विषय-सूची

क्रमांक	प्रयोग	पृष्ठ संख्या
1.	सर्ल की विधि से किसी तार के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक, दृढ़ता गुणांक तथा पॉयसन निष्पत्ति ज्ञात करना।	1
2.	बंकन विधि से धात्विक छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना।	4
3.	दण्ड लोलक की सहायता से गुरुत्वीय त्वरण 'g' का मान ज्ञात करना।	6
4.	केटर के उत्क्रमणीय लोलक की सहायता से गुरुत्वीय त्वरण 'g' का मान ज्ञात करना।	8
5(A).	बार्टन उपकरण (क्षैतिज व्यवस्था) की सहायता से छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ज्ञात करना।	9
5(B).	बार्टन उपकरण (ऊर्ध्वाधर व्यवस्था) की सहायता से छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ज्ञात करना।	12
6.	प्वॉइसली की विधि से द्रव का श्यानता गुणांक ज्ञात करना।	14
7.	गतिपालक चक्र का उसके घूर्णन अक्ष के परितः जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करना।	17
8.	जड़त्व मंच की सहायता से किसी दिए हुए अनियमित पिण्ड का जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करना।	19
9(A).	जड़त्व आघूर्ण के समान्तर अक्ष प्रमेय का सत्यापन करना।	22
9(B).	जड़त्व आघूर्ण के लम्बवत् अक्ष प्रमेय का सत्यापन करना।	23
10.	मैक्सवेल सुई की सहायता से तार के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ज्ञात करना।	24
11.	कैंटीलीवर की सहायता से किसी छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना।	26
12.	मरोड़ी लोलक द्वारा किसी तार के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ज्ञात करना।	28
13(A).	स्प्रिंग का बल नियतांक स्थैतिक विधि द्वारा ज्ञात करना।	30
13(B).	स्प्रिंग का बल नियतांक गतिक विधि द्वारा ज्ञात करना।	31
14.	रबर का पॉयसन अनुपात ज्ञात करना।	32
15.	जैगर की विधि द्वारा द्रव का पृष्ठ तनाव ज्ञात करना।	34

प्रायोगिक भौतिक विज्ञान

द्वितीय प्रश्न-पत्र : यान्त्रिकी और पदार्थ के सामान्य गुण

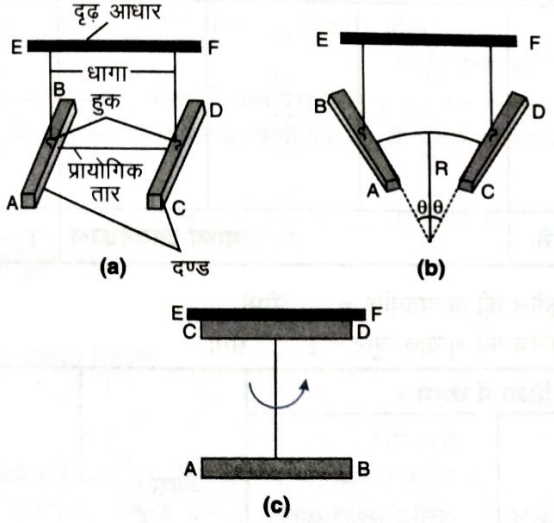
[Second Paper : Mechanics and General Properties of Matter]

प्रयोग संख्या # 01

उद्देश्य (Object)—*सर्ल की विधि से किसी तार के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक, दृढ़ता गुणांक तथा पॉयसन निष्पत्ति ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—दो सर्वसम दण्ड, प्रायोगिक तार स्क्रूगेज, वर्नियर कैलीपर्स, विराम घड़ी, ऊर्ध्वाधर स्टैंड, भौतिक तुला, बाट, धागा, मोमबत्ती तथा माचिस।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 1 में प्रदर्शित है। इसमें दो सर्वसम धात्विक दण्ड AB तथा CD होते हैं, जिनका अनुप्रस्थ परिच्छेद क्षेत्रफल आयताकार या वृत्ताकार तथा एकसमान होता है। दोनों दण्ड अपने मध्य में प्रायोगिक तार से दृढ़ता से कसे होते हैं। इन दण्डों के मध्य में हुक होते हैं। इन हुकों से बँधे हुए दो बराबर व ऐंठन रहित धागों की सहायता से दण्ड एक दृढ़ आधार EF से इस प्रकार लटके रहते हैं कि जब निकाय पूर्णत: विराम अवस्था में होता है तब दण्ड एक-दूसरे के समान्तर होते हैं तथा ABCD तल क्षैतिज होता है।



चित्र 1

सिद्धान्त (Principle)—जब दण्ड AB व CD के A व C सिरों को सममित रूप से थोड़ा पास लाया जाता है, तो प्रायोगिक तार वृत्तीय चाप में मुड़ जाता है [चित्र 1(b)] यदि R त्रिज्या की यह चाप केन्द्र पर 2θ कोण बनाती है, तो

$$l = R \times 2\theta \qquad ...(i)$$

जहाँ l प्रायोगिक तार की लम्बाई है।

तार का बंकन आघूर्ण प्रत्येक दण्ड पर एक बलयुग्म लगाता है। यदि प्रायोगिक तार का यंग प्रत्यास्थता गुणांक Y तथा ज्यामितीय जड़त्व आघूर्ण I_g हो, तो

$$\text{बलयुग्म का आघूर्ण} = \frac{YI_g}{R} = Y\,\frac{\pi r^4}{2l}\,\theta \qquad ...(ii)$$

$$\left(\because I_g = \frac{\pi r^4}{4} \text{ तथा } R = \frac{l}{2\theta}\right)$$

जहाँ r प्रायोगिक तार की त्रिज्या है।

जब दण्डों को छोड़ा जाता है, तो प्रत्येक दण्ड क्षैतिज तल में अपने निलम्बन धागे के परित: दोलन करने लगती है।

अब यह बलयुग्म आघूर्ण प्रत्येक दण्ड में $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ त्वरण उत्पन्न करता है। यदि दण्ड AB या CD का अपने निलम्बन धागे की अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण I है, तो बलयुग्म आघूर्ण $I\frac{d^2\theta}{dt^2}$ होता है। अत: गति की समीकरण होगी—

$$I\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{\pi r^4 Y}{2l}\theta = 0 \qquad ...(iii)$$

या
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{\pi r^4 Y}{2lI}\theta = 0 \qquad ...(iv)$$

यह समीकरण सरल आवर्त गति व्यक्त करता है जिसका आवर्तकाल

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{2lI}{\pi r^4 Y}} \qquad ...(v)$$

जहाँ से

$$Y = \frac{8\pi lI}{T_1^2 r^4} \qquad ...(vi)$$

उपर्युक्त सूत्र से तार के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक y ज्ञात किया जा सकता है।

अब यदि चित्र 1(c) की भाँति एक दण्ड AB को क्लैम्प में ऊपर दण्ड आधार से क्षैतिज कसकर, दूसरे दण्ड को प्रायोगिक तार की अक्ष के परित: ऐंठन दोलन कराये जाएँ, तो ऐंठन दोलनों का आवर्तकाल

$$T_2 = \sqrt{\frac{I}{C}} \qquad ...(vii)$$

जहाँ C तार के पदार्थ की ऐंठन दृढ़ता है। यदि तार की लम्बाई l, त्रिज्या r तथा इसके पदार्थ का दृढ़ता गुणांक η हो, तो

$$C = \frac{\pi\eta r^4}{2l} \qquad ...(viii)$$

अत:
$$T_2 = \sqrt{\frac{I.2l}{\eta\pi r^4}} \qquad ...(ix)$$

जहाँ से
$$\eta = \frac{8\pi lI}{T_2^2 r^4} \qquad ...(x)$$

उपर्युक्त सूत्र से तार के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक η ज्ञात किया जा सकता है।

समी. (vi) व (x) से,

$$\frac{Y}{\eta} = \frac{T_2^2}{T_1^2} \qquad ...(xi)$$

लेकिन पॉयसन निष्पत्ति $\sigma = \frac{\gamma}{2\eta} - 1$

अत:
$$\sigma = \frac{T_2^2}{2T_1^2} - 1 \qquad ...(xii)$$

उपर्युक्त सूत्र से तार के पदार्थ की पॉयसन निष्पत्ति ज्ञात की जा सकती है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले प्रायोगिक तार के दोनों सिरों को दोनों दण्डों के मध्य बिन्दुओं पर दण्डों के साथ लगे पेचों की सहायता से दृढ़ता से कस देते हैं।

(2) अब समान लम्बाई (लगभग 50 सेमी) के दो ऐंठन रहित धागे लेते हैं तथा इनके एक-एक सिरों को दण्डों में लगे हुकों से बाँध देते हैं। इन धागों के दूसरे सिरों को एक दृढ़ आधार से बाँधकर दण्डों को इस प्रकार लटकाते हैं कि दण्डों व प्रायोगिक तार की अक्षें समतलीय रहें। इस दशा में स्थिर अवस्था में दण्ड परस्पर समान्तर तथा एक ही क्षैतिज तल में होते हैं।

(3) अब दोनों दण्डों के एक ही ओर के सिरों A व C को अपने ही तल में विपरीत दिशा में समान रूप से मोड़कर एक-दूसरे के निकट लाते हैं जिससे वे अपनी स्थिर अवस्था से समान कोणों से झुक जाएँ। दण्डों को इसी अवस्था में रखने के लिए एक धागे के फन्दे को इन सिरों के चारों ओर चढ़ा देते हैं।

(4) जब सम्पूर्ण निकाय स्थिर हो जाए, तब धागे के फन्दे को जला देते हैं जिससे कि प्रत्येक दण्ड निलम्बन धागे की अक्ष के परित: क्षैतिज तल में अवनमन दोलन करने लगता है। विराम घड़ी की सहायता से लगभग 15–20 दोलनों का समय t_1 नोट कर लेते हैं। कई प्रेक्षण लेकर इन दोलनों का औसत आवर्तकाल T_1 ज्ञात कर लेते हैं।

(5) अब दण्डों को लटकाने के लिए प्रयुक्त धागों को खोल देते हैं तथा एक दण्ड माना CD को दृढ़ क्षैतिज आधार पर इस प्रकार क्लैम्प करते हैं कि दूसरा दण्ड AB इसके नीचे क्षैतिज तल में लटका हो तथा प्रायोगिक तार ऊर्ध्वाधर रहे। तत्पश्चात् दण्ड AB को क्षैतिज तल में थोड़ा-सा घुमाकर धीरे से छोड़ते हैं जिससे यह प्रायोगिक तार की अक्ष के परित: ऐंठन दोलन करने लगता है। विराम घड़ी की सहायता से लगभग 15–20 दोलनों का समय t_2 नोट करते हैं। कई प्रेक्षण लेकर इन दोलनों का औसत आवर्तकाल T_2 ज्ञात कर लेते हैं।

(6) मीटर स्केल की सहायता से दोनों दण्डों के बीच प्रायोगिक तार की लम्बाई l ज्ञात कर लेते हैं। पेचमापी की सहायता से तार की लम्बाई के अनुदिश कई स्थानों पर परस्पर दो लम्बवत् दिशाओं में तार का व्यास मापकर इसकी औसत त्रिज्या r ज्ञात कर लेते हैं।

(7) मीटर स्केल की सहायता से प्रत्येक दण्ड की लम्बाई ज्ञात करके इसका माध्यमान L ज्ञात कर लेते हैं तथा वर्नियर कैलीपर्स से प्रत्येक दण्ड की चौड़ाई (यदि दण्ड आयताकार है) अथवा व्यास (यदि दण्ड वृत्ताकार है) अनेक स्थानों पर ज्ञात करके इसका माध्यमान b (अथवा D) ज्ञात कर लेते हैं।

(8) भौतिक तुला द्वारा दण्डों को अलग-अलग तौलकर उनका माध्यमान द्रव्यमान M ज्ञात कर लेते हैं या इस मान को अपनी प्रयोगशाला में रखे रिकॉर्ड से नोट कर लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) आवर्तकाल T_1 तथा T_2 के लिए सारणी—

विराम घड़ी की अल्पतमांक = ... से.

क्रमांक	दोलनों की संख्या n	बंकन दोलनों के लिए समय t_1			आवर्तकाल $T_1 = \frac{t_1}{n}$	ऐंठन दोलनों के लिए समय t_2			आवर्तकाल $T_2 = \frac{t_2}{n}$
		मिनट	सेकण्ड	कुल सेकण्ड		मिनट	सेकण्ड	कुल सेकण्ड	
1.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...	...	...	...	
				माध्य आवर्तकाल	T_1 = ... से.			माध्य आवर्तकाल	T_2 = ... से.

(2) प्रायोगिक तार की लम्बाई l = ... सेमी = ... मीटर

स्क्रूगेज की अल्पतमांक = ... सेमी

(3) प्रायोगिक तार की त्रिज्या के लिए सारणी—

स्क्रूगेज की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			व्यास = $\frac{a+b}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या = $\frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...	...	...	...
						माध्य		... सेमी ... मीटर

(4) दण्ड की लम्बाई L = ... सेमी = ... मीटर

(5) **दण्ड की चौड़ाई (या व्यास) के लिए सारणी—**

(i) वर्नियर कैलीपर्स की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) वर्नियर कैलीपर्स की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में चौड़ाई (या व्यास) x			लम्बवत् दिशा में चौड़ाई (या व्यास) y			चौड़ाई (या व्यास) = $\frac{x+y}{2}$ (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	
1.	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...	...	...
						माध्य	... सेमी = ... मीटर

(6) दण्ड का द्रव्यमान M = ... ग्राम = ... किग्रा

गणना (Calculations)—दण्ड का जड़त्व आघूर्ण

$$I = \frac{M}{12}(L^2 + b^2) = \text{..... किग्रा} \times \text{मीटर}^2$$

(यदि दण्ड आयताकार है)

या $$I = M\left(\frac{L^2}{12} + \frac{D^2}{16}\right) = \text{..... किग्रा} \times \text{मीटर}^2$$

(यदि दण्ड बेलनाकार है)

I का मान किग्रा × मीटर^2 में तथा प्रेक्षणों से प्राप्त l व r के मान मीटर में, T_1 व T_2 के मान सेकण्ड में लेने पर प्रायोगिक तार के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक

$$Y = \frac{8\pi lI}{T_1^2 r^4} = \text{..... न्यूटन/मीटर}^2$$

तथा दृढ़ता गुणांक

$$\eta = \frac{8\pi lI}{T_2^2 r^4} = \text{..... न्यूटन/मीटर}^2$$

तथा पॉयसन निष्पत्ति

$$\sigma = \frac{T_2^2}{2T_1^2} - 1 = \text{.....}$$

परिणाम (Result)—दिये गये तार के पदार्थ (.....) का

यंग प्रत्यास्थता गुणांक, Y = ... न्यूटन/मीटर^2

दृढ़ता गुणांक, η = ... न्यूटन/मीटर^2

पॉयसन निष्पत्ति, σ = ...

प्रामाणिक मान—

Y = ... न्यूटन/मीटर^2

η = ... न्यूटन/मीटर^2

σ = ...

