प्रयोग 14

उद्देश्य

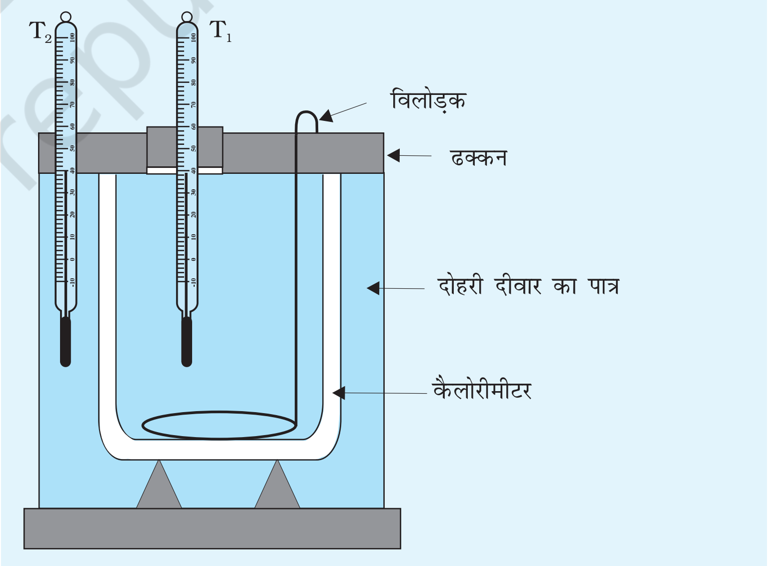
शीतलन वक्र आलेखित करके किसी तप्त पिंड के ताप एवं समय के बीच संबंध का अध्ययन करना।

उपकरण तथा सामग्री

न्यूटन के शीतलन नियम का उपकरण जिसमें लकड़ी के ढकने वाला ताँबे का कैलोरीमीटर होता है तथा जिसके ढकने में दो छिद्र-एक थर्मामीटर तथा दूसरा विलोड़क-के लिए होते हैं। यह कैलोरीमीटर एक दोहरी दीवार वाले खुले पात्र में रखा होता है; दो सेल्सियस तापमापी(प्रत्येक का अल्पतमांक 0.5°C या 0.1°C); विराम घड़ी, बर्नर, द्रव (जल), क्लैंप स्टैंड, छिद्र वाली रबड़ की दो कार्क, मजबूत सूती धागा तथा बीकर।

उपकरण का विवरण

चित्र E 14.1, में दर्शाए अनुसार शीतलन नियम उपकरण में दोहरी दीवारों वाला एक पात्र होता है जिसे ऊपर से रोधी ढक्कन द्वारा बंद किया जा सकता है। दोहरी दीवारों के बीच जल भरने से यह सुनिश्चित हो जाता है कि कैलोरीमीटर के चारों ओर के परिवेश का ताप नियत रहता है। द्रव तथा कैलोरीमीटर के ताप भी काफी लंबी अवधि तक नियत रहते है जिसके कारण ताप मापन संभव हो पाता है। कैलोरीमीटर में भरे जल तथा दोहरी दीवारों वाले पात्र में भरे जल के तापों का प्रेक्षण दो थर्मामीटरों द्वारा किया जाता है।



चित्र E 14.1 न्यूटन के शीतलन नियम का उपकरण

सिद्धांत

किसी तप्त पिंड द्वारा उष्मा खोने की दर उस पिंड तथा उसके प्रतिवेश के ताप आधिक्य के अनुक्रमानुपाती होती है और यह केवल तप्त पिंड के पृष्ठ की प्रकृति एवं क्षेत्रफल पर निर्भर

© NCERT not to be republished

करती है। इसे न्यूटन का शीतलन नियम कहते हैं।

द्रव्यमान m तथा विशिष्ट ऊष्मा धारिता s, के किसी तप्त पिंड जिसका आरंभिक ताप θ अपने प्रतिवेश के ताप θ_o, से अधिक है, के लिए ऊष्मा खोने की दर $\frac{dQ}{dt}$, होती है, यहाँ dQ लघु समय अंतराल में तप्त पिंड द्वारा अपने प्रतिवेश को खोने वाली ऊष्मा की मात्रा है।

न्यूटन के शीतलन नियम का पालन करने पर हमें प्राप्त होता है –

(E 14.1) ऊष्मा ह्रास की दर, $\frac{dQ}{dt} = -k\ (\theta - \theta_o)$

(E 14.2) साथ ही, $\frac{dQ}{dt} = ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$

