + \dfrac{T-50}{R_{steel}} + \dfrac{T-4}{R_{Cu}} = 0$

$\Rightarrow$ (T – 12) 200 + (T – 50) 50 + (T – 4) 400

$\Rightarrow$ 4(T – 12) + (T – 50) + 8 (T – 4) = 0

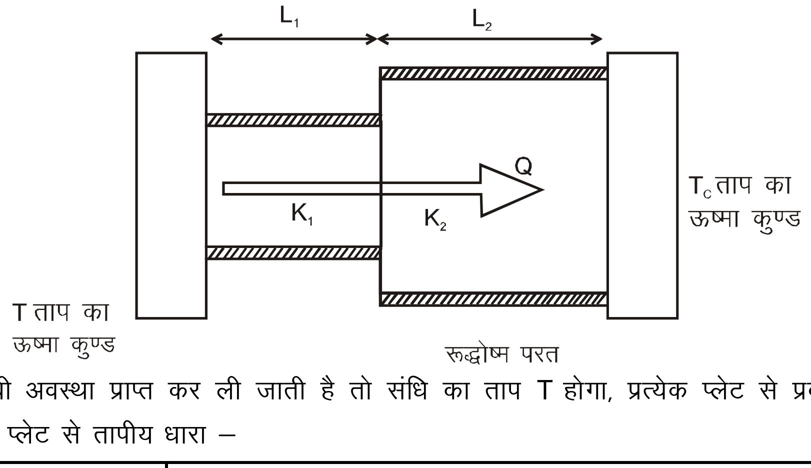
$\Rightarrow$ 13T = 48 + 50 + 32 = 130

$\Rightarrow$ T = 10ºC **Ans.**

5. समान्तर व श्रेणीक्रम में प्लेटें (SLABS IN PARALLEL AND SERIES)

5.1 श्रेणी क्रम में प्लेटें (स्थायी अवस्था में)

दो पदार्थो जिनकी मोटाई L_1 व L_2 अलग–अलग अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A_1 व A_2 तथा भिन्न ऊष्मा चालकता K_1 व K_2 हैं से बनी एक संयुक्त प्लेट पर लीजिये। बाह्य सतहों के ताप T_H व T_C रखे जाते है, एवं सभी पार्श्व सतहों पर रूद्धोष्म परत चढ़ा दी जाती है।



माना जब स्थायी अवस्था प्राप्त कर ली जाती है तो संधि का ताप T होगा, प्रत्येक प्लेट से प्रवाहित तापीय धारा समान होगी। तो प्रथम प्लेट से तापीय धारा –

$i = \frac{Q}{t} = \frac{T_H - T}{R_1}$ या $T_H - T = iR_1$ .... (5.1)

एवं द्वितीय प्लेट से

$i = \frac{Q}{t} = \frac{T - T_C}{R_2}$ या $T - T_C = iR_2$ ....(5.2)

समी. 5.1 व 5.2 को जोड़ने पर

$T_H - T_L = (R_1 + R_2)\, i$ या $i = \frac{T_H - T_C}{R_1 + R_2}$

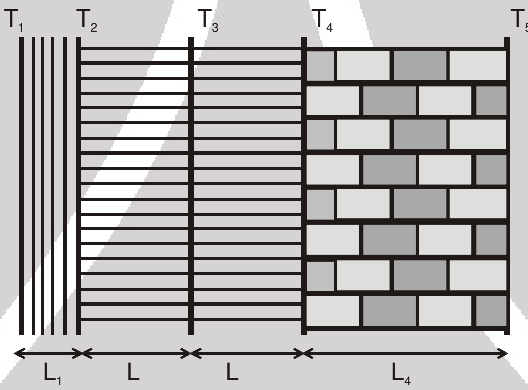
इस प्रकार दोनों प्लेटें ताप प्रतिरोध $R_1 + R_2$ की एकल प्लेट के तुल्य हैं।

यदि श्रेणीक्रम में दो से अधिक प्लेटें जोड़ी जाती हैं, एवं स्थायी अवस्था प्राप्त करने दी जाती है तो ताप प्रतिरोध व्यक्त किया जा सकता है –

$R = R_1 + R_2 + R_3 + ...$ ....(5.3)

Solved Examples

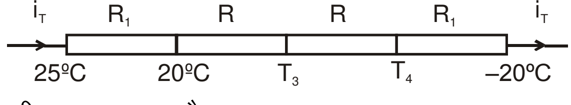
Example. 3 चित्र में एक पहाड़ी स्थल पर बने मकान की बाह्य दीवार का अनुप्रस्थ काट दिखाया गया जो मकान को बाहर के गलन ताप से अवरूद्ध रखती है दीवार की L_1 मोटाई में चीड़ की लकड़ी है एवं मोटाई ($L_2 = 5L_1$) में ईटें है। इनके बीच समान ऊष्मा चालकता के अज्ञात पदार्थ की दो परतें है। चीड़ की लकड़ी की ऊष्मा चालकता K_1 है व ईंट की $K_2 = 5K_1$ है। दीवार से चालन स्थायी अवस्था में पहुंचने के बाद तीन सतहों का तापमान ज्ञात है, $T_1 = 25ºC$, $T_2 = 20ºC$ एवं $T_5 = –20ºC$। आन्तरिक सतहों का ताप T_4 व T_3 ज्ञात कीजिये।



Solution : माना आन्तरिक सतह का क्षेत्रफल A है, तो लकड़ी का ताप प्रतिरोध $R_1 = \frac{L_1}{K_1 A}$ एवं ईंट की दीवार का

$R_2 = \frac{L_2}{K_2 A} = \frac{5L_1}{5K_1 A} = R_1$

माना बीच की प्रत्येक परत का ताप प्रतिरोध = R है, तो उपरोक्त दीवार का परिपथ की तरह विश्लेषण करने पर