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रायोगिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

$$= \text{..... \%}$$

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) प्रायोगिक तार सीधा तथा बिना गाँठ का होना चाहिए।

(2) आवर्तकाल T_1 के लिए प्रेक्षण लेते समय, दण्ड एक ही क्षैतिज तल में दोलन करने चाहिए। इसके लिए दोनों धागे ऊर्ध्वाधर, समान्तर तथा समान लम्बाई के होने चाहिए।

(3) प्रायोगिक तार के सममित बंकन के लिए धागे का छल्ला दोनों दण्डों को उनके सम्बन्धित सिरों से समान दूरी पर स्पर्श करना चाहिए।

(4) आवर्तकाल T_2 ज्ञात करने के लिए, प्रायोगिक तार में ऐंठन प्रत्यास्थता सीमा से बाहर नहीं होनी चाहिए।

(5) आवर्तकाल T_1 व T_2 ज्ञात करने के लिए, समय अधिक दोलनों के लिए नोट करना चाहिए।

(6) प्रायोगिक सूत्रों में तार की त्रिज्या r चतुर्थ घातीय है तथा इसका मान छोटा होता है, अत: इसका मापन विशेष सावधानी से करना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—सर्ल की विधि से किसी तार के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक, दृढ़ता गुणांक तथा पॉयसन निष्पत्ति ज्ञात करना।

प्रश्न 2. प्रत्यास्थता से आप क्या समझते हो ?

उत्तर—प्रत्यास्थता किसी पदार्थ का वह गुण है जिसके कारण कोई वस्तु अपने रूप या आकार के परिवर्तन जो उस पर लगे बाह्य बल के कारण होता है, का विरोध करती है। जैसे ही उस वस्तु से बाह्य बल हटा लेते हैं, तो वह अपने प्रारम्भिक रूप या आकार को पुन: प्राप्त कर लेती है।

प्रश्न 3. हुक का नियम क्या है ?

उत्तर—प्रत्यास्थता की सीमा के अन्दर प्रतिबल विकृति के अनुक्रमानुपाती होता है।

प्रश्न 4. "प्रत्यास्थता की सीमा" से आपका क्या तात्पर्य है ?

उत्तर—बाह्य (विरूपक) बल की वह सीमा जिससे कम बल लगाने पर वस्तु अपनी पूर्व रूप या आकृति को ग्रहण कर लेती है, प्रत्यास्थता की सीमा कहलाती है।

प्रश्न 5. प्रतिबल किसे कहते हैं ? इसका मात्रक क्या होता है ?

उत्तर—किसी वस्तु के प्रति एकांक क्षेत्रफल पर लगने वाले प्रत्यानयन बल को प्रतिबल कहते हैं। इसका मात्रक न्यूटन/मीटर^2 होता है।

प्रश्न 6. विकृति किसे कहते हैं ? इसका मात्रक क्या होता है ?

उत्तर—बाह्य (विरूपक) बल के कारण किसी वस्तु की एकांक विमा (लम्बाई, आयतन अथवा आकृति) में होने वाले परिवर्तन को विकृति कहते हैं। इसका कोई मात्रक नहीं होता क्योंकि यह एक अनुपात है।

प्रश्न 7. यंग प्रत्यास्थता गुणांक क्या होता है ? इसका मात्रक क्या होता है ?

उत्तर—प्रत्यास्थता की सीमा में, अनुदैर्ध्य प्रतिबल और अनुदैर्ध्य विकृति के अनुपात को वस्तु के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक कहते हैं। इसका मात्रक न्यूटन/मीटर^2 होता है।

प्रश्न 8. दृढ़ता गुणांक क्या होता है ? इसका मात्रक क्या होता है ?

उत्तर—प्रत्यास्थता सीमा के अन्दर स्पर्शीय (अपरूपण) प्रतिबल तथा अपरूपण विकृति के अनुपात को दृढ़ता गुणांक कहते हैं। इसका मात्रक न्यूटन/मीटर^2 होता है।

प्रश्न 9. पॉयसन निष्पत्ति क्या होती है ? इसका मात्रक क्या होता है ?

उत्तर—प्रत्यास्थता सीमा के अन्दर अनुप्रस्थ विकृति तथा अनुदैर्ध्य विकृति के अनुपात को पॉयसन निष्पत्ति कहते हैं। इसका कोई मात्रक नहीं होता क्योंकि यह एक अनुपात है।

प्रश्न 10. इस प्रयोग का मुख्य लाभ क्या है ?

उत्तर—इस प्रयोग के द्वारा सभी प्रत्यास्थता गुणांकों के मान ज्ञात किये जा सकते हैं।

प्रश्न 11. इस प्रयोग में यंग प्रत्यास्थता गुणांक तथा दृढ़ता गुणांक किस प्रकार संलग्न है ?

उत्तर—जब दोनों दण्डों को क्षैतिज तल में बंकन दोलन कराया जाता है, तो प्रायोगिक तार अन्दर व बाहर की ओर एक चाप के रूप में मुड़ना शुरू कर देता है जिसमें तार के बाह्य तन्तु फैलते हैं तथा आन्तरिक तन्तु संकुचित होते हैं। इस प्रकार यंग प्रत्यास्थता गुणांक संलग्न हो जाता है। प्रयोग के दूसरे भाग में, जब मुक्त दण्ड मरोड़ी दोलन करना शुरू करता है, तो ऊर्ध्वाधर प्रायोगिक तार में ऐंठन होती है जिसके कारण दृढ़ता गुणांक संलग्न हो जाता है।

प्रश्न 12. क्या प्रयोग के दूसरे भाग में दोलनों की प्रकृति पहले भाग की भाँति ही होती है ?

उत्तर—नहीं, दोनों भागों में दोलनों की प्रकृति समान नहीं होती। पहले भाग में बंकन दोलन होते हैं तथा दूसरे भाग में दोलन मरोड़ी होते हैं।

प्रश्न 13. इस प्रयोग में दण्ड हल्के होने चाहिए या भारी ?

उत्तर—इस प्रयोग में भारी दण्डों का उपयोग अधिक ठीक रहता है क्योंकि भारी दण्ड का जड़त्व आघूर्ण अधिक होता है जिससे इनके दोलनों का आवर्तकाल बढ़ जाता है।

प्रश्न 14. क्या आप दण्डों को लटकाने के लिए धागों के स्थान पर पतला तार प्रयुक्त कर सकते हो ?

उत्तर—नहीं, क्योंकि दोनों दण्डों के दोलन करने पर तारों में ऐंठन आ जाएगी जिससे आवर्तकाल प्रभावित हो जाएगा।

प्रश्न 15. आप अपने प्रयोग में प्रायोगिक तार की लम्बाई कहाँ-से-कहाँ तक नापते हैं तथा क्यों ?

उत्तर—एक दण्ड के गुरुत्व केन्द्र से दूसरे दण्ड के गुरुत्व केन्द्र तक के तार की लम्बाई, क्योंकि तार की यही लम्बाई चाप के रूप में मुड़ती है।

प्रश्न 16. क्या प्रयोग के पहले भाग में होने वाले दोलनों के आयाम पर कोई प्रतिबन्ध होता है ?

उत्तर—पहले भाग में, जब दोनों दण्ड साथ-साथ दोलन करते हैं उस समय दोलनों का आयाम न्यूनतम होना चाहिए जिससे दण्डों को लटकाने वाले धागे ऊर्ध्वाधर ही रहें तथा इनके तनाव का कोई क्षैतिज घटक तार पर न लगे।

प्रश्न 17. जब आप दृढ़ता गुणांक ज्ञात करने के लिए दण्ड को दोलन कराते हो, तो क्या दोलनों के आयाम पर कोई प्रतिबन्ध होता है ?

उत्तर—नहीं, मरोड़ी दोलनों के समय दोलनों के आयाम पर कोई प्रतिबन्ध नहीं होता लेकिन तार में ऐंठन, प्रत्यास्थता की सीमा से बाहर नहीं होनी चाहिए।

प्रश्न 18. जब दोनों दण्डों को पास लाकर बाँधे गये धागे के छल्ले को जलाते हैं, तो दण्ड दोलन करने लगते हैं, क्यों ?

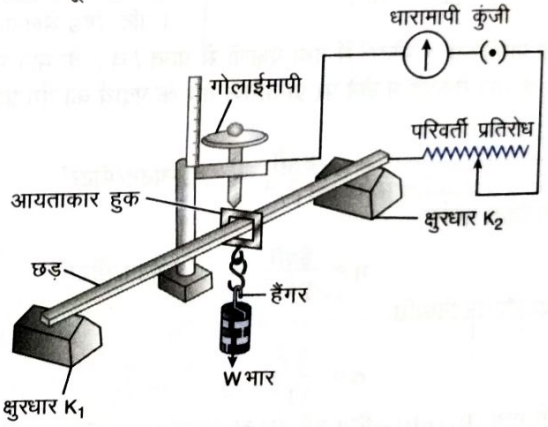
उत्तर—जब धागे के छल्ले को जलाया जाता है तो पहले से वृत्तीय चाप के रूप में मुड़ा हुआ तार, प्रत्यास्थता प्रतिक्रिया के फलस्वरूप प्रत्यानयन बल के कारण अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आने का प्रयास करता है जहाँ तक पहुँचते हुए इसमें गतिज ऊर्जा उत्पन्न हो जाती है जिसके कारण तार अपनी प्रारम्भिक अवस्था को पार करता हुआ दूसरी दिशा में वृत्तीय चाप के रूप में मुड़ जाता है। यही प्रक्रिया बार-बार दोहरायी जाती है जिससे दण्ड दोलन करने लगते हैं।

प्रयोग संख्या # 02

उद्देश्य (Object)—*बंकन विधि से धात्विक छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना।*

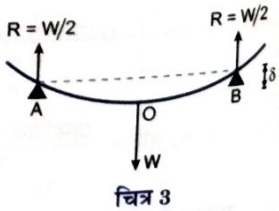
आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—दी गई छड़ जो लम्बाई में लगभग 1 मीटर तथा एकसमान मोटाई की आयताकार धात्विक छड़ हो, क्षैतिज तल में दृढ़ आधार पर लगे दो क्षुरधार, गोलाईमापी, हैंगर, 0·5 – 0·5 किग्रा के कुछ बाट, एक लैक्लांशी या शुष्क सेल, प्लग कुंजी, परिवर्ती प्रतिरोध, धारामापी, वर्नियर कैलीपर्स, मीटर स्केल तथा स्क्रूगेज।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—चित्र 2 में प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण प्रदर्शित है। इसमें एक एकसमान मोटाई की आयताकार धात्विक छड़ जिसकी लम्बाई लगभग एक मीटर होती है, को दो क्षुरधारों (K_1 व K_2) जो एक दृढ़ आधार से एक-दूसरे के समान्तर व लगभग 1 मीटर की दूरी पर कसे होते हैं, पर रखा जाता है। छड़ को इस प्रकार रखा जाता है कि दोनों क्षुरधार के बाहर निकली छड़ की लम्बाई समान हो, छड़ के मध्य बिन्दु पर एक आयताकार हुक से एक हैंगर लटका रहता है जिस पर इच्छानुसार बाट रखे जा सकते हैं। एक अन्य या उसी दृढ़ आधार से एक गोलाईमापी कसा रहता है जिसका पेच, छड़ को उसके मध्य बिन्दु पर स्पर्श करता है। इसी गोलाईमापी से छड़ का अवनमन नापा जाता है। गोलाईमापी के पेच तथा छड़ के एक सिरे के बीच एक विद्युत परिपथ चित्रानुसार तैयार किया जाता है जिसकी सहायता से यह ज्ञात किया जाता है कि गोलाईमापी का पेच छड़ के ठीक स्पर्श में है अथवा नहीं। ठीक स्पर्श होने पर विद्युत परिपथ पूर्ण हो जाता है तथा धारामापी में विक्षेप आ जाता है।



चित्र 2

सिद्धान्त (Principle)—इस प्रयोग में छड़ को दो क्षुरधारों पर रखकर उसके मध्य में भारित किया जाता है। छड़ के मध्य में भार W लटकने के कारण प्रत्येक क्षुरधार पर ऊपर की ओर प्रतिक्रिया बल $\frac{W}{2}$ उत्पन्न हो जाता है। छड़ का मध्य भाग प्रयोगात्मक रूप से क्षैतिज होता है। अतः इस छड़ को मध्य बिन्दु O से जुड़े दो उल्टे कैंटी लीवरों OA तथा OB के तुल्य माना जा सकता है जिनके मुक्त सिरे $\frac{W}{2}$ भार से ऊपर की ओर भारित हैं तथा प्रत्येक कैंटीलीवर की लम्बाई $l/2$ है (चित्र 3)। अतः छड़ के मध्य बिन्दु का अवनमन



चित्र 3

$$\delta = \frac{W/2\left(\frac{l}{2}\right)^3}{3YI} = \frac{Wl^3}{48YI} \quad ...(i)$$

इस प्रयोग में छड़ एक आयताकार छड़ है जिसकी चौड़ाई b तथा मोटाई d है तथा इसके मध्य में लटके बाटों का द्रव्यमान M है। तब $I = \frac{bd^3}{12}$ तथा $W = Mg$, तब

$$\delta = \frac{Mgl^3}{4bd^3Y} \quad ...(ii)$$

अत: $$Y = \frac{Mgl^3}{4bd^3\delta} \quad ...(iii)$$

उपर्युक्त सूत्र में M, g, l, b, d तथा δ के मान रखकर यंग प्रत्यास्थता गुणांक Y को ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले छड़ को क्षुरधारों पर इस प्रकार रखते हैं कि इसकी मोटाई ऊर्ध्व रहे तथा क्षुरधारों के बाहर निकली छड़ की लम्बाई समान हो।

(2) मीटर स्केल की सहायता से क्षुरधारों के बीच की दूरी नापते हैं। यह दूरी छड़ की प्रयोगात्मक लम्बाई l होगी।

(3) वर्नियर कैलीपर्स की सहायता से छड़ की चौड़ाई कई स्थानों पर ज्ञात करते हैं तथा इनका मध्यमान ज्ञात कर लेते हैं।

(4) स्क्रूगेज की सहायता से छड़ की मोटाई कई स्थानों पर ज्ञात कर लेते हैं तथा इनका मध्यमान ज्ञात कर लेते हैं।

(5) अब आयताकार हुक जो छड़ के मध्य बिन्दु पर दोनों क्षुरधारों के समान्तर रखा रहता है, से हैंगर को लटकाते हैं।

(6) चित्र 2 के अनुसार विद्युत परिपथ तैयार करते हैं।

(7) अब गोलाईमापी के पेच को घुमाकर धीरे-धीरे नीचे की ओर इतना चलाते हैं कि यह हुक (अत: छड़) को बस मात्र छूने लगे। यह धारामापी में विक्षेप से ज्ञात हो जाता है। इस स्थिति में गोलाईमापी का पाठ पढ़ लेते हैं। यह छड़ पर शून्य भार के संगत शून्य पाठ्यांक होगा।

(8) अब हैंगर पर एक 500 ग्राम का बाट रख देते हैं जिससे छड़ मध्य में कुछ झुक जाती है तथा विद्युत परिपथ टूट जाता है। कुछ समय प्रतीक्षा करके गोलाईमापी के पेच को घुमाकर नीचे की ओर ले जाते हैं तथा स्पर्श मात्र वाली स्थिति में गोलाईमापी का पाठ पढ़ते हैं।