समीकरणों (E 14.1) तथा (E 14.2), का उपयोग करने पर ताप के गिरने की दर

(E 14.3) $$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{k}{ms}\ (\theta - \theta_o)$$

यहाँ k आनुपातिकता स्थिरांक है तथा $k' = k/ms$ एक अन्य स्थिरांक है (ms में उस कैलोरीमीटर का जल तुल्यांक भी सम्मिलित है जिसके द्वारा प्रयोग किया जा रहा है)। समीकरणों (E 14.2) व (E 14.3) में ऋणात्मक चिह्न यह दर्शाता है कि ऊष्मा के ह्रास के कारण ताप घटता है।

समीकरण (E 14.3) को इस प्रकार भी लिख सकते हैं–

$$d\theta = -k'\ (\theta - \theta_o)\,dt$$

समाकलित करने पर हमें प्राप्त होता है–

$$\int \frac{d\theta}{\theta - \theta_o} = -k' \int dt$$

या, $ln\ (\theta - \theta_o) = \log_e\ (\theta - \theta_o) = -k't + c$

(E 14.4) या, $ln\ (\theta - \theta_o) = 2.303\ \log_{10} (\theta - \theta_o) = -k't + c$

यहाँ c समाकलन स्थिरांक है।

समीकरण (E 14.4) दर्शाती है कि $\log_{10} (\theta - \theta_o)$ व t के बीच ग्राफ़ की आकृति सरल रेखा होगी।

कार्यविधि

1. थर्मामीटरों T_1 तथा T_2 के अल्पतमांक ज्ञात कीजिए। बीकर में कुछ जल भरिए तथा बीकर में भरे जल (कक्ष ताप θ_o पर) का ताप किसी एक (मान लो T_1) थर्मामीटर द्वारा मापिए।

© NCERT not to be republished

2. विराम घड़ी की कार्य प्रणाली का परीक्षण कीजिए तथा इसका अल्पतमांक नोट कीजिए।

3. दोहरी दीवार वाले पात्र में कक्ष ताप पर जल भरिए। क्लैंप स्टैंड की सहायता से इस पात्र में भरे जल में दूसरा थर्मामीटर T_2 लगाइए।

4. बर्नर द्वारा बीकर में जल को कक्ष ताप θ_o से 40° अधिक ताप तक गरम कीजिए। शीतलन उपकरण से ताँबे के कैलोरीमीटर को बाहर निकालिए। बीकर में भरे गरम जल से कैलोरीमीटर को लगभग पूरा भरिए।

5. कैलोरीमीटर को ऊष्ण जल सहित दोहरी दीवारों वाले बर्तन में वापस रखिए तथा इसको दो छिद्रों वाले लकड़ी के ढक्कन से ढक दीजिए। थर्मामीटर T_1 को छिद्र वाली खंडित कार्क में लगाइए। थर्मामीटर T_1 तथा विलोडक कैलोरीमीटर के ढक्कन के छिद्रों में चित्र E14.1 की भाँति लगाइए।

6. थर्मामीटर T_2 द्वारा दोहरी दीवारों वाले पात्र में भरे जल का ताप आरंभ में उस समय नोट कीजिए जब दोनों थर्मामीटरों T_1 तथा T_2 के पाठ्यांकों का अंतर लगभग 30 °C है। थर्मामीटर T_1 का आरंभिक पाठ्यांक नोट कीजिए।

7. जल को निरंतर धीरे-धीरे से विलोड़ित करते रहिए। थर्मामीटर T_1 का पाठ्यांक नोट कीजिए, पहले प्रत्येक 1/2 मिनट के पश्चात् तथा फिर एक-एक मिनट के पश्चात् और अंत में दो मिनट के पश्चात्।

8. जल को नियत रूप से धीरे-धीरे विलोड़ित करते हुए विराम घड़ी से समय तथा थर्मामीटर T_1 से ताप नोट करते रहिए और ऐसा उस समय तक करते जाइए जब तक कि कैलोरीमीटर के जल का ताप घटकर दोहरी दीवारों वाले जल से लगभग 5 °C अधिक नहीं रह जाता। दोहरी दीवारों वाले पात्र में भरे जल का ताप थर्मामीटर T_2 द्वारा नोट कीजिए।