प्रत्येक दीवार से तापीय धारा समान है।

अतः $\frac{25 - 20}{R_1} = \frac{20 - T_3}{R} = \frac{T_3 - T_4}{R} = \frac{T_4 + 20}{R_1} \Rightarrow 25 - 20 = T_4 + 20 \Rightarrow T_4 = -15ºC$ **Ans.**

also, $20 - T_3 = T_3 - T_4$ $\Rightarrow$ $T_3 = \frac{20 + T_4}{2} = 2.5ºC$ **Ans.**

Example. 4 उदाहरण 3 में, K_1 = 0.125 W/m–ºC, $K_2 = 5K_1$ = 0.625 W/m–ºC एवं अज्ञात पदार्थ की ऊष्मा चालकता K = 0.25 W/mºC है। L_1 = 4cm, $L_2 = 5L_1$ = 20cm है। यदि मकान में केवल एक कमरा है जिसकी दीवारों का क्षेत्रफल 100 m^2 है, तो कमरे में उपयोग किये जा रहे विद्युत हीटर की शक्ति ज्ञात कीजिये।

Solution : **I[st] method** $R_1 = R_2 = \dfrac{(4\times10^{-2}m)}{(0.125 w/m\text{–}^oC)(100m^2)}$ = 32 × 10^{-4} ºC/w

$\because \quad \dfrac{25-20}{R_1} = \dfrac{20-T_3}{R}$

$\Rightarrow \quad L = \dfrac{17.5}{5} \times \dfrac{K}{K_1} L_1 = 28$ cm

$R = \dfrac{L}{KA}$ = 112 × 10^{-4} ºC/W

पूरी दीवार का तुल्य ताप प्रतिरोध = $R_1 + R_2 + 2R$ = 288 × 10^{-4} ºC/W

$\therefore$ कुल ऊष्मीय धारा, अर्थात मकान से प्रति सेकण्ड बाहर निकल रही ऊष्मा की मात्रा = $\dfrac{T_H - T_C}{R}$

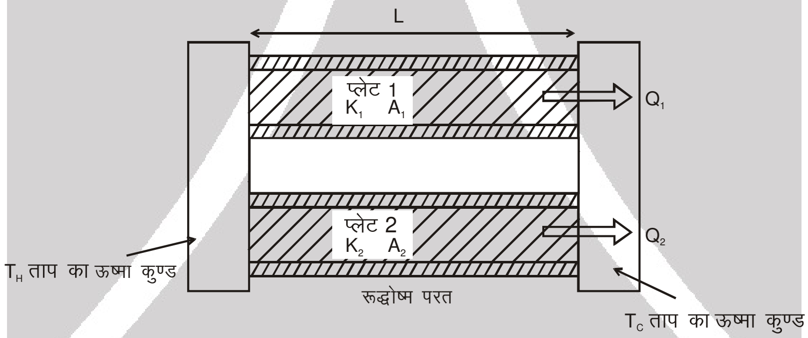
$= \dfrac{25^oC-(-20^oC)}{288\times10^{-4}\,^oC/w} = \dfrac{45\times10^4}{288}$ watt = 1.56 Kwatt

अतः निर्गत ऊष्मा की पूर्ति करने के लिए हीटर द्वारा 1.56 kW दी जानी चाहिये। **Ans.**

II[nd] method

$i = \dfrac{T_1-T_2}{R_1} = \dfrac{25-20}{32\times10^{-4}}$ = 1.56 Kwatt

5.2 समान्तर क्रम में प्लेटें :



दो ऊष्मा कुण्डों (heat reservoirs) के मध्य रखी दो प्लेटों पर विचार कीजिये। उनकी ऊष्मीय चालकता K_1 व K_2 तथा अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A_1 व A_2 है तो $R_1 = \dfrac{L}{K_1A_1}$, $R_2 = \dfrac{L}{K_2A_2}$

प्लेट 1 के द्वारा तापीय धारा $i_1 = \dfrac{T_H-T_C}{R_1}$ एवं प्लेट 2 से $i_2 = \dfrac{T_H-T_C}{R_2}$

गर्म से ठण्डे कुण्ड (reservoir) की ऊष्मीय धारा $i = i_1 + i_2 = (T_H - T_C)\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}\right)$

$i = \dfrac{T_H-T_C}{R_{eq}}$, से तुलना करने पर हम पाते हैं

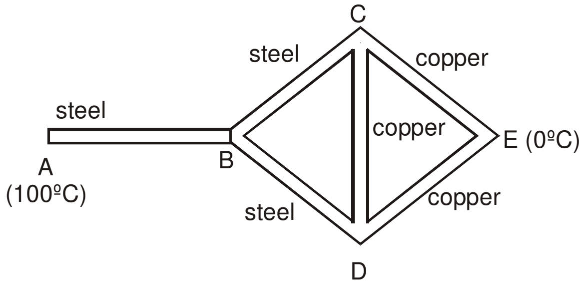
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

यदि दो से अधिक छड़ें समान्तर क्रम में जोड़ी जाती है तो तुल्य प्रतिरोध निम्न से दिया जायेगा

$$\frac{1}{R_{eq}} = +\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3} \qquad \text{.......... (5.4)}$$

Solved Examples

Example. 5 ताँबें की तीन छड़े एवं इस्पात की तीन छड़ें प्रत्येक की लम्बाई ℓ = 10 सेमी. एवं अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 1 सेमी^{2} चित्रानुसार जोड़े जाते है।



यदि सिरे A व E क्रमशः ताप 125ºC व 0ºC पर रखे जाते है, तो गर्म से ठंडी संधि की ओर प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा ज्ञात कीजिये। (सारणी 3.1 का उपयोग कीजिये)

Solution : $R_{steel} = \frac{L}{KA} = \frac{10^{-1}m}{46(W/m\text{–}^oC)\times10^{-4}m^2} = \frac{1000}{46}$ ºC/W.