(9) अब इसी प्रकार हैंगर पर एक-एक कर 500 ग्राम के बाट रखकर भार बढ़ाते जाते हैं। ध्यान रखते हैं कि भार अधिकतम सीमा से अधिक न हो जाए। प्रत्येक भार को रखने के बाद प्रतीक्षा करके गोलाईमापी के पेच को घुमाकर स्पर्श मात्र की स्थिति में लाकर पाठ लेते जाते हैं।

(10) अन्तिम बाट रखकर प्रेक्षण लेने के बाद गोलाईमापी के पेच को 500 ग्राम बाट से पैदा हुए अवनमन से थोड़ा कम ऊपर उठाते हैं तथा हैंगर से धीरे से 500 ग्राम का एक बाँट उठा लेते हैं जिससे छड़ ऊपर उठ जाती है तथा गोलाईमापी के पेच को स्पर्श करती है। अब गोलाईमापी के पेच को धीरे से घुमाकर इतना ऊपर उठाते हैं कि वह जरा सा छड़ से अलग हो जाये। यह धारामापी में जरा ही शून्य विक्षेप से ज्ञात हो जाता है। इस स्थिति में गोलाईमापी का पाठ पढ़ लेते हैं। इस प्रकार एक-एक करके सभी बाँट उतारते जाते हैं तथा प्रत्येक बार गोलाईमापी का पाठ पढ़ते जाते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) दोनों क्षुरधारों के बीच छड़ की लम्बाई l = ... सेमी = ... मीटर

(2) **छड़ की चौड़ाई के लिए सारणी**—

(i) वर्नियर कैलीपर्स की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) वर्नियर कैलीपर्स की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्र.	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)
1.	...	...	...
2.	...	...	...
3.	...	...	...
4.	...	...	...
		माध्य पाठ	..... सेमी = ... मीटर

(3) **छड़ की मोटाई के लिए सारणी**—

(i) स्क्रूगेज की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) स्क्रूगेज की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्र.	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)
1.	...	...	...
2.	...	...	...
3.	...	...	...
4.	...	...	...
		माध्य पाठ	..... सेमी = ... मीटर

(4) **अवनमन के लिए सारणी**—

गोलाईमापी की अल्पतमांक = ... सेमी

क्र.	हैंगर पर रखे गये बाट का द्रव्यमान M (किग्रा में)	गोलाईमापी का पाठ भार बढ़ाते समय A			गोलाईमापी का पाठ भार घटाते समय B			माध्य पाठ $= \frac{A+B}{2}$ (सेमी में)	M = – ..... किग्रा के लिए अवनमन δ (सेमी में)
		मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल के खानों की संख्या × अल्पतमांक (सेमी में)		
1.	0·0	...	...	...	...	...	...	a	
2.	0·5	...	...	...	...	...	...	b	
3.	1·0	...	...	...	...	...	...	c	
4.	1·5	...	...	...	...	...	...	d	
5.	2·5	...	...	...	...	...	...	e	
6.	3·0	...	...	...	...	...	...	f	
7.	3·5	...	...	...	...	...	...	g	
8.	4·0	...	...	...	...	...	...	h	
							माध्य अवनमन δ	..... सेमी = ... मीटर	

गणना (Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त l, b, d व δ के मानों को मीटर में लेकर, M को किग्रा में लेकर तथा $g = 9{\cdot}8$ मी/से^{2} में लेकर सेमी (iii) में रखने पर छड़ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक

$$Y = \frac{Mgl^3}{4bd^3\delta} = \text{..... न्यूटन/मीटर}^2$$

परिणाम (Result)—दी गयी छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक

Y = ... न्यूटन/मीटर^2

प्रामाणिक मान = ... न्यूटन/मीटर^2

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोगात्मक मान} \sim \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ..... %.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) छड़ को क्षुरधारों पर इस प्रकार रखना चाहिए कि क्षुरधारों के बाहर निकली छड़ की लम्बाई समान हो।

(2) आयताकार हुक जिससे हैंगर को लटकाते हैं, को छड़ के मध्य बिन्दु (गुरुत्व केन्द्र) पर रखना चाहिए तथा यह हुक क्षुरधारों के समान्तर होना चाहिए।

(3) छड़ की सतह पूरी तरह से साफ होनी चाहिए।

(4) हैंगर पर बाटों को सावधानीपूर्वक धीरे-धीरे रखना या उतारना चाहिए जिससे छड़ में दोलन न हो।

(5) हैंगर पर बाट रखने या उतारने के बाद थोड़ी प्रतीक्षा करनी चाहिए ताकि छड़ के सम्भावित दोलन खत्म हो जाये तथा विरामावस्था आ जाये।

(6) पिच्छट त्रुटि से बचने के लिए गोलाईमापी के पेच को हमेशा एक दिशा में घुमाना चाहिए।

(7) गोलाईमापी के पेच की छड़ से स्पर्श मात्र व जरा सा अलग होने की स्थितियों को अत्यन्त सावधानी से ज्ञात करना चाहिए।

(8) छड़ की मोटाई, चौड़ाई व अवनमन को अत्यन्त सावधानीपूर्वक नापना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—बंकन विधि से धात्विक छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. कैंटीलीवर क्या होता है ?

उत्तर—एक दण्ड (छड़) जिसका एक सिरा दृढ़ आधार से कसा हो तथा दूसरे मुक्त सिरे पर भार लटका हो, कैंटीलीवर कहलाता है।

प्रश्न 3. दण्ड किसे कहते हैं ?

उत्तर—एकसमान परिच्छेद वाली किसी छड़ जिसकी लम्बाई उसकी मोटाई या त्रिज्या की तुलना में काफी अधिक हो, को दण्ड कहते हैं।

प्रश्न 4. यंग प्रत्यास्थता गुणांक पर ताप का क्या प्रभाव पड़ता है ?

उत्तर—ताप बढ़ाने पर धातु का यंग प्रत्यास्थता गुणांक घटता है।

प्रश्न 5. उदासीन पृष्ठ से आप क्या समझते हैं ?

उत्तर—भार लटकाने से दण्ड एक वृत्तीय चाप के रूप में मुड़ जाता है। इसके उत्तल पृष्ठ के तन्तुओं की लम्बाई बढ़ जाती है तथा अवतल पृष्ठ के तन्तुओं की लम्बाई घट जाती है। लेकिन इन दोनों पृष्ठों के बीच में एक पृष्ठ ऐसा होता है जिसके तन्तुओं की लम्बाई में कोई परिवर्तन नहीं होता। इस पृष्ठ को उदासीन पृष्ठ कहते हैं।

प्रश्न 6. बंकन आघूर्ण से क्या तात्पर्य है ?

उत्तर—दण्ड के मुक्त सिरे पर लटके भार के कारण दण्ड में उत्पन्न प्रत्यानयन बलयुग्म के आघूर्ण को बंकन आघूर्ण कहते हैं।

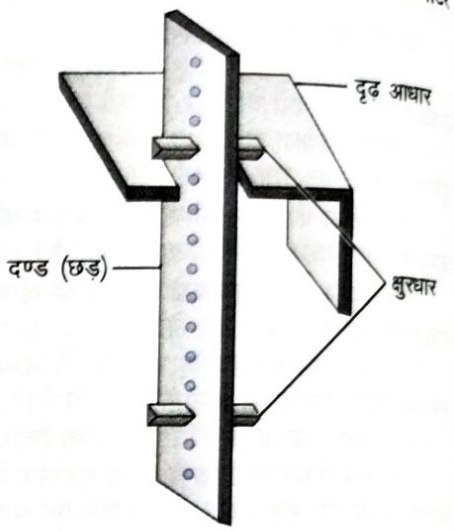
नोट—*सम्बन्धित प्रश्नोत्तर प्रयोग 1 के अनुसार।*

प्रयोग संख्या # 03

उद्देश्य (Object)—*दण्ड लोलक की सहायता से गुरुत्वीय त्वरण 'g' का मान ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—दण्ड लोलक, विराम घड़ी, मीटर स्केल, दो क्षुरधार, दृढ़ आधार (क्षैतिज समंजित) जिस पर क्षुरधार रखा जाता है तथा स्प्रिट लेबिल।

उपकरण का वर्णन (Description of the Apparatus)—दण्ड लोलक एक आयताकार धात्विक छड़ होती है जिसकी लम्बाई लगभग 1 मीटर होती है तथा इसमें लम्बाई के अनुदिश लगभग 5–5 सेमी की बराबर-बराबर दूरी पर अनेक छिद्र होते हैं (चित्र 4)। इन छिद्रों के केन्द्र एक ही सीध में एक ऐसी सरल रेखा पर स्थित होते हैं, जो लोलक के गुरुत्व केन्द्र से होकर जाती है तथा छिद्र गुरुत्व केन्द्र के दोनों ओर बराबर-बराबर संख्या में होते हैं।



चित्र 4

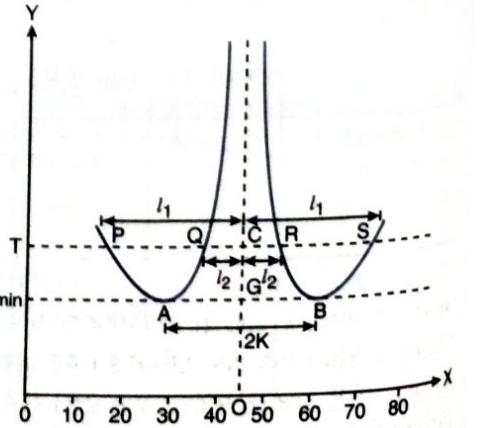
छड़ को एक क्षैतिज समंजित दृढ़ आधार जो सामान्यत: दीवार से जुड़ा होता है, पर क्षुरधार की सहायता से किसी भी छिद्र से ऊर्ध्वाधर तल में लटकाकर, क्षुरधार के परित: ऊर्ध्वाधर तल में दोलन कराये जा सकते हैं। प्राय: दो क्षुरधार उपयोग में लाये जाते हैं तथा इनको छड़ के गुरुत्व केन्द्र के दोनों ओर बराबर-बराबर दूरी पर रखा जाता है जिससे दण्ड लोलक के गुरुत्व केन्द्र की स्थिति अपरिवर्तित रहे।

सिद्धान्त (Principle)—जब दण्ड लोलक क्षैतिज क्षुरधार के परित: ऊर्ध्वाधर तल में दोलन कर रहा हो तथा इसके निलम्बन बिन्दु व दोलन बिन्दु की इसके गुरुत्व से दूरियाँ क्रमश: l_1 व l_2 हों तब यह दण्ड लोलक उस सरल लोलक की भाँति कार्य करता है जिसकी प्रभावी लम्बाई $l_1 + l_2$ होती है। अत: दोलनों का आवर्तकाल

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_1 + l_2}{g}} \quad \text{...(i)}$$

तथा $$T_{min} = 2\pi \sqrt{\frac{2K}{g}} \quad \text{...(ii)}$$

जहाँ, K दण्ड लोलक की गुरुत्व केन्द्र के सापेक्ष घूर्णन त्रिज्या है। अब यदि दण्ड लोलक के एक सिरे से प्रत्येक छिद्र की दूरी एवं इनके संगत दोलनों के आवर्तकाल के बीच ग्राफ खींचा जाये तो यह ग्राफ चित्र 5 की भाँति दो वक्रों में प्राप्त होता है, जो गुरुत्व केन्द्र G से जाने वाली अक्ष के परित: सममित होता है।



यदि X-अक्ष के समान्तर एक सरल रेखा खींची जाए, तो यह रेखा दोनों वक्रों को P, Q, R व S बिन्दुओं पर काटती है जिनके लिए आवर्तकाल समान होता है। स्पष्टत: P व R क्रमश: निलम्बन व दोलन बिन्दुओं का एक युग्म है तथा Q व S दूसरा युग्म है। अत: ग्राफ से

$$l_1 = CP = CS \text{ तथा } l_2 = CQ = CR \text{ व } T = OC$$

तब समी. (i) से, $g = 4\pi^2 \frac{l_1 + l_2}{T^2}$ ...(iii)

दोनों वक्रों के निम्नतम बिन्दुओं A व B को मिलाने पर,

$$AB = 2K \text{ तथा } T_{min} = OG$$

तब समी. (ii) से, $g = \frac{4\pi^2 2K}{T_{min}^2}$ ...(iv)

उपर्युक्त समी. (iii) व (iv) से g की गणना की जा सकती है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले दृढ़ आधार को स्प्रिट लेबिल की सहायता से क्षैतिज कर लेते हैं।

(2) अब दण्ड लोलक को एक सिरे के निकटतम छिद्र में क्षुरधार पर क्षैतिज आधार से ऊर्ध्वत: लटकाते हैं तथा दण्ड को ऊर्ध्वाधर तल में थोड़ा-सा खिसका कर छोड़ देते हैं जिससे दण्ड दोलन करने लगता है। विराम घड़ी की सहायता से 25–30 दोलनों का समय ज्ञात करके, दोलनों का आवर्तकाल ज्ञात कर लेते हैं। ध्यान रहे कि नीचे वाला क्षुरधार भी दूसरे सिरे के निकटतम छिद्र में होना चाहिए।

(3) अब उत्तरोत्तर छिद्रों से दण्ड लोलक को लटकाकर ऊपर वर्णित विधि से आवर्तकाल ज्ञात करते जाते हैं। जब गुरुत्व केन्द्र के निकट के छिद्रों पर पहुँचते हैं, तो दोलनों की संख्या बढ़ा देते हैं जिससे आवर्तकाल में अल्प परिवर्तन को आसानी से ज्ञात किया जा सके। नीचे के क्षुरधार को भी ऊपर के क्षुरधार के अनुसार बदलते रहते हैं। दण्ड लोलक का गुरुत्व केन्द्र आ जाने पर, दण्ड को उल्टा कर देते हैं तथा उपर्युक्त क्रिया दण्ड के दूसरे सिरे पर अन्तिम छिद्र तक दोहराते जाते हैं।

(4) मीटर स्केल की सहायता से दण्ड के एक सिरे से प्रत्येक छिद्र के उस बिन्दु की दूरी मापते हैं जिस पर दण्ड निलम्बित था। अर्थात् वह बिन्दु जहाँ क्षुरधार छिद्र को छूती है। ध्यान रहे कि जब दण्ड का ऊपरी सिरा नीचे पलट जाता है, तो क्षुरधार छिद्रों के व्यास के पहले के विपरीत सिरों पर छिद्रों को छूती है।

प्रेक्षण (Observations)—

दण्ड के एक सिरे से निलम्बन बिन्दु की दूरी l तथा आवर्तकाल T के लिए सारणी—

विराम घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड

क्र. सं.	छिद्र की संख्या	दण्ड के एक सिरे से निलम्बन बिन्दु (अथवा क्षुरधार) की दूरी l (सेमी में)	दोलनों की संख्या n	दोलनों में लगा समय t (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T = \frac{t}{n}$ (सेकण्ड में)
1.	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...