9. प्रेक्षणों को सारणी के रूप में लिखिए। प्रत्येक पाठ्यांक के लिए ताप आधिक्य $(\theta - \theta_o)$ तथा लॉगेरिथ्मीय (लघुगणकीय) सारणी द्वारा $\log_{10} (\theta - \theta_o)$ का मान भी ज्ञात कीजिए। इनके मानों को भी सारणी के तद्नुरूपी कॉलमों में लिखिए।

10. समय t को x-अक्ष के अनुदिश तथा $\log_{10} (\theta - \theta_o)$ को y-अक्ष के अनुदिश लेकर एक ग्राफ़ आलेखित करके इसकी विवेचना कीजिए।

प्रेक्षण

दोनों सर्वसम थर्मामीटरों के अल्पतमांक = ... °C

विराम घड़ी का अल्पतमांक = ... s

दोहरी दीवारों वाले पात्र के जल का आरंभिक ताप θ_1 = ... °C

दोहरी दीवारों वाले पात्र के जल का अंतिम ताप θ_2 = ... °C

दोहरी दीवारों वाले पात्र के जल का औसत ताप $\theta_o = (\theta_1 + \theta_2)/2$ =...°C

© NCERT not to be republished

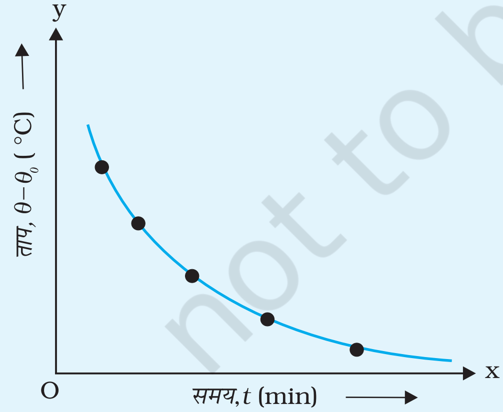
सारणी E 14.1 समय के साथ ताप की माप

क्रम संख्या	समय (t) (s)	गरम जल का ताप θ °C	गरम जल का ताप अधिक्य $(\theta - \theta_o)$ °C	$log_{10}(\theta - \theta_o)$
1				
2				
3				
.				
.				
.				
.				
.				
20				

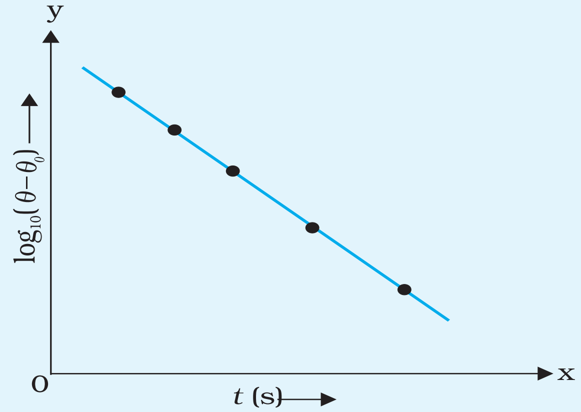
ग्राफ़ आलेखित करना

(i) समय t को x-अक्ष के अनुदिश तथा $(\theta - \theta_o)$ y-अक्ष के अनुदिश लेकर चित्र E14.2 में दर्शाए अनुसार ग्राफ़ आलेखित कीजिए। यह शीतलन वक्र है।

(ii) समय t को x-अक्ष के अनुदिश तथा $\log_{10}(\theta - \theta_o)$ को y-अक्ष के अनुदिश लेकर चित्र E14.3 में दर्शाए अनुसार $\log_{10}(\theta - \theta_o)$ व t के बीच भी ग्राफ़ आलेखित कीजिए। इन अक्षों पर उचित स्केल का चयन कीजिए। शीतलन वक्र तथा अन्य ग्राफ़ की आकृति को पहचानिए।



चित्र E 14.2 *शीतलन के लिए $(\theta - \theta_o)$ व t के बीच ग्राफ़*



चित्र E 14.3 *$\log_{10}(\theta - \theta_o)$ व t के बीच ग्राफ़*

© NCERT not to be republished

परिणाम

शीतलन वक्र एक चर घातांक क्षय वक्र है (चित्र E 14.2)। पिंड के शीतलन के समय के लिए ग्राफ़ से ऐसा प्रतीत होता है कि तप्त पिंड तथा उसके परिवेश के ताप आधिक्य का लॉगेरिथ्म समय के साथ रैखिकत: परिवर्तित होता है।