इसी प्रकार $R_{Cu} = \frac{1000}{385}$ ºC/W

संधि C व D सभी प्रकार से एक जैसी हैं एवं दोनों संधि का ताप समान होगा। परिणाम स्वरूप छड़ CD तापीय साम्य में है एवं इससे कोई ऊष्मा प्रवाहित नहीं होगी। अतः आगे के विश्लेषण में यह छोड़ी जा सकती है। अब छड़ BC एवं CE श्रेणीक्रम में हैं व उनका तुल्य प्रतिरोध $R_1 = R_S + R_{Cu}$ है। इसी प्रकार छड़ BD व DE भी श्रेणी क्रम में हैं एवं उनका तुल्य प्रतिरोध भी $R_1 = R_S + R_{Cu}$ उतना ही होगा।

ये दोनों समान्तर क्रम में हैं जिनका तुल्य प्रतिरोध $\frac{R_1}{2} = \frac{R_S + R_{Cu}}{2}$

यह प्रतिरोध छड़ AB के साथ श्रेणीक्रम में है। अतः संयोजन का तुल्य प्रतिरोध होगा

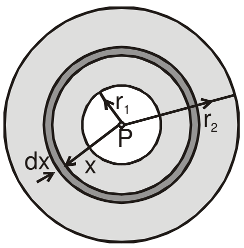
$$R = R_{steel} + \frac{R_1}{2} = \frac{3R_{steel} + R_{Cu}}{2} = 500\left(\frac{3}{46} + \frac{1}{385}\right)^oC/W$$

अब $i = \frac{T_H - T_C}{R} = \frac{100\ ^oC}{500\left(\frac{3}{46}+\frac{1}{385}\right)^oC/W} = \frac{46\times385}{5(385\times3+46)}$ Watt. = 2.95 Watt. **Ans.**

Example. 6 दो पतले संकेन्द्रीय कोश तांबे से बने हैं जिनकी त्रिज्या r_1 व r_2 ($r_2 > r_1$) है। उनके मध्य K ऊष्मा चालकता का पदार्थ भरा है। दोनों गोलो के केन्द्र पर P शक्ति के एक हीटर द्वारा आन्तरिक व बाह्य गोलों को क्रमशः T_H व T_C ताप पर रखा जाता है। P का मान ज्ञात कीजिये।

Solution : गोले के प्रत्येक अनुप्रस्थ काट से प्रति सेकण्ड प्रवाहित ऊष्मा = P = i.

x त्रिज्या व dx मोटाई के गोलीय कोश का ताप प्रतिरोध होगा



$$dR = \frac{dx}{K.4\pi x^2} \Rightarrow R = \int_{r_1}^{r_2}\frac{dx}{4\pi x^2.K} = \frac{1}{4\pi K}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

तापीय धारा $i = P = \frac{T_H - T_C}{R} = \frac{4\pi K(T_H - T_C)\ r_1\ r_2}{(r_2 - r_1)}$. **Ans.**

Example 7. नगण्य ऊष्मा धारिता के एक पात्र में 1 किग्रा. जल है। इसे एक इस्पात की छड़ लम्बाई 10 मी. व अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 10 सेमी.^{2} के द्वारा एक बड़े भाप के कक्ष से जोड़ा जाता है जिसका ताप 100ºC रखा जाता है। यदि जल का प्रारम्भिक ताप 0ºC है, तो वह समय ज्ञात कीजिये जिसके बाद यह 50ºC हो जाता है। (इस्पात की छड़ की ऊष्मा धारिता नगण्य मानिये एवं यह मानिये कि वातावरण को ऊष्मा क्षय नहीं होता) (सारणी 3.1 का उपयोग कीजिये एवं जल की विशिष्ट ऊष्मा = 4180 J/Kg°C लें)

Solution : माना t समय पर जल का ताप T है तो t समय पर ऊष्मीय धारा $i = \left(\frac{100 - T}{R}\right)$

यह जल का ताप T से T + dT तक बढ़ाती है।

$$\Rightarrow \quad i = \frac{dH}{dt} = ms\frac{dT}{dt} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{100 - T}{R} = ms\frac{dT}{dt}$$

$$\Rightarrow \quad \int_0^{50}\frac{dT}{100 - T} = \int_0^t \frac{dT}{Rms} \qquad \Rightarrow \qquad -\ell n\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{t}{Rms}$$

or $\quad t = Rms\ \ell n2 \text{ sec} = \frac{L}{KA}\ ms\ \ell n2 \text{ sec}$

$$= \frac{(10m)\ (1\ kg)(4180\ J/kg\text{–}^oC)}{46(w/m\ ^oC)\times(10\times10^{-4}m^2)}\ell n2 = \frac{418}{46}(0.69)\times10^5 = 6.27\times10^5 \text{ sec} = 174.16 \text{ hours}$$ **Ans.**

क्या आप निम्न तथ्यों को देखकर इनको ऊष्मीय चालन के आधार पर समझा सकते है ?

(a) जाड़ों में लोहे की कुर्सियां लकड़ियों की कुर्सियों से ज्यादा ठण्डी प्रतीत होती है।
(b) पिघलने से रोकने के लिए बर्फ को बोरे से ढका जाता है
(c) ऊनी कपड़े गर्म होते है।
(d) फर वाले कोट में हम गर्मी महसूस करते है।
(e) दो पतले कम्बल, दुगुनी मोटाई के एक कम्बल से ज्यादा गर्मी देते हैं।
(f) जाड़ों में चिडियाँ अपने पंख फैला लेती है।
(g) नई रजाई, पुरानी रजाई से ज्यादा गर्म होती है।
(h) केटली में लकड़ी के हत्थे लगाये जाते है।
(i) एस्किमों दोहरी दीवार के बर्फ के घर बनाते है।
(j) अन्दर, बाहर से ऊष्मा संचरण को रोकने के लिए थर्मस फ्लास्क दो दीवारों का बनाया जाता है।

6. संवहन *(not in JEE Syllabus)

जब द्रव में एक स्थान से दूसरे स्थान तक उष्मा प्रवाह ऊष्मीय अणुओं की वास्तविक गति के कारण होता है तो इस प्रक्रम को संवहन कहते है। द्रव तथा गैसों में कुछ उष्मा, चालन के द्वारा भी प्रवाहित होती है परन्तु अधिकांश ऊष्मा संवहन के द्वारा प्रवाहित होती हैं। संवहन पृथ्वी के गुरूत्वीय प्रभाव के कारण उत्पन्न होता है। साधारणतया द्रव का उच्चताप वाला भाग विरल होता है। जबकि निम्न ताप वाला भाग सघन होता है। अतः संवहन के आधार पर गर्म द्रव ऊपर उठता है। जबकि ठण्डा द्रव नीचे बैठता है। गुरूत्व की अनुपस्थिति में संवहन सम्भव नहीं है।

जल का यह विपरीत (anamalous) व्यवहार (0-4ºC ताप के मध्य इसका घनत्व बढ़ता है) जिसके कारण रूचिकर घटनायें उत्पन्न होती है साथ ही संवहन की प्रक्रिया होती है। इनमें से एक रूचिकर घटना ध्रुवों पर जल के अन्दर जीवन है। दूसरा वर्षा चक्रक है।

क्या आप निम्न तथ्यों को देखकर इनको ऊष्मीय संवहन के आधार पर समझा सकते है ?