ग्राफीय गणना (Graphical Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त आवर्तकाल T को Y-अक्ष पर तथा दण्ड के एक सिरे से क्षुरधार की दूरी l को X-अक्ष पर लेकर एक ग्राफ खींचते हैं। यह ग्राफ चित्र 5 की भाँति प्राप्त होता है। ग्राफ पर X-अक्ष के समान्तर एक सरल रेखा खींचते हैं तथा दोनों वक्रों के निम्नतम् बिन्दुओं A व B को एक सरल रेखा AB द्वारा मिलाते हैं। अब ग्राफ से

$$l_1 = \frac{CP + CS}{2} = \text{... सेमी} = \text{... मी}$$

तथा $$l_2 = \frac{CQ + CR}{2} = \text{... सेमी} = \text{... मी}$$

व $$T = OC = \text{... सेकण्ड।}$$

इनका मान समी. (iii) में रखने पर,

$$g = 4\pi^2 \frac{l_1 + l_2}{T^2} = \text{... मी/से}^2$$

पुन: ग्राफ से, $2K = AB = \text{... सेमी} = \text{... मी}$

व $T_{min} = OG = \text{... सेकण्ड}$

इनका मान समी. (iv) में रखने पर,

$$g = 4\pi^2 \frac{2K}{T_{min}^2} = \text{... मी/से}^2$$

परिणाम (Result)—प्रयोगशाला (स्थान .....) में गुरुत्वीय त्वरण

g = ... मी/से^{2}

g का प्रामाणिक मान = ... मी/से^{2}

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोग द्वारा प्राप्त मान} - \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100 = \text{... \%}$$

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) दृढ़ आधार जिस पर क्षुरधार रखा जाता है, पूर्णत: क्षैतिज होना चाहिए जिससे कि क्षुरधार पूर्णत: क्षैतिज रहे।

(2) क्षुरधार नुकीले होने चाहिए।

(3) दण्ड लोलक के दोलन पूर्णत: ऊर्ध्वाधर तल में होने चाहिए तथा इनका कोणीय आयाम अल्प ($4^\circ - 5^\circ$) होना चाहिए।

(4) वक्र पर T_{min} के संगत बिन्दु को अधिक शुद्धता से ज्ञात करने के लिए दोलनों की संख्या अधिक रखनी चाहिए।

(5) दण्ड के एक सिरे से दूरी क्षुरधार के नुकीले सिरे तक नापनी चाहिए।

(6) दण्ड का गुरुत्व केन्द्र न बदले, इसके लिए दूसरे क्षुरधार को दण्ड के निचले सिरे से ठीक उसी छिद्र संख्या पर लगाना चाहिए जिस छिद्र संख्या (दण्ड के ऊपरी सिरे से) पर पहला क्षुरधार लगाकर निलम्बन किया जाता है।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—दण्ड लोलक की सहायता से गुरुत्वीय त्वरण g का मान ज्ञात करना।

प्रश्न 2. गुरुत्वीय त्वरण से आप क्या समझते हैं ?

उत्तर—मुक्त रूप से पृथ्वी की ओर गिरती किसी वस्तु के वेग में 1 सेकण्ड में होने वाली वृद्धि को गुरुत्वीय त्वरण कहते हैं।

प्रश्न 3. गुरुत्वीय त्वरण g का प्रामाणिक मान बताइए।

उत्तर—9·81 मीटर/सेकण्ड^2। यह मान 45° अक्षांश पर समुद्र तल पर लिया जाता है।

प्रश्न 4. पृथ्वी तल पर, सभी स्थानों पर g का मान समान क्यों नहीं होता है ?

उत्तर—क्योंकि पृथ्वी एक पूर्ण गोला नहीं है तथा यह अपनी अक्ष के परित: घूमती है।

प्रश्न 5. G किसे कहते हैं ?

उत्तर—G सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक है। यह उस आकर्षण बल के परिमाण के बराबर होता है जो एक-दूसरे से एकांक दूरी पर स्थित, एकांक द्रव्यमान वाले दो कणों के बीच लगता है।

प्रश्न 6. 'g' और 'G' में क्या सम्बन्ध होता है ?

उत्तर– $g = \frac{GM}{R_e^2}$, जहाँ M पृथ्वी का द्रव्यमान तथा R_e त्रिज्या है।

प्रश्न 7. सरल लोलक क्या होता है ?

उत्तर– वह निकाय जिसमें एक भारी बिन्दुवत् द्रव्यमान (भारी गोलक) को एक भार रहित पूर्णत: लचीले तथा लम्बाई में न बढ़ने वाले धागे से बाँधकर एक दृढ़ तथा घर्षणहीन आधार से लटका दिया जाता है, सरल लोलक कहलाता है।

प्रश्न 8. यौगिक लोलक किसे कहते हैं ?

उत्तर– यदि कोई दृढ़ पिण्ड उसमें से गुजरती क्षैतिज अक्ष के परित: एक ऊर्ध्वाधर तल में दोलन करता है, तो उसे यौगिक लोलक कहते हैं।

प्रश्न 9. दण्ड लोलक कैसा लोलक है ?

उत्तर– दण्ड लोलक एक यौगिक लोलक है।

प्रश्न 10. यौगिक लोलक के आवर्तकाल का सूत्र बताइए।

उत्तर– आवर्तकाल $T = 2\pi\sqrt{\frac{l + k^2/l}{g}}$; जहाँ, l निलम्बन बिन्दु की गुरुत्व-केन्द्र से दूरी तथा k गुरुत्व केन्द्र के सापेक्ष लोलक की घूर्णन त्रिज्या है।

प्रश्न 11. निलम्बन बिन्दु तथा दोलन बिन्दु से आप क्या समझते हैं ?

उत्तर– निलम्बन बिन्दु वह बिन्दु है जहाँ पर क्षैतिज घूर्णन अक्ष लोलक के गुरुत्व केन्द्र से होकर जाने वाले ऊर्ध्वाधर परिच्छेद को काटता है। दोलन बिन्दु वह बिन्दु है, जो दोलन तल में गुरुत्व केन्द्र से $\frac{k^2}{l}$ दूरी पर होता है।

प्रश्न 12. इन दोनों बिन्दुओं का आपस में क्या सम्बन्ध है ?

उत्तर– यदि लोलक को इन दोनों में से किसी भी बिन्दु पर लटकाकर दोलन कराये जायें, तो दोलन काल समान होता है।

प्रश्न 13. जब निलम्बन बिन्दु गुरुत्व केन्द्र पर हो तो लोलक का आवर्तकाल क्या होगा ?

उत्तर– इस स्थिति में लोलक दोलन नहीं करेगा। अत: आवर्तकाल अनन्त होगा।

प्रश्न 14. आपके प्रयोग में आवर्तकाल न्यूनतम कब होता है ?

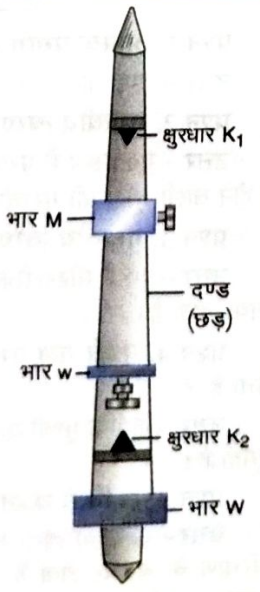
उत्तर– जब निलम्बन बिन्दु की गुरुत्व केन्द्र से दूरी घूर्णन त्रिज्या के बराबर होती है।

प्रयोग संख्या # 04

उद्देश्य (Object)– *केटर के उत्क्रमणीय लोलक की सहायता से गुरुत्वीय त्वरण 'g' का मान ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)– केटर का लोलक, तेज क्षुरधार, विराम घड़ी तथा मीटर स्केल।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)– केटर का लोलक एक यौगिक लोलक होता है। यह एक लम्बी धात्विक छड़ होती है, जो मोटाई में सामान्यत: असमान होती है (चित्र 6)। इसके गुरुत्व केन्द्र के दोनों ओर दो क्षुरधार इस प्रकार लगे होते हैं कि उनके तीक्ष्ण किनारे एक-दूसरे के आमने-सामने होते हैं। इन क्षुरधारों को छड़ के अनुदिश इच्छा अनुसार खिसकाकर छड़ के सिरों के नजदीक कहीं भी लगाया जा सकता है। छड़ के मोटे सिरे पर एक भारी भार W लगा होता है जिसे खिसकाकर



चित्र 6

गुरुत्व केन्द्र को इस सिरे की ओर और भी शिफ्ट किया जा सकता है। छड़ पर दो अन्य भार M तथा w लगे रहते हैं जिन्हें छड़ के अनुदिश खिसकाकर गुरुत्व केन्द्र की स्थिति बदली जा सकती है। इनकी स्थितियों को इस प्रकार, समंजित किया जाता है कि दोनों क्षुरधारों के परित: लोलक का आवर्तकाल लगभग बराबर हो जाये।

भार M का उपयोग स्थूल समंजन के लिए तथा भार w का उपयोग सूक्ष्म समंजन के लिए किया जाता है।

सिद्धान्त (Principle)– जब क्षुरधार K_1 व K_2 से गुजरती क्षैतिज अक्षों के परित: लोलक के दोलनों के आवर्तकाल क्रमश: T_1 व T_2 हैं तब गुरुत्वीय त्वरण

$$g = \frac{8\pi^2}{\left(\frac{T_1^2 + T_2^2}{l_1 + l_2}\right) + \left(\frac{T_1^2 - T_2^2}{l_1 - l_2}\right)} \quad ...(i)$$

जहाँ, l_1 व l_2 क्षुरधार K_1 व K_2 की लोलक के गुरुत्वीय केन्द्र से दूरियाँ हैं।

जब हम T_1 व T_2 को लगभग बराबर कर देते हैं, तो l_1 व l_2 का अन्तर काफी हो जाता है क्योंकि लोलक का गुरुत्व केन्द्र छड़ के एक सिरे की ओर शिफ्ट कर जाता है। अत: $(l_1 - l_2)$ के मान की अधिक शुद्धता आवश्यक नहीं होती तथा पद $\left(\frac{T_1^2 - T_2^2}{l_1 - l_2}\right)$ को छोड़ा जा सकता है। अत:

$$g = \frac{8\pi^2}{\left(\frac{T_1^2 + T_2^2}{l_1 + l_2}\right)} \quad ...(ii)$$

T_1, T_2, l_1 व l_2 को ज्ञात करके, उपर्युक्त सूत्रों से g का मान ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)–

(1) सबसे पहले क्षुरधारों को केटर लोलक के सिरों से 5 – 10 सेमी की दूरी पर, स्क्रू की सहायता से इस प्रकार कसते हैं कि दोनों क्षुरधार एक-दूसरे के समान्तर तथा सम्मुख हों।

(2) अब लोलक को पहले क्षुरधार K_1 से ऊर्ध्वाधर लटकाकर दोलन कराते हैं। विराम घड़ी द्वारा 20 – 25 दोलनों का समय ज्ञात करके, दोलनों का आवर्तकाल ज्ञात करते हैं।

(3) अब लोलक को उलट कर क्षुरधार K_2 पर ऊर्ध्वाधर लटकाते हैं तथा दोलन कराते हैं। पुन: विराम घड़ी द्वारा 20 – 25 दोलनों का समय ज्ञात करके दोलनों का आवर्तकाल ज्ञात करते हैं। सामान्यत: यह आवर्तकाल पहली स्थिति में आवर्तकाल से भिन्न होता है।

(4) अब भार M को कुछ दूर अन्दर या सिरे की ओर खिसकाकर लोलक के गुरुत्व केन्द्र को इस प्रकार समंजित करते हैं कि लोलक को K_1 व K_2 पर लटका कर ऊपर वर्णित विधि के आवर्तकालों का अन्तर कम हो। यहाँ पर यह भी ज्ञात हो जाता है कि भार M को किस ओर खिसकाने से दोनों स्थितियों के आवर्तकालों का अन्तर कम होता है।

(5) अब जिस दिशा में M को खिसकाने से आवर्तकालों का अन्तर कम होता है, M को उसी दिशा में उचित चरणों में खिसकाते जाते हैं तथा दोनों स्थितियों में आवर्तकाल ज्ञात करते जाते हैं। यह क्रिया आवर्तकालों के लगभग बराबर होने तक दोहराते हैं।

(6) अब भार w को उसमें लगे माइक्रोमीटर की सहायता से इस प्रकार व्यवस्थित करते हैं कि लोलक को K_1 व K_2 पर लटकाकर दोलन कराने पर दोलनों के आवर्तकाल जहाँ तक हो सके, बराबर हो जाएँ।

(7) अब लोलक के पहले क्षुरधार K_1 से लटकाकर तथा फिर क्षुरधार K_2 से लटकाकर 80 – 100 दोलनों के लिए समय नापकर प्रत्येक स्थिति में आवर्तकाल ज्ञात कर लेते हैं।

(8) उपर्युक्त प्रेक्षणों को तीन बार दोहराकर आवर्तकालों के औसत मान ज्ञात कर लेते हैं।

(9) अब लोलक को एक क्षैतिज क्षुरधार पर सन्तुलित कर उसके गुरुत्व केन्द्र की स्थिति ज्ञात कर लेते हैं। दोनों क्षुरधारों के बीच की दूरी $(l_1 + l_2)$ व गुरुत्व केन्द्र से प्रत्येक क्षुरधार की दूरी (l_1 तथा l_2) मीटर स्केल की सहायता से नाप लेते हैं।

(10) क्षुरधारों के बीच दूरी बदलकर प्रयोग को दोहराते हैं तथा प्रत्येक बार 'g' का मान ज्ञात करके उनका औसत निकाल लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) **दोनों स्थितियों के आवर्तकालों के लिए सारणी—**

विराम घड़ी का अल्पतमांक = ... सेकण्ड

क्र. सं.	दोलनों की संख्या (n)	क्षुरधार K_1 के परितः लगा समय t_1 (सेकण्ड में)	क्षुरधार K_2 के परितः लगा समय t_2 (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_1 = \frac{t_1}{n}$ (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_2 = \frac{t_2}{n}$ (सेकण्ड में)
1.	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...
			माध्य	T_1 = ... सेकण्ड	T_2 = ... सेकण्ड

(2) (i) लोलक के गुरुत्व केन्द्र से क्षुरधार K_1 की दूरी

l_1 = ... सेमी = ... मी

(ii) लोलक के गुरुत्व केन्द्र से क्षुरधार K_2 की दूरी

l_2 = ... सेमी = ... मी

(iii) क्षुरधार K_1 व K_2 के बीच की दूरी

$l_1 + l_2$ = ... सेमी = ... मी

गणना (Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त T_1, T_2, l_1, l_2 व $l_1 + l_2$ के मानों को सूत्र $g = \dfrac{8\pi^2}{\left(\dfrac{T_1^2 + T_2^2}{l_1 + l_2}\right) + \left(\dfrac{T_1^2 - T_2^2}{l_1 - l_2}\right)}$ में रखने पर,

g = ... मीटर/सेकण्ड^2

यदि T_1 व T_2 का अन्तर नगण्य है तो g का मान समी. (ii) से भी ज्ञात किया जा सकता है।

परिणाम (Result)—प्रयोगशाला (स्थान .....) में गुरुत्वीय त्वरण

g = ... मी/से^{2}

g का प्रामाणिक मान = ... मी/से^{2}

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोग द्वारा प्राप्त मान} \sim \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ..... %.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) आधार जिस पर क्षुरधार को रखा जाता है, पूर्णतः क्षैतिज होना चाहिए।

(2) दोनों क्षुरधार पूर्णतः क्षैतिज, नुकीले तथा एक-दूसरे के समान्तर होने चाहिए।

(3) लोलक के दोलन पूर्णतः ऊर्ध्वाधर तल में होने चाहिए तथा इनका कोणीय आयाम अल्प (4° – 5°) होना चाहिए।

(4) दोलनों में लगा समय एक सुग्राही विराम घड़ी द्वारा नापा जाना चाहिए। इसका अल्पतमांक लगभग 0·1 सेकण्ड होना चाहिए।

(5) दोनों क्षुरधारों के परितः आवर्तकाल ज्ञात करने के लिए इनके परितः अधिक-से-अधिक दोलनों का समय ज्ञात करना चाहिए।

(6) दोनों क्षुरधारों के परितः आवर्तकालों को जहाँ तक सम्भव हो लगभग बराबर कर लेना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—केटर के उत्क्रमणीय लोलक की सहायता से गुरुत्वीय त्वरण g का मान ज्ञात करना।

प्रश्न 2. इस प्रयोग का सिद्धान्त क्या है ?