सावधानियाँ

1. कैलोरीमीटर के जल को नियत रूप से व धीरे-धीरे विलोड़ित करना चाहिए।
2. आदर्श स्थिति में कैलोरीमीटर तथा उसकी चारों ओर की दोहरी दीवार के बीच के स्थान को निरंतर प्रवाहित जल से भरना चाहिए ताकि जल के इस आवरण का ताप नियत रहे।
3. यह सुनिश्चित कीजिए कि रबर की डॉट का छिद्र जिसमें थर्मामीटर लगाया जाता है, वायुरुद्ध हो, जिससे इनसे होकर ऊष्मा परिवेश में न जाए।
4. कैलोरीमीटर में भरे जल का आरंभिक ताप परिवेश के ताप (कक्ष ताप) से लगभग 30°C अधिक होना चाहिए।

त्रुटियों के स्रोत

1. विराम घड़ी को चालू करने एवं बंद करने में संभावित देरी के कारण सदैव ही व्यक्तिगत त्रुटि की संभावना बनी रहती है।
2. परिणाम की परिशुद्धता मुख्य रूप से ऊष्ण जल के ताप एवं उसी क्षण समय की माप करने (आरंभ में ताप का घटना तीव्र गति से होता है और फिर यह अपेक्षाकृत मंद हो जाता है) पर निर्भर करती है। अत: एक ही क्षण ताप एवं समय की माप के पाठ्यांक लेने में विशेष सावधानी बरतनी चाहिए।
3. यदि थर्मामीटर लगाए जाने वाले छिद्र वायुरुद्ध नहीं हैं तो कुछ ऊष्मा-क्षति हो सकती है।
4. दोहरी दीवार के बीच रखे जल का ताप नियत नहीं है।

परिचर्चा

प्रत्येक वस्तु ऊष्मा विकिरित करती है तथा अन्य वस्तुओं द्वारा विकिरित विकिरणों को अवशोषित करती है। तप्त वस्तु (यहाँ कैलोरीमीटर) अधिक ऊष्मा विकिरित करती है तथा कम विकिरणों को ग्रहण करती है। पृष्ठ द्वारा सभी तापों पर विकिरण होता है। ताप जितना अधिक होता है उतनी ही अधिक ऊष्मीय विकिरण की दर होती है। यहाँ दोहरी दीवारों के बीच रखे जल का ताप कम है, अत: यह कम विकिरणों को विकिरित करता है तथा कैलोरीमीटर से अधिक विकिरण ग्रहण करता है। इस प्रकार, अतंत: इस प्रक्रिया में कैलोरीमीटर की प्रमुखता रहती है।

© NCERT not to be republished

स्व-मूल्यांकन

1. न्यूटन का शीतलन नियम लिखिए तथा इसे गणितीय रूप में व्यक्त कीजिए।
2. क्या न्यूटन का शीतलन नियम सभी तापांतर पर लागू होता है?
3. न्यूटन का शीतलन नियम स्टीफन के ऊष्मीय विकिरण नियम से किस प्रकार भिन्न है?
4. शीतलन वक्र की आकृति क्या होती है?
5. न्यूटन के शीतलन उपकरण से ठोस/द्रव की विशिष्ट ऊष्मा धारिता ज्ञात कीजिए।

सुझाए गए अतिरिक्त प्रयोग/क्रियाकलाप

1. अपने द्वारा आलेखित सरल रेखीय ग्राफ़ (चित्र E 14.2) की प्रवणता तथा y-अक्ष पर उसका अंत:खंड ज्ञात कीजिए। इस ग्राफ़ से स्थिरांक k तथा समाकलन स्थिरांक c के मान ज्ञात कीजिए।

   [**संकेत**– समीकरण (E 14.4) सरल रेखा की समीकरण $y = m' x + c'$ के समान है यहाँ m' सरल रेखा की प्रवणता तथा c' y- अक्ष पर अंत: खंड है। यह स्पष्ट है कि $m' = k'/2.303$ तथा $c' = c' \times 2.303$)

2. मान लीजिए कि शीतलन प्रयोग को समान कैलोरीमीटर के साथ इसमें क्रमवार जल तथा तारपीन का तेल समान आयतन भरकर तथा कैलोरीमीटर तथा प्रतिवेश के बीच समान तापांतर रखकर किया जाता है। इस स्थिति में आप ऊष्मा ह्रास की दरों में किस अनुपात की अपेक्षा करते हैं?

© NCERT not to be republished