(a) समुद्र का पानी सतह पर बर्फ के रूप में जम जाता है, जबकि तल का पानी नहीं जमता।
(b) गहरे समुद्रों के तल पर पानी का तापमान 4ºC के लगभग रहता है। चाहे वातावरण गर्म हो या ठण्डा हो।
(c) मुक्त रूप से गिरती हुई लिफ्ट अथवा पृथ्वी के कृत्रिम उपग्रह में मोमबत्ती नहीं जला सकते है।
(d) आप अपने कमरे को मोमबत्ती के द्वारा प्रकाशित कर सकते है।

7. विकिरण

विकिरण प्रक्रम में एक स्थान से दूसरे स्थान तक ऊष्मा प्रवाह माध्यम को बिना गर्म करे ही प्रवाहित होती है। यहां पर प्रयुक्त विकिरण शब्द के लिए एक दूसरा शब्द विद्युत चुम्बकीय तरंगे है।

ये तरंगे वि. क्षेत्र तथा लम्बवत् चुम्बकीय क्षेत्रों के अध्यारोपण से बनती है तथा ऊर्जा प्रवाहित करती है।

विकिरण के गुणधर्म :

(a) साधारतया सभी वस्तुऐं विकिरण उत्सर्जित करती है क्योंकि इनका तापमान परम शून्य ताप से ज्यादा होता है और सभी वस्तुऐं अपने ऊपर दूसरी वस्तुओं के द्वारा आपतित कुछ विकिरणों को अवशोषित करते है।

(b) मैक्सवेल ने अपनी विद्युत चुम्बकीय सिद्धान्त के आधार पर समझाया कि सभी विकिरणें विद्युत चुम्बकीय तरंगें होती है और इनके स्त्रोत अणुओं व परमाणुओं के कम्पन्न करते हुए आवेशित कण होते है।

(c) उच्च तापमान पर वस्तु अधिक विकिरण उत्सर्जित करती है। तथा निम्न तापमान पर कम विकिरण उत्सर्जित करती है।

(d) अधिकतम विकिरण उत्सर्जन के संगत तरंगदैर्ध्य में विस्थापन तापमान बढ़ने के साथ अधिकतम तरंगदैर्ध्य से निम्न तरंग दैर्ध्य की ओर विस्थापित होती है। इस कारण वस्तु के रंग में परिवर्तन प्रतीत होता है। NTP पर वस्तु द्वारा उत्सर्जित विकिरणें अवरक्त तरंगे होती है।

(e) ऊष्मीय विकिरण प्रकाश की चाल से और सीधी रेखा में गति करती है।

(f) विकिरणें विद्युत चुम्बकीय तरंगें होती है तथा ये निर्वात में गति कर सकती है।

(g) प्रकाश की तरह उष्मीय विकिरण परावर्तन, अपवर्तन विवर्तन तथा ध्रुवण प्रदर्शित कर सकती है।

(h) बिन्दु स्त्रोत से उत्सर्जित विकिरण व्युत्क्रम वर्ग के नियम का पालन करती है। (तीव्रता $\alpha \frac{1}{r^2}$).

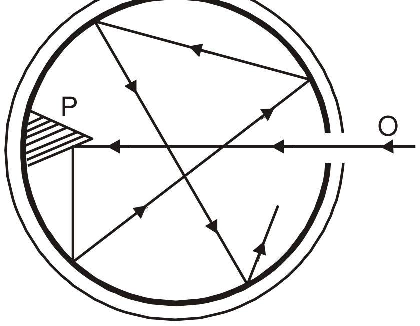
8. प्रीवोष्ट का ऊष्मा विनिमय का नियम

इस सिद्धान्त के अनुसार सभी वस्तुएॅ सभी तापमानों पर उष्मीय विकिरण उत्सर्जित करती है। एकांक समय में उत्सर्जित उष्मीय विकिरण की मात्रा उत्सर्जक सतह की प्रकृति, सतह के क्षेत्रफल तथा सतह के तापमान पर निर्भर करती है। उच्च तापमान पर विकिरण की दर तीव्र होती है। जबकि वस्तु उसके चारों तरफ स्थित वस्तुओं द्वारा उत्सर्जित विकिरण की कुछ मात्रा अवशोषित भी करती है। यदि कोई वस्तु अवशोषण से ज्यादा उत्सर्जित करती है तो उसका तापमान गिरता है तथा तब कोई वस्तु अवशोषण से कम उत्सर्जित करती है तो उसका तापमान बढ़ता है और यदि वस्तु का ताप वातावरण के ताप के बराबर है तो यह उतनी ही दर से विकिरण उत्सर्जित करतीहै जितनी यह अवशोषित करती है।

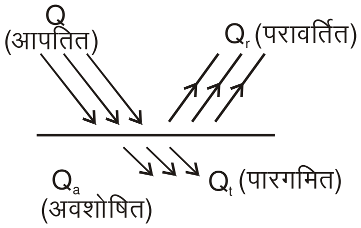
9. आदर्श कृष्णिका और काली वस्तु से विकिरण उत्सर्जन (फेरी की कृष्णिका)