उत्तर—यदि लोलक के गुरुत्व केन्द्र की विपरीत दिशाओं में एक रेखा में दो बिन्दु इस प्रकार ज्ञात किये जायें कि उनके परितः निलम्बन का आवर्तकाल समान हो, तब ये बिन्दु निलम्बन बिन्दु एवं दोलन बिन्दु की स्थिति बताते हैं तथा इनके बीच की दूरी तुल्यकाली सरल लोलक की प्रभावी लम्बाई के बराबर होती है जिसके द्वारा 'g' का मान निकाल लिया जाता है।

प्रश्न 3. क्या आप अपने प्रयोग में दोनों आवर्तकालों को पूर्णतः बराबर कर सकते हो ?

उत्तर—नहीं। क्योंकि दोनों आवर्तकालों को पूर्णतः बराबर करना बहुत ही कठिन होता है। इस प्रयोग में हम दोनों आवर्तकालों को लगभग बराबर कर लेते हैं।

प्रश्न 4. इस प्रयोग में दोनों आवर्तकालों को लगभग बराबर किस प्रकार करते हैं ?

उत्तर—भार M व w को छड़ पर खिसकाकर ऐसी स्थितियों में समंजित करते हैं कि दोनों क्षुरधारों के लिए लोलक के आवर्तकाल बराबर हो जायें।

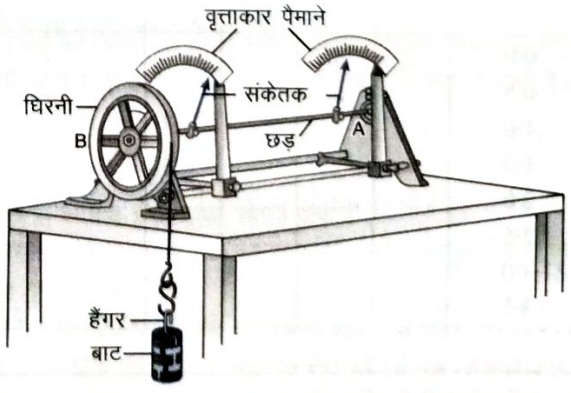
नोट—*सम्बन्धित प्रश्नोत्तर प्रयोग 3 के अनुसार।*

प्रयोग संख्या # 05 (A)

उद्देश्य (Object)—*बार्टन उपकरण (क्षैतिज व्यवस्था) की सहायता से छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—बार्टन का क्षैतिज व्यवस्था वाला उपकरण, मीटर स्केल, स्क्रूगेज, वर्नियर कैलीपर्स तथा आधा-आधा किग्रा के कुछ बाट।

उपकरण का वर्णन (Description of the Apparatus)—बार्टन का क्षैतिज व्यवस्था वाला उपकरण चित्र 7 में प्रदर्शित है। इसमें एक एकसमान



चित्र 7

अनुप्रस्थ परिच्छेद वाली पतली छड़ इस प्रकार क्षैतिज व्यवस्थित होती है कि उसका एक सिरा एक ब्लॉक से स्थाई रूप से कसा होता है तथा दूसरा सिरा एक घिरनी के केन्द्र से कसकर जुड़ा होता है। घिरनी की परिधि से होकर घूमती हुई एक डोरी से एक हैंगर लटका रहता है जिस पर बाट रखकर छड़ पर बलयुग्म लगाया जाता है, जो छड़ को उसकी अक्ष के सापेक्ष ऐंठने का प्रयत्न करता है। छड़ के ऊपर भिन्न-भिन्न दूरियों पर दो संकेतक लगे होते हैं, जो अंशांकित वृत्ताकार पैमानों पर घूमते हैं। वृत्ताकार पैमानों सहित संकेतकों को छड़ पर चलाकर किसी भी स्थिति में कसा जा सकता है।

सिद्धान्त (Principle)—जब घिरनी से लटके हैंगर पर M द्रव्यमान का बाट लटकाया जाता है, तो छड़ पर एक बलयुग्म MgR कार्य करने लगता है जहाँ R घिरनी की त्रिज्या है। यह बलयुग्म छड़ की दृढ़ता के कारण उसमें उत्पन्न हुए आन्तरिक प्रत्यानयन बलयुग्म से सन्तुलित होता है। यदि छड़ के स्थाई रूप से कसे सिरे से l दूरी पर छड़ में उत्पन्न ऐंठन कोण ϕ हो, तो आन्तरिक प्रत्यानयन बलयुग्म $\frac{\pi\eta r^4\phi}{2l}$ होगा; जहाँ, η छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक तथा r छड़ की त्रिज्या है। अत:

$$MgR = \frac{\pi\eta r^4\phi}{2l} \quad ...(i)$$

अब यदि छड़ के स्थाई रूप से कसे सिरे से l_1 व l_2 दूरियों पर छड़ में उत्पन्न ऐंठन कोण क्रमश: ϕ_1 व ϕ_2 हों तथा कोणों को डिग्री में नापा गया हो, तो

$$\eta = \frac{360\, Mg\,(l_2 - l_1)\,R}{\pi^2 r^4\,(\phi_2 - \phi_1)} \quad ...(ii)$$

M, l_1, l_2, R, r, ϕ_1 व ϕ_2 को ज्ञात करके, उपर्युक्त सूत्र से η का मान ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले डोरी को कम-से-कम एक चक्कर घिरनी के चारों ओर (माना दक्षिणावर्त) लपेट कर हैंगर को इसकी सहायता से घिरनी के एक ओर इस प्रकार लटकाते हैं कि डोरी घिरनी के स्पर्श रेखावत् रहे। यदि ऐसा न हो, तो हैंगर पर कुछ बाट रखकर इसको स्पर्श रेखीय करते हैं।

(2) अब दोनों संकेतकों को वृत्ताकार पैमानों सहित खिसकाकर छड़ के सिरों के निकट कस देते हैं। दोनों संकेतकों के मध्य अधिकतम सम्भव दूरी होनी चाहिए।

(3) अब संकेतकों को अपने-अपने पैमानों के शून्य पर समायोजित कर लेते हैं। यह शून्य भार के लिए संकेतकों के शून्य पाठ होंगे।

(4) अब हैंगर पर $\frac{1}{2}$ किग्रा का भार रखते हैं तथा कुछ प्रतीक्षा के बाद संकेतकों के पाठ पढ़ लेते हैं।

(5) हैंगर पर $\frac{1}{2}$ किग्रा के क्रम में बाट रखते जाते हैं तथा प्रत्येक भार के लिए कुछ प्रतीक्षा के बाद संकेतकों के पाठ पढ़ते जाते हैं। ध्यान रहे कि अधिकतम भार प्रत्यास्थता की सीमा के अन्दर ही हो।

(6) अब भारों को क्रमश: उठाते जाते हैं तथा कुछ प्रतीक्षा के बाद संकेतकों के पाठ पढ़ते जाते हैं। यह क्रिया शून्य भार स्थिति तक जारी रखते हैं।

(7) अब डोरी को कम-से-कम एक चक्कर घिरनी के चारों ओर वामावर्त दिशा में लपेटकर हैंगर को घिरनी पर दूसरी ओर लटकाते हैं। तत्पश्चात् विधि (3) से (6) तक प्रयोग को दोहराते हैं।

(8) अब मीटर स्केल की सहायता से संकेतकों की परस्पर दूरी नाप लेते हैं।

(9) स्क्रूगेज के द्वारा छड़ की लम्बाई के अनुदिश कई स्थानों पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में छड़ का व्यास नाप लेते हैं जिससे छड़ की मध्यमान त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।

(10) वर्नियर कैलीपर्स द्वारा घिरनी का मध्यमान व्यास तथा त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।

(11) संकेतकों की स्थितियाँ बदल-बदल कर प्रयोग को दोहराते हैं तथा प्रत्येक प्रयोग के परिणामों से मध्यमान दृढ़ता गुणांक ज्ञात कर लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) **ऐंठन कोण के लिए सारणी**—

क्र. सं.	पलड़े पर रखे बाट का द्रव्यमान M (किग्रा में)	प्रथम संकेतक का पाठ (डिग्री में)					द्वितीय संकेतक का पाठ (डिग्री में)					$(\phi_2 - \phi_1)$ (डिग्री में)	M = ... किग्रा के लिए $(\phi_2 - \phi_1)$ (डिग्री में)
		जब डोरी घिरनी पर दक्षिणावर्त लिपटी है।		जब डोरी घिरनी पर वामावर्त लिपटी है।		माध्य $\phi_1 = \frac{(a+b+c+d)}{4}$ (डिग्री में)	जब डोरी घिरनी पर दक्षिणावर्त लिपटी है।		जब डोरी घिरनी पर वामावर्त लिपटी है।		माध्य $\phi_2 = \frac{(a'+b'+c'+d')}{4}$ (डिग्री में)		
		भार बढ़ाते समय (a)	भार घटाते समय (b)	भार बढ़ाते समय (c)	भार घटाते समय (d)		भार बढ़ाते समय (a')	भार घटाते समय (b')	भार बढ़ाते समय (c')	भार घटाते समय (d')			
1.	0·0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
2.	0·5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
3.	1·0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
4.	1·5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
5.	2·0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
6.	2·5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
7.	3·0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
8.	3·5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
											माध्य	..... डिग्री	

(2) दोनों संकेतकों के बीच की दूरी $l_2 - l_1$ = ... सेमी ..... मीटर

(3) **छड़ की त्रिज्या के लिए सारणी—**

(i) स्क्रूगेज की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) स्क्रूगेज की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			व्यास = $\frac{(a+b)}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या = $\frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक − (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक − (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
						माध्य त्रिज्या		... सेमी = ... मीटर

(4) **घिरनी की त्रिज्या के लिए सारणी—**

(i) वर्नियर कैलीपर्स की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) वर्नियर कैलीपर्स की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			व्यास = $\frac{(a+b)}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या = $\frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक − (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक − (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
						माध्य त्रिज्या		... सेमी = ... मीटर

गणना (Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त $(l_2 - l_1)$, r व g के मानों को मीटर में, M के मान को किग्रा में, $(\phi_2 - \phi_1)$ के मान को डिग्री में तथा g के मान को मीटर/सेकण्ड^2 में लेकर सभी (ii) में रखने पर छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक

$$\eta = \frac{360\ M g\ (l_2 - l_1)\ R}{\pi^2 r^4 (\phi_2 - \phi_1)} = \text{.....न्यूटन/मीटर}^2$$

परिणाम (Result)—दी गई छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक

η = ... न्यूटन/मीटर^2

प्रामाणिक मान = ... न्यूटन/मीटर^2

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोगात्मक मान} - \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ..... %.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) छड़ का स्थिर रहने वाला सिरा ब्लॉक में मजबूती से कसा होना चाहिए अन्यथा हैंगर पर भार रखने से क्लैम्प के अन्दर स्लिप करेगा।

(2) घिरनी के ऊपर लिपटी डोरी का हैंगर से जुड़ा सिरा हमेशा घिरनी के स्पर्श रेखवत् होना चाहिए। इसके लिए डोरी कम-से-कम एक चक्कर घिरनी के ऊपर लिपटी रहनी चाहिए।

(3) डोरी पतली व मजबूत होनी चाहिए। यदि डोरी मोटी है, तो उसकी आधी मोटाई घिरनी की त्रिज्या में जोड़ देनी चाहिए।

(4) हैंगर के प्लेट पर भारों को सावधानीपूर्वक धीरे से रखना या उतारना चाहिए।

(5) प्लेट पर रखा अधिकतम भार प्रत्यास्थता की सीमा के अन्दर ही होना चाहिए।

(6) छड़ की त्रिज्या को सबसे अधिक सावधानीपूर्वक नापना चाहिए क्योंकि यह सबसे छोटी राशि है तथा सूत्र में यह चतुर्थ घात के रूप में आती है।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—बार्टन उपकरण (क्षैतिज व्यवस्था) की सहायता से छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. इस विधि को स्थैतिक विधि क्यों कहते हैं ?

उत्तर—क्योंकि इस प्रयोग में पाठ तब लिए जाते हैं जब उपकरण का प्रत्येक भाग स्थिर होता है।

क्र. सं.	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			व्यास = $\frac{a+b}{2}$ (सेमी में)	माध्य व्यास (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानो में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.								
2.								
3.								
4.								

(4) पहले व दूसरे संकेतकों के बीच की दूरी $(l_2 - l_1)$ = ... सेमी।

गणना (Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त $(l_2 - l_1)$, r व D के मानों को मीटर में, M के मान को किग्रा में, $(\phi_2 - \phi_1)$ के मान को डिग्री में तथा g के मान को मीटर/से.^{2} में लेकर समी. (ii) में रखने पर छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक

$$n = \frac{360 \text{ Mg } (l_2 - l_1)\text{D}}{\pi^2 r^4 (\phi_2 - \phi_1)} = \text{..... न्यूटन/मीटर}^2$$

परिणाम (Result)—दी गयी छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक

η = ... न्यूटन/मीटर^2

प्रामाणिक मान = ... न्यूटन/मीटर^2

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोगात्मक मान} \sim \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ..... %.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) उपकरण का आधार पूर्णत: क्षैतिज होना चाहिए जिससे प्रयोगात्मक छड़ की अक्ष वृत्ताकार पैमानों के केन्द्रों से होकर गुजरे।

(2) घिरनियों की स्थितियाँ व बेलन पर लिपटी डोरियाँ इस प्रकार समायोजित होनी चाहिए कि डोरियाँ पूर्णत: क्षैतिज, एक-दूसरे के समान्तर, घिरनियों के तल में व बेलन को उसके व्यास के विपरीत सिरों से स्पर्श रेखीय रूप से छोड़ती हुई होनी चाहिए।

(3) छड़ का ऊपरी सिरा दृढ़ आधार से मजबूती से कसा होना चाहिए अन्यथा पलड़ों पर भार रखने से छड़ का यह सिरा स्लिप कर जाएगा।

(4) डोरियाँ पतली, लचकदार व मजबूत होनी चाहिए।

(5) घिरनियाँ घर्षण रहित होनी चाहिए।

(6) पलड़ों पर भार सावधानीपूर्वक धीरे से रखना या उतारना चाहिए तथा रखा गया अधिकतम भार प्रत्यास्थता सीमा के अन्दर ही होना चाहिए।

(7) छड़ की त्रिज्या सबसे अधिक सावधानीपूर्वक नापनी चाहिए क्योंकि यह सबसे छोटी राशि है तथा सूत्र में यह चतुर्थ घात के रूप में आती है।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—बार्टन उपकरण (ऊर्ध्वाधर व्यवस्था) की सहायता से छड़ के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. इस उपकरण में संकेतक के दोनों सिरों के पाठ क्यों लेते हैं ?

उत्तर—जिससे वृत्ताकार पैमाने का केन्द्र तथा छड़ की अक्ष के संपाती न होने के कारण उत्पन्न होने वाली उत्केन्द्रता की त्रुटि दूर हो जाये।

प्रश्न 3. यह विधि किस प्रकार की छड़ के लिए उपयोगी है ?

उत्तर—यह विधि पतली छड़ के लिए अधिक उपयोगी है।

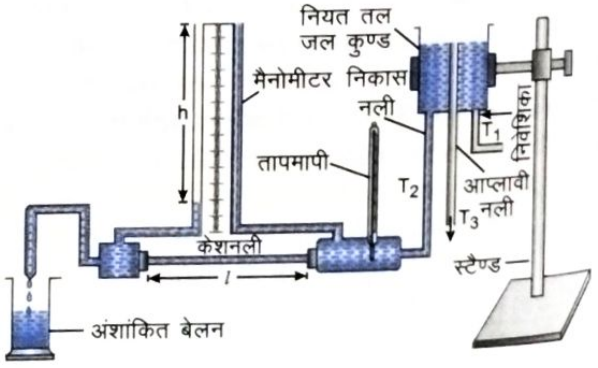
नोट—*सम्बन्धित प्रश्नोत्तर प्रयोग 5(A) के अनुसार।*

प्रयोग संख्या # 06

उद्देश्य (Object)—*प्वॉइसली की विधि से द्रव का श्यानता गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—केशनली द्वारा श्यानता गुणांक ज्ञात करने का उपकरण (श्यानता उपकरण), चल सूक्ष्मदर्शी, मीटर स्केल, विरामघड़ी, अंशांकित बेलन तथा तापमापी।

उपकरण का वर्णन (Description of the Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 9 में प्रदर्शित है। इसमें एक एकसमान अनुप्रस्थ परिच्छेद वाली केशनली क्षैतिज स्थिति में होती है जो दोनों तरफ काँच की चौड़ी नलियों से जुड़ी होती है। एक नियत तल जलकुण्ड से पानी इस केशनली द्वारा प्रवाहित कराया जाता है। यह जलकुण्ड एक ऊर्ध्वाधर स्टैण्ड पर लगा रहता है तथा इसे किसी भी ऊँचाई पर रखा जा सकता है। इस कुण्ड की तली में तीन रबर की नलियाँ लगी होती हैं जिनमें से एक (निवेशिका) के द्वारा पानी जलकुण्ड में भरा जाता है तथा दूसरी नली (निकास नली) को क्षैतिज केशनली से जोड़ दिया जाता है। तीसरी नली (आप्लावी नली) के द्वारा कुण्ड में एक नियत ऊँचाई से अतिरिक्त पानी को बाहर निकाला जाता है। केशनली के सिरों पर दाबान्तर सीधे मैनोमीटर द्वारा नापा जाता है जिसके लिए मैनोमीटर की भुजाओं को दो रबर की नलियों द्वारा केशनली से जुड़ी काँच की चौड़ी नलियों से जोड़ दिया जाता है। केशनली से निकलने वाले पानी को एक अंशांकित बेलन में एकत्रित किया जाता है।



चित्र 9

सिद्धान्त (Principle)—जब एक केशनली जिसकी लम्बाई l व त्रिज्या r है, में से होकर प्रवाहित जल का प्रवाह धारा रेखीय है तथा इसके सिरों के बीच दाबान्तर P है, तब केशनली से प्रति सेकण्ड प्रवाहित द्रव का आयतन

$$Q = \frac{\pi P r^4}{8\eta l} \quad ...(i)$$

जहाँ η द्रव का श्यानता गुणांक है।

यदि केशनली के सिरों से जुड़ी मैनोमीटर की भुजाओं में द्रव के तलों का अन्तर h तथा मैनोमीटर में प्रयुक्त द्रव का घनत्व ρ हो, तो केशनली के सिरों पर दाबान्तर

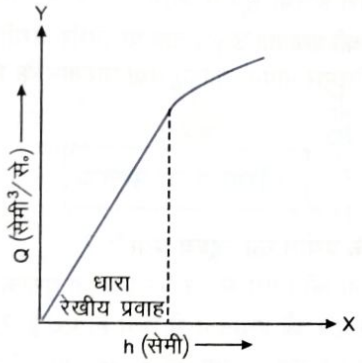
$$P = \rho g h \quad ...(ii)$$

समीकरण (i) व (ii) से,

$$Q = \frac{\pi \rho g h r^4}{8\eta l}$$

या $$\eta = \frac{\pi \rho g r^4}{8l} \frac{h}{Q} \quad ...(iii)$$

यहाँ पर $\frac{\pi \rho g r^4}{8l}$ किसी दी हुई केशनली के लिए नियतांक है। अत: केशनली से प्रति सेकण्ड प्रवाहित द्रव का आयतन Q उसके सिरों पर दाबान्तर P के अनुक्रमानुपाती होता है। इस प्रकार Q व h के बीच खींचा गया ग्राफ एक सीधी रेखा होगा जब तक कि केशनली के सिरों के बीच दाबान्तर बहुत अधिक न हो। यदि केशनली के सिरों के बीच दाबान्तर लगातार बढ़ता जाता है तो एक स्थिति ऐसी आती है कि केशनली में द्रव का प्रवाह धारा रेखीय नहीं रहता तथा इस स्थिति में Q दाबान्तर P के अनुक्रमानुपाती नहीं रहता तथा Q व h के बीच खींचा ग्राफ सीधी रेखा नहीं होता है (चित्र 10)।



चित्र 10

ग्राफ के सरल रेखीय भाग का ढाल $s = \frac{\Delta Q}{\Delta h}$ ...(iv)

अत: समी. (iii) व (iv) से,

$$\eta = \frac{\pi \rho g r^4}{8ls} \quad ...(v)$$

उपर्युक्त सूत्र से किसी द्रव का श्यानता गुणांक η ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले चित्र 9 के अनुसार उपकरण को व्यवस्थित करते हैं तथा यदि उपकरण में उचित स्थान पर केशनलिका नहीं लगी होती है, तो उसे लगा लेते हैं व सुनिश्चित करते हैं कि यह क्षैतिज रहे।

(2) अब नियत तल जलकुण्ड को ऊर्ध्वाधर स्टैण्ड पर किसी उचित ऊँचाई पर कस देते हैं तथा पहली नली (निवेशिका) द्वारा पानी नल से जलकुण्ड में प्रवेश कराते हैं जो दूसरी नली (निकास नली) द्वारा केशनली में बहने लगता है तथा नियत ऊँचाई से अतिरिक्त पानी, तीसरी नली (आप्लावी नली) द्वारा बाहर सिंक में बह जाता है।

(3) नियत तल जलकुण्ड को स्टैण्ड पर इस प्रकार समायोजित करते हैं कि मैनोमीटर में द्रव स्तम्भों की ऊँचाई का अन्तर लगभग 5 सेमी हो। पानी के प्रवाह को स्थिर होने की प्रतीक्षा (लगभग 5 मिनट) करते हैं। जब पानी केशनली से बूँद-बूँद करके एकसमान गति से बहने लगता है तब विरामघड़ी की सहायता से किसी निश्चित समय अन्तराल (माना 2 मिनट) के लिए केशनली से बाहर निकलने वाले पानी को एक अंशांकित बेलन में एकत्रित करके इसका आयतन नाप लेते हैं जिससे प्रति सेकण्ड प्रवाहित द्रव (पानी) का आयतन ज्ञात हो जाता है। समय अन्तराल को बदल-बदल कर पानी एकत्रित करते हैं तथा इन प्रेक्षणों की सहायता से प्रति सेकण्ड प्रवाहित द्रव (पानी) के आयतन का औसत मान ज्ञात करते हैं।

(4) नियत तल जलकुण्ड को स्टैण्ड पर खिसकाकर मैनोमीटर में द्रव स्तम्भों की ऊँचाई का अन्तर 5 सेमी के चरणों में उत्तरोत्तर बढ़ाते जाते हैं अर्थात् 10 सेमी, 15 सेमी ..... करते जाते हैं, जब तक कि इसका मान अधिकतम न हो जाये। प्रत्येक अन्तर के लिए ऊपर वर्णित विधि को दुहराते हुए केशनली से प्रति सेकण्ड प्रवाहित द्रव (पानी) का आयतन ज्ञात कर लेते हैं।

(5) यदि केशनली की लम्बाई व त्रिज्या प्रयोगशाला रिकार्ड में नहीं दी हुई हो, तो इसको उपकरण से बाहर निकालकर सुखा लेते हैं और मीटर स्केल से इसकी लम्बाई नाप लेते हैं।

(6) चल सूक्ष्मदर्शी की सहायता से केशनली के छिद्र का आन्तरिक व्यास दो लम्बवत् दिशाओं में ज्ञात करके औसत व्यास ज्ञात करते हैं। केशनली के दूसरे सिरे के छिद्र का आन्तरिक व्यास भी दो लम्बवत् दिशाओं में ज्ञात करके औसत व्यास ज्ञात करते हैं। इन दोनों औसत व्यासों का फिर से औसत ज्ञात करके केशनली का औसत व्यास ज्ञात करते हैं तथा इसका आधा करके केशनली की त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।

(7) अन्त में तापमापी द्वारा द्रव (पानी) का ताप ज्ञात कर लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) ***h* व Q के लिए सारणी—**

विराम घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड।

अंशांकित बेलन की अल्पतमांक = ... सेमी^{3}

क्र. सं.	मैनोमीटर के पाठ			प्रति सेकण्ड प्रवाहित द्रव (पानी) के आयतन के लिए पाठ				$\frac{h}{Q}$ (सेमी$^{-2}$ से$^{-1}$ में)
	एक भुजा में द्रव स्तम्भ की स्थिति a (सेमी में)	दूसरी भुजा में द्रव स्तम्भ की स्थिति b (सेमी में)	दाबान्तर $h = a \sim b$ (सेमी में)	पानी का कुल एकत्रित आयतन V (सेमी^{3} में)	समय t (सेकण्ड में)	$Q = \frac{V}{t}$ (सेमी^{3}/सेकण्ड में)	माध्य Q (सेमी^{3}/ सेकण्ड में)	
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
		...	...	...				
		...	...	...				
		...	...	...				

2.	...	... ...	... ...	... ...	...	...	...	...
							माध्य	..... सेमी$^{-2}$ से$^{-1}$

(2) **केशनली की त्रिज्या r के लिए सारणी—**

चल सूक्ष्मदर्शी की अल्पतमांक = ... सेमी।

केशनली का सिरा	चल सूक्ष्मदर्शी के पाठ						माध्य व्यास $= \frac{a+b}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या $= \frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी में)
	एक दिशा में			लम्बवत् दिशा में				
	परिच्छेद के एक सिरे का पाठ x (सेमी में)	परिच्छेद के दूसरे सिरे का पाठ y (सेमी में)	व्यास $(x \sim y)$ a (सेमी में)	परिच्छेद के एक सिरे का पाठ x (सेमी में)	परिच्छेद के दूसरे सिरे का पाठ y (सेमी में)	व्यास $(x \sim y)$ b (सेमी में)		
एक सिरा								
दूसरा सिरा								
							माध्य त्रिज्या	... सेमी = ... मीटर

केशनली की माध्य त्रिज्या = $\frac{\text{व्यास}}{2}$ = ... सेमी = ... मी

(3) केशनली की लम्बाई l = ... सेमी = ... मी

(4) द्रव (पानी) का ताप = ... °C

गणना (Calculations)—h के विभिन्न मानों को X-अक्ष पर तथा उनके संगत Q के विभिन्न मानों को Y-अक्ष पर लेकर खींचा गया ग्राफ चित्र 10 की भाँति एक सरल रेखा प्राप्त होता है जिसकी ढाल

$$s = \frac{\Delta Q}{\Delta h} = \text{..... सेमी}^2\text{/सेकण्ड} = \text{..... मी}^2\text{/सेकण्ड}$$

s का मान मी/सेकण्ड में तथा l व r मीटर में, ρ किग्रा/मी^{3} में एवं g मीटर/सेकण्ड^2 में लेकर सूत्र (v) में रखने पर

द्रव की श्यानता गुणांक

$$\eta = \frac{\pi \rho g r^4}{8ls} = \text{...... किग्रा-मीटर}^{-1}\text{ सेकण्ड}^{-1}$$

परिणाम (Result)—दिये गये द्रव (पानी) का ताप ..... °C पर,

श्यानता गुणांक η = ... किग्रा-मीटर$^{-1}$ सेकण्ड$^{-1}$

प्रामाणिक मान η = ... किग्रा-मीटर$^{-1}$ सेकण्ड$^{-1}$

$$= \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रयोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

$$= \text{..... \%.}$$

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) केशनली एकसमान अनुप्रस्थ परिच्छेद वाली होनी चाहिए तथा इसका व्यास 0·5 मिमी से अधिक नहीं होना चाहिए।

(2) केशनली पूर्णत: क्षैतिज रहनी चाहिए जिससे कि द्रव के प्रवाह पर गुरुत्व का प्रभाव न पड़े।

(3) केशनली के सिरों के बीच दाबान्तर कम रखना चाहिए जिससे द्रव का प्रवाह धारा रेखीय रहे अर्थात् द्रव (पानी) केशनली से बूँद-बूँद करके बाहर निकले।

(4) नियत तल जलकुण्ड की स्थिति बदलने के बाद कुछ समय के लिए प्रतीक्षा करनी चाहिए जिससे कि द्रव (पानी) का प्रवाह स्थिर हो जाए। इसके उपरान्त ही द्रव (पानी) को अंशांकित बेलन में एकत्रित करना चाहिए।

(5) दृढ़ता गुणांक η की गणना में h व Q के बीच खींचे गए ग्राफ के सरल रेखीय भाग का ही उपयोग करना चाहिए क्योंकि प्वॉइसली सूत्र केवल धारा रेखीय प्रवाह के लिए ही सत्य है।

(6) केशनली की त्रिज्या का मापन विशेष सावधानी से करना चाहिए क्योंकि यह अत्यन्त छोटी राशि है तथा सूत्र में चतुर्थ घात के रूप में आती है।

(7) किसी द्रव की श्यानता उसके ताप पर निर्भर करती है। अत: प्रयोग के दौरान द्रव का ताप निरन्तर नापना चाहिए तथा परिणाम के साथ इसका उल्लेख करना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. **आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?**

उत्तर—प्वॉइसली की विधि से द्रव का श्यानता गुणांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. **किसी द्रव की श्यानता से क्या तात्पर्य है ?**

उत्तर—द्रव का वह गुण जिसके कारण वह अपनी विभिन्न पर्तों के बीच आपेक्षिक गति का विरोध करता है, द्रव की श्यानता कहलाता है।

प्रश्न 3. **श्यानता गुणांक क्या होता है ?**

उत्तर—किसी द्रव का श्यानता गुणांक उस स्पर्शीय बाह्य बल के बराबर होता है, जो एकांक पृष्ठ क्षेत्रफल वाली दो पर्तों के बीच एकांक वेग प्रवणता बनाये रखने के लिए आवश्यक होता है।

प्रश्न 4. **धारा-रेखीय प्रवाह से आप क्या समझते हैं ?**

उत्तर—जब कोई द्रव इस प्रकार प्रवाहित होता है कि किसी भी एक ही बिन्दु से गुजरने वाले सभी कण एक ही मार्ग का अनुसरण करते हैं, तब द्रव का प्रवाह धारा-रेखीय प्रवाह कहलाता है।

प्रश्न 5. **द्रवों की श्यानता पर ताप का क्या प्रभाव पड़ता है ?**

उत्तर—सामान्यत: द्रवों की श्यानता ताप के बढ़ने पर घटती है।

प्रश्न 6. **द्रवों की श्यानता पर दाब का क्या प्रभाव पड़ता है ?**

उत्तर—दाब के बढ़ने पर श्यानता भी बढ़ती है।

प्रश्न 7. **आपके प्रयोग में क्या केशनली के दोनों सिरों के बीच दाबान्तर स्थिर रखना चाहिए ?**

उत्तर—हाँ, यदि दाबान्तर स्थिर नहीं होगा, तो द्रव (पानी) के प्रवाह की दर बदलती रहेगी।

प्रश्न 8. इस प्रयोग में केशनली को पूर्णतः क्षैतिज क्यों रखा जाता है ?