एक आदर्श कृष्णिका अपने ऊपर आपतित सभी तरंग दैर्ध्यो की विकिरणों को अवशोषित कर लेती है। ना तो यह परावर्तित करती है और ना ही अपने ऊपर आपतित विकिरण को पारगमित करती है। अतः यह आपतित विकिरणों के किसी भी रंग के लिए काली प्रतीत होती है। वास्तव में कोई भी वास्तविक वस्तु आदर्श कृष्णिका की तरह व्यवहार नहीं करती है। परन्तु काजल तथा प्लेटिनम कालिख कृष्ण वस्तु की तरह व्यवहार करते है। ये आपतित विकिरणों का 99% तक अवशोषित कर लेते है। सबसे सरल व सर्वाधिक प्रयुक्त कृष्णिका फेरी द्वारा बनाई गई है।

यह एक अल्प खुले भाग वाली वस्तु होती है।जो कि अन्दर से काली पुती हुई होती है। खुला सिरा आदर्श काली वस्तु की तरह व्यवहार करता है। इसके अन्दर विकिरण जाने के पश्चात बाहर निकलने के पहले सम्पूर्ण विकिरण उत्तरोतर परार्वतन के कारण अवशोषित हो जाती है। खुले सिरे के सामने शंकू के कारण कोई भी विकिरण बाहर नहीं निकलती ।



10. विकिरणों का अवशोषण, परावर्तन और पारगमन



$$Q = Q_r + Q_t + Q_a$$

$$1 = \frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_t}{Q} + \frac{Q_a}{Q}$$

$$1 = r + t + a$$

जहाँ r = परावर्तन क्षमता, a = अवशोषण क्षमता

और t = पारगमन क्षमता

(i) r = 0, t = 0, a = 1, आदर्श कृष्ण वस्तु

(ii) r = 1, t = 0, a = 0, पूर्ण परावर्तक

(iii) r = 0, t = 1, a = 0, पूर्ण पारगमित

10.1 अवशोषण क्षमता

किसी भी वस्तु की अवशोषण क्षमता को अवशोषित ऊर्जा तथा आपतित ऊर्जा के अनुपात के रूप में परिभाषित करते है।

$$a = \frac{\text{अवशोषित ऊर्जा}}{\text{आपतित ऊर्जा}}$$

वस्तु के ऊपर आपतित सभी विकिरणें अवशोषित हो जाती हो तो कृष्ण वस्तु के लिए a = 1 होगा।

10.2 उत्सर्जन क्षमता

क्षेत्रफल के लम्बवत् एकांक समय में एकांक क्षेत्रफल से ये उत्सर्जित ऊर्जा, उत्सर्जन क्षमता कहलाती हैं।

$$E = \frac{Q}{\Delta A \ \ \Delta t}$$

(नोट– अवशोषण क्षमता, उत्सर्जन क्षमता विमाहीन राशि नहीं है)

10.3 स्पेक्ट्रमी उत्सर्जन क्षमता

तरंग दैर्ध्य λ पर, प्रति इकाई तरंग दैर्ध्य परास के लिए उत्सर्जन क्षमता, स्पेक्ट्रमी उत्सर्जन क्षमता कहलाती है। यदि E सम्पूर्ण उत्सर्जन क्षमता तथा E_λ स्पेक्ट्रमी उत्सर्जन क्षमता हो तो इनके बीच सम्बन्ध

$$E = \int_0^\infty E_\lambda \, d\lambda \quad \text{तथा} \quad \frac{dE}{d\lambda} = E_\lambda$$

10.4 उत्सर्जकता

$$e = \frac{T \text{ तापमान पर वस्तु की उत्सर्जन क्षमता}}{T \text{ तापमान पर कृष्ण वस्तु की उत्सर्जन क्षमता}} = \frac{E}{E_0}$$

11. किरचौफ का नियम

सभी वस्तुओं के लिए समान तापमान पर दी गई सभी तरंगदैर्ध्य के लिए उत्सर्जन क्षमता व अवशोषण क्षमता का अनुपात, समान तरंगदैर्ध्य व समान तापमान पर कृष्णिका के लिए उत्सर्जन क्षमता के बराबर होता है।

$$\frac{E \ (\text{वस्तु})}{a \ (\text{वस्तु})} = E\,(\text{कृष्ण वस्तु})$$

अतः हमेशा अच्छे उत्सर्जक, अच्छे अवशोषक भी होते है।

12. ऊष्मीय विकिरण की प्रकृति (वीन का विस्थापन नियम)

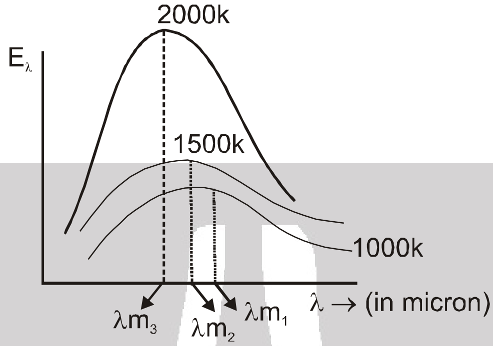
कृष्ण वस्तु के उर्जा वितरण वक्र से निम्न निष्कर्ष निकलते हैं।

(a) वस्तु के उच्च तापमान पर वक्र के नीचे का क्षेत्रफल अत्यधिक होता है। अतः उच्च तापमान पर वस्तु अत्यधिक मात्रा में ऊर्जा उत्सर्जित करती है।

(b) भिन्न भिन्न तापमानों पर वस्तु द्वारा उत्सर्जित उर्जा असमान होती है। लम्बी व छोटी तरंगदैर्ध्य के लिए उत्सर्जित उर्जा बहुत कम होती है।

(c) दिये गये तापमान पर, एक निश्चित तरंगदैर्ध्य (λ_m) पर उत्सर्जित उर्जा (E_λ) अधिकतम होती हैं।

(d) जब कृष्ण वस्तु का तापमान बढ़ाया जाता है।
वक्र का उच्चिष्ठ मान कम तरंगदैर्ध्य की तरफ विस्थापित होता हैं।



ऊपर समझायें गये कृष्णिका के ऊर्जा वितरण से यह सिद्ध होता है कि कृष्णिका का तापमान बढ़ाने पर आपतित अधिकतम तीव्रता के संगत तरंगदैर्ध्य का मान घटता है।