उत्तर—ताकि केशनली में द्रव (पानी) का प्रवाह गुरुत्व द्वारा प्रवाहित न हो।

प्रश्न 9. केशनली में द्रव के प्रवाह की दर किन-किन बातों पर निर्भर करती है ?

उत्तर—(i) दाबान्तर, (ii) केशनली की त्रिज्या, तथा (iii) केशनली की लम्बाई पर निर्भर करती है।

प्रश्न 10. क्या केशनली में द्रव का प्रवाह वेग प्रत्येक स्थान पर समान होता है ?

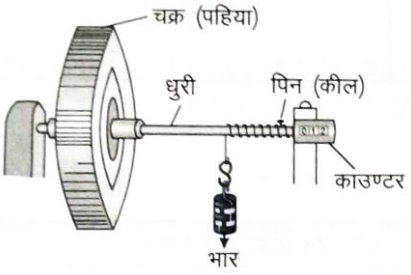
उत्तर—नहीं, केशनली की अक्ष पर प्रवाह वेग अधिकतम तथा केशनली की दीवार के सम्पर्क में प्रवाह वेग न्यूनतम होता है।

प्रयोग संख्या # 07

उद्देश्य (Object)—*गतिपालक चक्र का उसके घूर्णन अक्ष के परितः जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—गतिपालक चक्र, धागा, विराम घड़ी, मीटर स्केल, वर्नियर कैलीपर्स, बाटों का सेट तथा हैंगर।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण (गतिपालक चक्र) चित्र 11 में प्रदर्शित है। यह एक भारी व अधिक व्यास का पहिया (डिस्क) होता है जिसके केन्द्र से एक लम्बी व तुलनात्मक रूप से कम व्यास वाली बेलनाकार धुरी गुजरती है। पहिये की बनावट इस प्रकार की होती है कि इसका अधिकांश द्रव्यमान इसकी रिम पर संकेन्द्रित होता है। धुरी के सिरे बॉल-बेयरिंग पर टिके होते हैं तथा पहिया इसके परितः घूम सकता है। पहिये का गुरुत्व केन्द्र इसकी घूर्णन अक्ष (धुरी) पर होता है जिससे यह किसी भी स्थिति में ठहर सकता है। धुरी पर एक-स्थान पर या तो एक पिन (कील) लगी होती है या एक छिद्र दिया होता है। एक धात्विक पिन (कील) जिसके एक सिरे से धागा बँधा होता है, को इस छिद्र में डाल दिया जाता है। यदि छिद्र की जगह पिन (कील) लगी होती है, तो धागे के एक सिरे पर छोटा-सा फन्दा बनाकर, फन्दे को इस पिन (कील) में फँसा दिया जाता है जिससे आवश्यकता पड़ने पर डोरी आसानी से पिन (कील) से अलग हो जाए। धागे को इस प्रकार जोड़ा जाता है कि जब पहिया घुमाया जाता है, तो धागा धुरी के चारों लिपट जाता है। धागे के दूसरे सिरे से एक द्रव्यमान लटका दिया जाता है। पहिये द्वारा लगाये गये चक्करों को गिनने के लिए धुरी के एक सिरे पर काउण्टर लगा होता है।



चित्र 11

सिद्धान्त (Principle)—प्रयोग में M द्रव्यमान को h लम्बाई के धागे के एक सिरे से बाँधकर, धागे को गतिपालक चक्र की धुरी पर लपेटा जाता है। जब द्रव्यमान को गुरुत्व के अधीन गिरने के लिए स्वतन्त्र छोड़ा जाता है, तो धुरी पर लिपटा धागा खुलने लगता है तथा गतिपालक चक्र धुरी के परितः घूमने लगता है। जब द्रव्यमान h दूरी तय कर लेता है तब धागा पिन (कील) से अलग हो जाता है। द्रव्यमान M के h दूरी गिरने से उसकी स्थितिज ऊर्जा में आयी कमी Mgh के बराबर होती है तथा यह स्थितिज ऊर्जा गतिपालक व द्रव्यमान M को गतिज ऊर्जा प्रदान करने में तथा घर्षण बल जो पहिया व बाल बेयरिंग के बीच लगता है, के विरुद्ध कार्य करने में व्यय होती है।

यदि द्रव्यमान M द्वारा अर्जित वेग v व गतिपालक द्वारा अर्जित कोणीय वेग ω हो तथा गतिपालक चक्र द्वारा, इसकी धुरी से धागा अलग होने तक लगाये गये चक्करों को संख्या n_1 व एक चक्कर में घर्षण बल के विरुद्ध किया गया कार्य F हो, तो

$$Mgh = \frac{1}{2} Mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 + n_1 F \qquad ...(i)$$

जहाँ I गतिपालक चक्र का उसकी घूर्णन अक्ष के परितः जड़त्व आघूर्ण है।

धुरी से धागा (द्रव्यमान M) अलग होने के बाद गतिपालक चक्र उसकी गतिज ऊर्जा के कारण घूर्णन गति करता रहता है तथा घर्षण बल के प्रभाव के कारण स्थिर अवस्था में आ जाता है। यदि स्थिर अवस्था में आने से पहले गतिपालक चक्र n_2 चक्कर पूरे करता है, तो

$$\frac{1}{2} I\omega^2 = n_2 F \qquad ...(ii)$$

समी. (i) व (ii) से,

$$Mgh = \frac{1}{2} Mr^2\omega^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 \left(1 + \frac{n_1}{n_2}\right) \qquad ...(iii)$$

$[\because v = r\omega]$

जहाँ r धुरी की त्रिज्या है।

धुरी से धागा (द्रव्यमान M) अलग होने के बाद गतिपालक चक्र की गति घर्षण बल द्वारा एक समान रूप से मंदित होती है तथा गतिपालक चक्र t समय में स्थिर अवस्था में आ जाता है। इस दौरान गतिपालक चक्र का औसत कोणीय वेग उसके प्रारम्भिक कोणीय वेग ω तथा अन्तिम कोणीय वेग 0 के योग का आधा लिया जा सकता है। अतः

$$\frac{\omega}{2} t = 2\pi n_2 \qquad \text{या} \qquad \omega = 4\pi n_2/t$$

ω का यह मान समी. (iii) में रखकर I के लिए हल करने पर,

$$I = \frac{Mr\left(\frac{gt^2 n_1}{4\pi n_2^2} - r\right)}{\left(1 + \frac{n_1}{n_2}\right)} \qquad ...(iv)$$

$[\because h = 2\pi r n_1]$

सामान्यतः $r << \frac{gt^2 n_1}{4\pi n_2^2}$, अतः

$$I = \frac{Mgrn_1 t^2}{4\pi n_2 (n_1 + n_2)} \qquad ...(v)$$

उपर्युक्त सूत्र से गतिपालक चक्र का उसकी घूर्णन अक्ष के परितः जड़त्व आघूर्ण ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले एक धागा लेते हैं जिसकी लम्बाई गतिचालक चक्र की धुरी की पृथ्वी तल से ऊँचाई से कुछ कम हो। धागे के एक सिरे पर छल्ला बनाते हैं और इस छल्ले को धुरी में लगी पिन (कील) में डाल देते हैं। धागे के दूसरे सिरे पर हैंगर की सहायता से एक बाट (लगभग $\frac{1}{2}$ किलोग्राम) लटका देते हैं। गतिचालक चक्र को घुमाकर धागे को धुरी पर समरूप लपेट देते हैं। धागे का एक फेरा दूसरे पर नहीं चढ़ना चाहिए। धागे द्वारा धुरी के चारों ओर लगाये फेरों की संख्या n_1 गिन लेते हैं (फेरों/चक्करों की संख्या गतिचालक चक्र को धुरी से जुड़े संगणक की सहायता से ज्ञात की जा सकती है)।

(2) द्रव्यमान (बाट) M को नीचे गिरने देते हैं। धुरी पर लिपटा धागा खुलने लगता है तथा गतिचालक चक्र के चक्कर शुरू हो जाते हैं। धागा (छल्ला) कील से छूटने तक चक्र (पहिया) n_1 चक्कर पूरे कर लेगा। चक्करों की यह संख्या धुरी पर लिपटे धागे के फेरों की संख्या के बराबर होती है।

(3) जैसे ही धागा कील से छूटता है, विराम घड़ी चालू कर देते हैं तथा चक्करों की संख्या गिनना आरम्भ कर देते हैं। चक्र (पहिया) के रुकते ही विराम घड़ी बन्द कर देते हैं। चक्र (पहिया) रुकने तक, इसके द्वारा पूरे किये

गए चक्करों की संख्या n_2 ज्ञात कर लेते हैं तथा विराम घड़ी से चक्करों में लगा समय t नोट कर लेते हैं।

(4) n_1 व M के इन्हीं मानों के लिए n_2 व t के मान कई बार दोहराते हैं और इनके औसत मान ज्ञात कर लेते हैं।

(5) अब द्रव्यमान M को बदलकर तथा विभिन्न लम्बाइयों का धागा लेकर (अर्थात् धुरी पर लिपटे धागे के फेरों की संख्या n_1 बदलकर) प्रयोग को दोहराते हैं तथा इनके प्रत्येक मान के संगत n_2 व t के औसत मान ज्ञात करते हैं।

(6) वर्नियर कैलीपर्स की सहायता से धुरी का व्यास कई स्थानों पर परस्पर लम्बवत् दिशाओं में माप कर धुरी का औसत व्यास ज्ञात कर लेते इस मान को आधा करने पर धुरी की त्रिज्या r ज्ञात हो जाती है।

प्रेक्षण (Observations)–

(1) n_1, n_2 तथा t के लिये सारणी–

विराम घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड।

क्रमांक	लटकाया गया द्रव्यमान (हैंगर सहित) M (किग्रा में)	धुरी पर लिपटे धागे के फेरों की संख्या n_1	धुरी से धागा अलग होने के बाद गतिचालक चक्र द्वारा उसके रुकने तक लगाये गये चक्करों की संख्या		n_2 चक्करों में लगा समय	
			n_2	माध्य n_2	t (सेकण्ड में)	माध्य t (सेकण्ड में)
1.	...	...	(i) ... (ii) ... (iii) ...	...	... ...	...
2.	...	...	(i) ... (ii) ... (iii) ...	...	... ...	...
3.	...	...	(i) ... (ii) ... (iii) ...	...	... ...	...

(2) धुरी की त्रिज्या r के लिए सारणी–

(i) वर्नियर कैलीपर्स की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) वर्नियर कैलीपर्स की शून्यांक त्रुटि = ± ... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			$\frac{\text{व्यास} = (a+b)}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या $\frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.								
2.								
3.								
							माध्य	... सेमी = ... मी

गणना (Calculations)–प्रेक्षणों से प्राप्त M का मान किग्रा में, t का मान सेकण्ड में, r का मान मीटर में तथा n_1 व n_2 के मान लेकर सूत्र (v) में रखने पर, जड़त्व आघूर्ण

$$I = \frac{Mgrn_1t^2}{4\pi n_2(n_1 + n_2)} = \text{... किग्रा-मीटर}^2$$

इसी प्रकार प्रेक्षणों के अन्य सेट के लिए I की गणना करें तथा I का माध्यमान निकालें।

सावधानियाँ (Precautions)–

(1) धागे की लम्बाई, धुरी की पृथ्वी तल से ऊँचाई से कम होनी चाहिए ताकि यह द्रव्यमान के पृथ्वी तल से टकराने से पहले ही धुरी से अलग हो जाए।

(2) धुरी पर कील में फँसा धागे का छल्ला ढीला होना चाहिए जिससे धुरी पर लिपटा धागा खुलते ही, यह धुरी से अलग हो जाए अन्यथा यह उल्टी में लिपट जाएगा।

(3) धुरी पर लिपटे धागे के फेरे एकसमान व सटे हुए होने चाहि एक-दूसरे पर चढ़े हुए नहीं होने चाहिए तथा पूर्ण संख्या में होने चाहिए अ द्रव्यमान द्वारा धुरी से अलग होने से पूर्व, चली गयी दूरी सूत्र $2\pi rn_1$ से ज्ञात नहीं की जा सकती।

(4) धागा पतला होना चाहिए अन्यथा इसकी त्रिज्या धुरी की त्रिज्या जुड़नी चाहिए। यह मजबूत भी होना चाहिए।

(5) घर्षण को कम करने के लिए बॉल-बेयरिंग में ठीक से ग्रीस होनी चाहिए।

(6) चक्र (पहिया) को धक्का देकर या धागा खींचकर कभी नहीं चलाना चाहिए। चक्र की गति द्रव्यमान के गुरुत्वाकर्षण के प्रभाव में गिरने से उत्पन्न होनी चाहिए।

(7) धुरी का व्यास सावधानीपूर्वक नापना चाहिए तथा यह विभिन्न स्थानों पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में नापना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. **आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?**

उत्तर – गतिपालक चक्र का उसके घूर्णन अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करना।

प्रश्न 2. **गतिपालक चक्र क्या होता है ?**

उत्तर – गतिपालक चक्र एक भारी व अधिक व्यास का पहिया (डिस्क) होता है जो अपने केन्द्र से जाती हुई एक बेलनाकार धुरी पर घूमता है। इसके द्रव्यमान का अधिकतम भाग किनारे की ओर एकत्रित रहता है तथा इसका गुरुत्व केन्द्र घूर्णन अक्ष पर होता है जिससे यह किसी भी स्थिति में ठहर सकता है।

प्रश्न 3. **गतिपालक चक्र का द्रव्यमान इसकी रिम पर संकेन्द्रित क्यों रहता है ?**

उत्तर – जिससे कि इसका, इसकी घूर्णन अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण अधिक हो जाए तथा यह अधिक गतिज ऊर्जा का संचय कर सके।