अर्थात $\lambda_m \propto \frac{1}{T}$ या $\lambda_m T = b$

(वीन विस्थापन स्थिरांक) b = 0.282 cm-K

Solved Examples

Example. 8 सूर्य विकिरण कि अधिकतम् तीव्रता 470 nm परास तरंग दैर्ध्य के संगत मिलती है। सूर्य की सतह को पूर्ण अवशोषक (a = 1) मान सकते है। सूर्य की सतह का ताप ज्ञात करो

Solution : चूंकि a =1है,सूर्य को काली वस्तु की तरह उत्सर्जित करते हुए मान सकते है।
काली वस्तु के लिए वीन के नियम से $\lambda_m . T = b$

$$\Rightarrow T = \frac{b}{\lambda_m} = \frac{0.282 \ (cm-K)}{(470 \times 10^{-7} cm)} \simeq 6000 \text{ K.} \qquad \textbf{Ans.}$$

13. स्टीफन बोल्टजमेन का नियम

इस नियम के अनुसार किसी पृष्ठ के प्रति एकांक क्षेत्रफल से ऊष्मा विकिरण की मात्रा पृष्ठ के परम ताप की चतुर्थ घात के समानुपाती होता है। काली वस्तु के लिए एकांक समय व एकांक क्षेत्रफल से विकिरित ऊर्जा,

$$u = \sigma A T^4 \qquad .....(13.1)$$

यहाँ σ स्टीफन नियतांक = 5.67×10^{-8} W/m^2 k^4

चूंकि कोई वस्तु जो कृष्णिका नहीं है समीकरण (13.1) में दी गई विकिरण से कम अवशोषित व उत्सर्जित करती है।

ऐसी वस्तु के लिए, $u = e\sigma AT^4$ .....(13.2)

यहाँ e = उत्सर्जकता (अवशोषण क्षमता के बराबर होती है।) इसका मान 0 से 1 के बीच होता है।

यदि वातावरण का ताप T_0 हो, तो क्षेत्रफल A द्वारा एकांक समय में उत्सर्जित कुल ऊर्जा

$$\Delta u = u - u_0 = e\sigma A(T^4 - T_0^4) \qquad .....(13.3)$$

Solved Examples

Example. 9 एक वस्तु की उत्सर्जकता (e = 0.75) सतह क्षेत्रफल 300 cm^2 और 227º तापमान पर 27º तापमान के कमरे मे रखी जाती है। वस्तु द्वारा उत्सर्जित प्रारम्भिक कुल शक्ति का मान ज्ञात करो?

Solution : समीकरण 13.3 के प्रयोग से

$P = \rho\sigma A\,(T^4 - T_0^4)$

$= (0.75)\,(5.67 \times 10^{-8}\ W/m^2\text{–}K^4)\,(300 \times 10^{-4}\ m^2) \times \{(500\ K)^4 - (300\ K)^4\} =$ 69.4 Watt. **Ans.**

Example. 10 एक गर्म कृष्णिका 16 J $m^{-2}\ s^{-1}$ की दर से ऊर्जा उत्सर्जित करती है तथा उसकी सबसे सघन विकिरण 20,000 Å है। जब वस्तु का तापमान और बढ़ाया जाता है तो इसकी सबसे सघन विकिरण 10,000 Å, हो जाती है तो उत्सर्जित ऊर्जा का मान $Jm^{-2}\ s^{-1}$ में ज्ञात करो।

Solution : वीन के विस्थापन नियम से : $\lambda_m .T = b$

i.e. $T \propto \dfrac{1}{\lambda_m}$

जब, λ_m आधी होती है–

$\therefore$ तापमान दुगुना हो जाता है।

तथा $e = \sigma T^4$

$\Rightarrow \dfrac{e_1}{e_2} = \left(\dfrac{T_1}{T_2}\right)^4 \Rightarrow e_2 = \left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^4 .e_1 = (2)^4 .16 = 16.16 = 256\ J\ m^{-2}\ s^{-1}$ **Ans.**

14. न्यूटन का शीतलन का नियम :

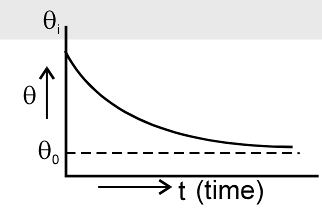
वस्तु व वातावरण के मध्य अल्प तापान्तर के लिए किसी वस्तु की ऊष्मा हास की दर, आस–पास की वस्तुओं से उसके तापान्तर तथा प्रयुक्त सतह क्षेत्रफल के समानुपाती होती है

अर्थात $\dfrac{d\theta}{dt} \propto (\theta - \theta_0)$, यहाँ θ व θ_0 क्रमशः वस्तु तथा वातावरण के तापमान है।

उपरोक्त सम्बन्ध से, $\dfrac{d\theta}{dt} = -k(\theta - \theta_0)$ .....(14.1)

यह व्यंजक न्यूटन का शीतलन के नियम को प्रदर्शित करता है। इसको स्टीफन के नियम द्वारा भी प्राप्त कर सकते है। इसके द्वारा

$$k = \frac{4e\sigma\theta_0^3}{mc}A \quad .....(14.2)$$



अतः $\dfrac{d\theta}{dt} = -k[\theta - \theta_0] \Rightarrow \displaystyle\int_{\theta_i}^{\theta_f} \frac{d\theta}{(\theta - \theta_0)} = \int_0^t -k\ dt$

यहां θ_i = वस्तु का प्रारम्भिक तापमान तथा θ_f = वस्तु का अन्तिम तापमान

$\Rightarrow \ell n\dfrac{(\theta_f - \theta_0)}{(\theta_i - \theta_0)} = -kt \Rightarrow (\theta_f - \theta_0) = (\theta_i - \theta_0)\ e^{-kt}$

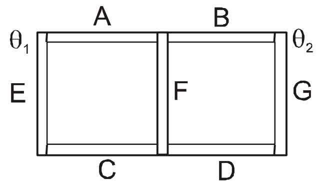
$\Rightarrow \theta_f = \theta_0 + (\theta_i - \theta_0)\ e^{-kt}$ ..... (14.3)

High Level Problems (HLP)

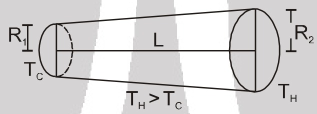
चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

विषयात्मक प्रश्न (SUBJECTIVE QUESTIONS)

1. सात छड़े A, B, C, D, E, F एवं G चित्रानुसार जोड़ी जाती है। सभी छड़ों का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A व लम्बाई ℓ समान है। छड़ों की ऊष्मीय चालकताऐं $K_A = 2K_C = 3K_B = 6K_D = K_0$ है, छड़ E नियत ताप θ_1 पर रखी जाती हैं व छड़ G नियत ताप $\theta_2(\theta_2 > \theta_1)$ पर रखी जाती है (a) प्रदर्शित कीजिये कि छड़ F का एक समान ताप $\theta = (3\theta_1 + \theta_2)/4$ है। (b) स्त्रोत से प्रवाहित ऊष्मा की दर ज्ञात कीजिये? जो θ_2 ताप बनाये रखती है।



2. चित्र में दर्शायी छड़ के अनुप्रस्थ काट से ऊष्मा प्रवाह की दर ज्ञात कीजिये ($T_H > T_C$)। छड़ के पदार्थ की ऊष्मीय चालकता K है।



3. ऐल्यूमिनियम का एक ठोस गोला व एलुमिनियम की त्रिज्या की दुगुनी त्रिज्या का तांबे का एक ठोस गोला समान ताप तक गर्म किये जाते है एवं समान परिवेश (वातावरण) ताप में ठंडे होने दिये जाते हैं। दोनों गोलों की उत्सर्जकता समान मानिये। ज्ञात करो।
(a) ऐल्यूमिनियम के गोले से ऊष्मा हानि की दर व ताँबे के गोले से ऊष्मा हानि की दर का अनुपात एवं
(b) ऐल्यूमिनियम के गोले की ताप हास की दर व तांबे के गोले की ताप हास की दर का अनुपात। एल्यूमिनियम की विशिष्ट ऊष्मा धारिता = 900 J/kg–°C एवं तांबे की विशिष्ट ऊष्मा धारिता 390 J/kg–°C तांबे का घनत्व ऐल्यूमिनियम के घनत्व का 3.4 गुना है।

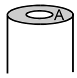
4. ताप T_0 के वातावरण में गर्म वस्तु न्यूटन के शीतलन के नियम का पालन करती है। t = 0 पर इसका ताप T_1 है। वस्तु की विशिष्ट ऊष्मा धारिता s व इसका द्रव्यमान m है तो ज्ञात करो? (a) अधिकतम ऊष्मा जो वस्तु क्षय कर सकती है व (b) t = 0 से प्रारम्भ करके वह समय जिसमें वस्तु इसकी अधिकतम ऊष्मा का 50% क्षय कर देती है। (उत्तर k के रूप में ज्ञात करें)

5. एक तांबे का गोला जिसकी आन्तरिक त्रिज्या 3 सेमी, बाह्य त्रिज्या 6 सेमी, घनत्व $\rho = 9 \times 10^3$ kg/m³, विशिष्ट ऊष्मा $s = 4 \times 10^3$ J/kg K एवं उत्सर्जकता e = 0.4 को 727°C से 227°C तक ठण्डा होने में व्यतीत समय होगा जबकि वातावरण का ताप 0 K, है (आन्तरिक सतह के लिए e = 1 स्टीफन नियतांक $\sigma = 5.6 \times 10^{-8}$ W/m² K⁴)

6. 90 J/°C ऊष्मा धारिता वाले एक धातु गुटके को 25°C वाले एक कमरे में रखकर विद्युत रूप से गर्म किया जाता है। जब तापमान 35°C पहुंच जाता है तो हीटर को बंद कर दिया जाता है। जब हीटर को शुरू करने के ठीक बाद गुटके का तापमान 2°C/s की दर से बढ़ता है और हीटर को बंद करने के ठीक बाद गुटके का तापमान 0.2 °C/s की दर से घटता है। यह मानिए कि न्यूटन का शीतलन का नियम यहां पर लागू है। (a) हीटर की शक्ति बताइए। (b) हीटर को बंद करने के ठीक बाद गुटके द्वारा विकरित (radiated) शक्ति बताइए। (c) जब गुटके का तापमान 30°C है तब गुटके के द्वारा विकरित (radiated) शक्ति बताइए। (d) यह मानते हुए कि 30ºC पर विकिरित शक्ति ऊष्मीय प्रक्रिया में औसत मान को बताता है तो वह समय बताइए जितने समय तक हीटर को चालू रखा गया।

7. एक खोखली नली की लम्बाई ℓ, आन्तरिक त्रिज्या R_1 व बाह्य त्रिज्या R_2 है। पदार्थ की ऊष्मीय चालकता K है। यदि समतल सिरे ताप T_1 व T_2 $(T_2 > T_1)$ पर रखे हों तो नली की दीवारों से प्रवाहित ऊष्मा की दर ज्ञात कीजिए।

8. लम्बाई ℓ एवं आन्तरिक व बाह्य त्रिज्या r_1 व r_2 के एक खोखले बेलन के त्रिज्यीय प्रवाह के लिये ऊष्मीय चालकत्व (ऊष्मीय प्रतिरोध का व्युत्क्रम) ज्ञात कीजिये। पदार्थ की ऊष्मीय चालकता k है।



9. आन्तरिक व बाह्य त्रिज्या r_1 व r_2 के गोलीय कोश के त्रिज्य प्रवाह के लिए ऊष्मीय चालकत्व (ऊष्मीय प्रतिरोध का व्युत्क्रम) ज्ञात कीजिए। पदार्थ की ऊष्मीय चालकता K मानिये।

10. एक धात्विक बेलनाकार पात्र जिसकी आन्तरिक व बाह्य त्रिज्याएं r_1 व r_2 है इसमे 0ºC पर बर्फ भरी जाती है। बेलन के अन्दर बर्फ का द्रव्यमान m है। बेलन के वृत्ताकार भाग पूर्णतया रूद्धोष्म दीवारों से बन्द किये गये है। पात्र वायु में रखा है। वायु का ताप 50ºC है। बर्फ को पूर्णतया पिघलने के लिए व्यतीत समय ज्ञात कीजिये। (बेलन की ऊष्मीय चालकता k है, इसकी लम्बाई ℓ, गलन की गुप्त ऊष्मा L है।)

11. L लम्बाई व k ऊष्मीय चालकता का समरूप बेलन समान क्षेत्रफल S द्रव्यमान m व अनन्त चालकता की धातु की प्लेट पर रखा जाता है। प्लेट की विशिष्ट ऊष्मा C है। बेलन का शीर्ष T_0 ताप पर है। प्लेट के ताप को T_1 से T_2 $(T_1 < T_2 < T_0)$ तक बढ़ने में लिया गया समय ज्ञात करो।

12. मनुष्य के शरीर का कुल पृष्ठीय क्षेत्रफल 1.6 मी.^{2} मानिये एवं यह आदर्श विकिरक की तरह विकिरित करती है। यदि शरीर का ताप 37°C है तो वस्तु द्वारा प्रति सेकण्ड विकिरित ऊर्जा की मात्र ज्ञात कीजिये। स्टीफन नियतांक σ, 6.0×10^{-8} W/m^2–K^4 है। $(31^4 = 923521)$

13. एक घरेलू उत्सर्जक की सतह की उत्सर्जकता 0.55 एवं क्षेत्रफल 1.5 m^2 है।
(a) विकिरक द्वारा किस दर से विकिरण उत्सर्जित होगी जब इसका ताप 50°C है।
(b) जब कमरे की दीवारों का ताप 22°C है तो विकिरक द्वारा किस दर से विकिरण अवशोषित होंगें।
(c) विकिरक से उत्सर्जित विकिरण की परिणामी दर क्या होगी। (स्टीफन नियतांक $\sigma = 6 \times 10^{-8}$ W/m^2 – K^4)

14. एक व्यक्ति जिसकी त्वचा का पृष्ठीय क्षेत्रफल 2m^2 है एक कमरे में बैठा है जहां वायु का ताप 20°C है। यदि उसकी त्वचा का ताप 28ºC है। शरीर द्वारा ऊष्मा क्षय की दर ज्ञात कीजिए।
[त्वचा की उर्त्सजकता 0.97 व स्टीफन नियतांक = 5.67×10^{-8} W/m^2 – K^4)W/m^2 – K^4)

15. एक विद्युत ऊष्मक (Heater) एक कमरे जिसकी दीवारों का क्षेत्रफल 137 मी.^{2} है के अन्दर 20°C ताप बनाये रखने के लिए उपयोग किया जाता है जब कि बाह्य ताप –10°C है दीवारों में तीन अलग–अलग पदार्थो की परतें हैं। आन्तरिक परत 2.5 सेमी. मोटी लकड़ी की है, मध्य परत 1.0 सेमी. मोटे सीमेन्ट की है एवं बाह्य परत 25 सेमी. ईटों की है। विद्युत ऊष्मक की शक्ति ज्ञात कीजिये।
(यह मानिये कि फर्श व छत से कोई ऊष्मा हानि नहीं होती, लकड़ी, सीमेन्ट व ईंटों की ऊष्मीय चालकता क्रमशः 0.125, 1.5 व 1.0 W/m C° है।)

16. एक छड़ जिसकी लम्बाई ℓ है तथा इसकी पार्श्व सतह ऊष्मीय कुचालक है इस छड़ के पदार्थ का ऊष्मीय चालकता नियतांक ताप के साथ $K = \alpha / T$ से परिवर्तित होता है, जहाँ α नियतांक है। छड़ के सिरों को T_1 तथा T_2 ताप पर रखा जाता है। तो फलन T(x) ज्ञात करो। (जहाँ x, T_1ताप वाले सिरें से दूरी है।) एवं ऊष्मा प्रवाह घनत्व भी ज्ञात करो

17. C_1 तथा C_2 ऊष्मा धारिता के दो धातु के टुकड़े एक ℓ लम्बाई तथा S अनुप्रस्थ काट की छड़ के द्वारा संपर्कित है। तथा छड़ की अल्प ऊष्मीय चालकता K है। सम्पूर्ण निकाय वातावरण से विलगित है किसी क्षण t = 0 पर दोनों धातु के टुकड़ों का तापान्तर $(\Delta T)_0$. माना छड़ की ऊष्मीय धारिता नगण्य है तो दोनों धातु के टुकुड़ों का तापान्तर समय के फलन के रूप में ज्ञात करो।

HLP Answers

1. $\frac{3K_0A(\theta_2-\theta_1)}{8l}$ **2.** $\frac{K\pi R_1 \quad R_2(T_H-T_C)}{L}$ **3.** (a) 1 : 4 (b) 2.9 : 1

4. (a) $ms(T_1 - T_0)$ (b) $\frac{In \quad 2}{k}$ **5.** 6.56×10^4 sec

6. (a) 180 W (b) 18 W (c) 9 W (d) $\frac{100}{19}$s **7.** $\frac{K\pi(R_2^2-R_1^2) \quad (T_2-T_1)}{l}$

8. $\frac{2\pi\ell k}{\ell n(r_2/r_1)}$ **9.** $\frac{4\pi k r_1 r_2}{(r_2-r_1)}$ **10.** $t = mL\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \Big/ 100\pi k\ell$

11. $\frac{mCL}{KS}\ell n\left(\frac{T_0-T_1}{T_0-T_2}\right)$ **12.** 887 J **13.** 539 W, 375 W, 164 W **14.** 92.2 W

15. 9 kW **16.** $T(x) = T_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{x/\ell}$; $q = (\alpha/\ell)\,\ell n\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$

17. $\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-\alpha t}$, where $\alpha = (1/C_1 + 1/C_2)\,SK/\ell$