प्रश्न 4. **जड़त्व आघूर्ण से आप क्या समझते हैं ?**

उत्तर – घूर्णन गति कर रहे किसी पिण्ड का घूर्णन अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण उस पिण्ड के कणों के द्रव्यमान एवं उनकी घूर्णन अक्ष से लम्बवत् दूरी के वर्ग के गुणनफलों के योग के बराबर होता है।

प्रश्न 5. **जड़त्व आघूर्ण का मात्रक एवं भौतिक महत्व बताइए।**

उत्तर – जड़त्व आघूर्ण का मात्रक किग्रा-मीटर^2 होता है। जिस प्रकार रेखीय गति में किसी वस्तु का द्रव्यमान (जड़त्व) वस्तु की अवस्था परिवर्तन का विरोध करता है, ठीक उसी प्रकार घूर्णन गति में जड़त्व आघूर्ण वस्तु की अवस्था परिवर्तन का विरोध करता है। अत: जड़त्व आघूर्ण का घूर्णन गति में वही महत्व है, जो जड़त्व का रेखीय गति में है।

प्रश्न 6. **किसी पिण्ड का जड़त्व आघूर्ण किन-किन कारकों पर निर्भर करता है ?**

उत्तर – यह (i) पिण्ड के द्रव्यमान पर, (ii) घूर्णन अक्ष के सापेक्ष पिण्ड के द्रव्यमान वितरण पर, तथा (iii) घूर्णन अक्ष पर निर्भर करता है।

प्रश्न 7. **घूर्णन त्रिज्या से आपका क्या तात्पर्य है ?**

उत्तर – घूर्णन त्रिज्या, घूर्णन अक्ष से वह दूरी है जिसके वर्ग का पिण्ड के द्रव्यमान से गुणनफल उस अक्ष के सापेक्ष पिण्ड के जड़त्व आघूर्ण के बराबर होता है।

प्रश्न 8. **गतिपालक चक्र का प्रायोगिक उपयोग क्या है ?**

उत्तर – इसका उपयोग स्थिर इंजन में किया जाता है जिससे कि उससे जुड़ी मशीन की गति एकसमान बनी रहे।

प्रश्न 9. **क्या आपने रेल इंजन या मोटरगाड़ी (मोबाइल इंजन) में गतिचालक चक्र लगा देखा है ?**

उत्तर – नहीं, मोबाइल इंजन में गतिचालक चक्र की आवश्यकता नहीं होती क्योंकि वाहन की भारी बॉडी खुद ही गतिचालक चक्र का उद्देश्य पूरा करती है।

प्रश्न 10. **इस प्रयोग का सिद्धान्त क्या है ?**

उत्तर – घूर्णन गति करते किसी पिण्ड की गतिज ऊर्जा E तथा उसके जड़त्व आघूर्ण I में सम्बन्ध $E = \frac{1}{2} I\omega^2$ होता है। इससे स्पष्ट है कि घूर्णन गति करती हुई वस्तु की गतिज ऊर्जा ज्ञात करके उसका जड़त्व आघूर्ण ज्ञात किया जा सकता है। प्रयोग में पिण्ड को ऊर्जा की एक निश्चित ज्ञात मात्रा देकर तथा परिणामी कोणीय वेग ज्ञात करके उपर्युक्त सूत्र से जड़त्व आघूर्ण का मापन किया जा सकता है।

प्रश्न 11. **इस प्रयोग में ऊर्जा E तथा कोणीय वेग ω कैसे ज्ञात करते हैं ?**

उत्तर – एक ज्ञात द्रव्यमान को एक निश्चित ऊँचाई से गिराकर गतिपालक चक्र द्वारा प्राप्त की गयी ऊर्जा E का मापन किया जाता है जबकि परिणामी कोणीय वेग को ज्ञात करने के लिए गतिपालक चक्र द्वारा लगाये गये चक्कर गिनकर इनमें लगा समय नोट कर लिया जाता है।

प्रश्न 12. **धागे के धुरी से अलग हो जाने के बाद भी गतिचालक चक्र क्यों घूमता रहता है ? फिर कुछ समय बाद क्यों रुक जाता है ?**

उत्तर – क्योंकि इसका जड़त्व आघूर्ण बहुत अधिक होता है जिसके कारण इसमें संचित घूर्णन गतिज ऊर्जा अधिक होती है। बाल-बेयरिंग्स पर घर्षण के कारण इसकी ऊर्जा का क्षय होता है जिससे यह कुछ समय बाद रुक जाता है।

प्रश्न 13. **धागे को धुरी पर लपेटते समय क्या सावधानी बरतते हैं ?**

उत्तर – (i) पिन (कील) में धागे का फन्दा ढीला फँसा होना चाहिए।

(ii) धुरी पर धागे के चक्कर एकसमान व सटे हुए होने चाहिए तथा ये एक-दूसरे के ऊपर चढ़े हुए नहीं होने चाहिए।

प्रश्न 14. **धुरी पर धागे के फेरे एक-दूसरे पर चढ़े होने से क्या हानि है ?**

उत्तर – इस स्थिति में गतिपालक चक्र पर लगने वाला बलयुग्म एकसमान नहीं होगा, जिसके परिणामस्वरूप गतिपालक चक्र समान कोणीय त्वरण से नहीं घूमेगा।

प्रश्न 15. **इस प्रयोग में धागे से लटकाने के लिए किस प्रकार का द्रव्यमान चुना जाता है ?**

उत्तर – धागे के सिर पर बँधा द्रव्यमान इस प्रकार का चुना जाता है कि यह बाल-बेयरिंग में उत्पन्न घर्षण को दूर करने में सक्षम हो तथा यह स्वत: ही अपने भार के कारण गिरना शुरू कर दे।

प्रश्न 16. **क्या धागे के स्थान पर एक पतला तार ले सकते हैं ?**

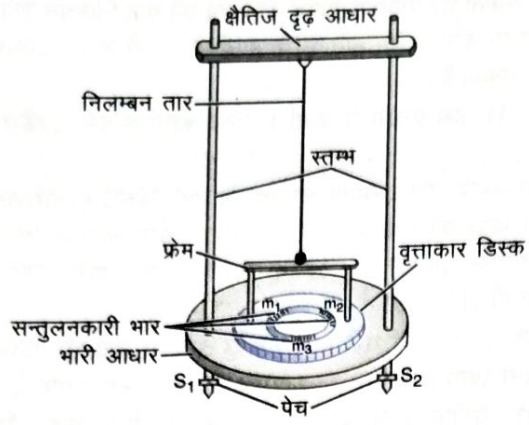
उत्तर – नहीं, क्योंकि जब तार के लपेटे खुलेंगे तब तार को सीधा करने में कुछ ऊर्जा का अपव्यय होगा।

प्रयोग संख्या # 08

उद्देश्य (Object) – *जड़त्व मंच की सहायता से किसी दिए हुए अनियमित पिण्ड का जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required) – सन्तुलनकारी भारों के साथ एक जड़त्व मंच, दिया गया अनियमित पिण्ड, नियमित पिण्ड जिसके जड़त्व आघूर्ण की गणना उसके द्रव्यमान व विमाओं से की जा सके; जैसे – ठोस वृत्ताकार डिस्क, वर्नियर कैलीपर्स, विराम घड़ी, भौतिक तुला, बाट बॉक्स तथा स्प्रिट लेविल।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus) – प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण (जड़त्व मंच) चित्र 12 में प्रदर्शित है। इसमें एलुमिनियम की एक वृत्ताकार डिस्क एक फ्रेम व स्टील के एक तार की सहायता से एक क्षैतिज व दृढ़ आधार से लटकी रहती है। यह दृढ़ आधार दो ऊर्ध्वाधर स्तम्भों पर स्थित होता है तथा ऊर्ध्वाधर स्तम्भ लोहे के एक भारी आधार पर जुड़े रहते हैं। डिस्क की ऊपरी सतह पर एक वृत्ताकार खाँचा बना होता है, जिसमें तीन सन्तुलनकारी भार रखे रहते हैं जिनकी सहायता से डिस्क को क्षैतिज किया जाता है। डिस्क की ऊपरी सतह पर कुछ अन्य संकेन्द्री वृत्तीय रेखाएँ खिंची रहती हैं जिनकी सहायता से पिण्ड को इसके ऊपर सममितत: रखा जा सकता है।



चित्र 12

सिद्धान्त (Principle)—जब डिस्क को क्षैतिज तल में थोड़ा सा घुमाकर छोड़ा जाता है, तो यह निलम्बन तार की अक्ष के परित: ऐंठन दोलन करने लगती है। यदि डिस्क का निलम्बन तार की अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण I_0 है, तो इन दोलनों का आवर्तकाल

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{C}} \quad ...(i)$$

जहाँ C, निलम्बन तार की ऐंठन दृढ़ता है।

अब एक ज्ञात जड़त्व आघूर्ण I_1 की नियमित पिण्ड (ब्रास डिस्क) को जड़त्व मंच पर इस प्रकार रखा जाए कि डिस्क क्षैतिज रहे तथा निलम्बन तार इसके गुरुत्वीय केन्द्र से गुजरे। यदि अब ऐंठन दोलनों का आवर्तकाल T_1 है, तो

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + I_1}{C}} \quad ...(ii)$$

अब नियमित पिण्ड को हटाकर, अज्ञात जड़त्व आघूर्ण I_2 वाले अनियमित पिण्ड को जड़त्व मंच पर इस प्रकार रखा जाए कि इसकी निर्दिष्ट अक्ष निलम्बन तार की अक्ष से सम्पाती हो। यदि अब ऐंठन दोलनों का आवर्तकाल T_2 है, तो

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + I_2}{C}} \quad ...(iii)$$

समी. (i) व (ii) से,

$$T_1^2 - T_0^2 = \frac{4\pi^2 I_1}{C} \quad ...(iv)$$

तथा समी. (i) व (iii) से,

$$T_2^2 - T_0^2 = \frac{4\pi^2 I_2}{C} \quad ...(v)$$

प्रेक्षण (Observations)—

(1) T_0, T_1 तथा T_2 के लिए सारणी—

विराम घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड

क्रमांक	दोलनों की संख्या n	खाली जडत्व मंच के दोलनों के लिए		जड़त्व मंच + नियमित पिण्ड के दोलनों के लिए		जड़त्व मंच + अनियमित पिण्ड के दोलनों के लिए	
		समय t_0 (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_0 = \frac{t_0}{n}$ (सेकण्ड में)	समय t_1 (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_1 = \frac{t_1}{n}$ (सेकण्ड में)	समय t_2 (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_2 = \frac{t_2}{n}$ (सेकण्ड में)
1.	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...	...	...
6.	...	...	...	...	...	...	...
		माध्य T_0	.... सेकण्ड	माध्य T_1	.... सेकण्ड	माध्य T_2	.... सेकण्ड

अत:
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{T_2^2 - T_0^2}{T_1^2 - T_0^2}$$

या
$$I_2 = \frac{T_2^2 - T_0^2}{T_1^2 - T_0^2} \times I_1$$

उपर्युक्त सूत्र से अनियमित पिण्ड का जड़त्व आघूर्ण ज्ञात किया जा है।

प्रयोग विधि (Procedure)—(1) सबसे पहले स्प्रिट लेबिल की से जड़त्व मंच के आधार को उसमें लगे पेचों द्वारा क्षैतिज कर लेते हैं।

(2) अब वृत्ताकार डिस्क को उसके वृत्ताकार खाँचे में रखे सन्तुल भारों व स्प्रिट लेबिल की सहायता से क्षैतिज कर लेते हैं।

(3) अब वृत्ताकार डिस्क को क्षैतिज तल में तनिक-सा घुमाकर छो हैं। डिस्क, तार में ऐंठन के कारण मरोड़ी दोलन करने लगती है।

(4) अब विराम-घड़ी की सहायता से 25–30 दोलनों का समय न हैं। कई प्रेक्षण लेकर उनका औसत समय ज्ञात कर सकते हैं। इस सम दोलनों की संख्या से भाग देने पर आवर्तकाल T_0 का मान ज्ञात हो जाता

(5) अब नियमित ज्यामितीय आकार के पिण्ड (ब्रास डिस्क) को मंच पर इस प्रकार रखते हैं कि उसका केन्द्र मंच के केन्द्र के ऊपर रहे तथ क्षैतिज रहे। इसे सममिति रूप से रखने के लिए मंच पर बनी वृत्ताकार ले की सहायता लेते हैं। इस दशा में निलम्बन तार की अक्ष डिस्क के गुरुत्वीय से गुजरती है। जड़त्व मंच को पुन: क्षैतिज तल में तनिक-सा घुमाकर छो हैं जिससे मरोड़ी दोलन उत्पन्न होते हैं। विधि (4) की भाँति इस संयोग (म नियमित पिण्ड) के लिए औसत आवर्तकाल T_1 ज्ञात कर लेते हैं।

(6) अब, नियमित पिण्ड को हटाकर उसके स्थान पर अज्ञात आघूर्ण वाले अनियमित पिण्ड को इस प्रकार रखते हैं कि उसका दिया अक्ष निलम्बन तार की रेखा में रहे। सन्तुलनकारी भारों को खाँचे में इस व्यवस्थित करते हैं कि मंच क्षैतिज रहे। जड़त्व मंच को पुन: क्षैतिज त तनिक-सा घुमाकर छोड़ देते हैं जिससे मरोड़ी दोलन उत्पन्न होते हैं। विधि की भाँति इस संयोग (मंच + अनियमित पिण्ड) के लिए औसत आवर्त T_2 ज्ञात कर लेते हैं।

(7) नियमित आकार के पिण्ड (ब्रास डिस्क) को तौलकर उसका द्रव्य ज्ञात कर लेते हैं।

(8) वर्नियर कैलीपर्स की सहायता से कई स्थानों पर दो परस्पर लम्ब दिशाओं में डिस्क का व्यास माप लेते हैं। इन मापों की सहायता से डिस्क मध्यमान त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।

(2) नियमित पिण्ड (ब्रास डिस्क) का द्रव्यमान M = ... ग्राम = ... किग्रा

(3) **नियमित पिण्ड (ब्रास डिस्क) की त्रिज्या R के लिए सारणी–**

(i) वर्नियर कैलीपर्स की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) वर्नियर कैलीपर्स की शून्यांक त्रुटि = ± ... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			$\frac{\text{व्यास} = (a + b)}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या $R = \frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
							माध्य	... सेमी = ... मीटर

गणना (Calculations)–(i) प्रेक्षणों से प्राप्त नियमित पिण्ड (ब्रास डिस्क) का द्रव्यमान M किग्रा में तथा त्रिज्या R मीटर में लेकर,

नियमित पिण्ड (ब्रास डिस्क) का जड़त्व आघूर्ण $I_1 = \frac{1}{2} MR^2$

= .... किग्रा-मीटर^2

(ii) I_1 का मान किग्रा-मीटर^2 तथा प्रेक्षणों से प्राप्त T_0, T_1 व T_2 के मान सेकण्ड में लेकर सूत्र (vii) में रखने पर अनियमित पिण्ड का जड़त्व आघूर्ण

$$I_2 = \frac{T_2^2 - T_0^2}{T_1^2 - T_0^2} \times I_1 = \text{... किग्रा-मीटर}^2$$

परिणाम (Result)–दिये गये अनियमित पिण्ड का दी गयी अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण I_2 = ... किग्रा-मीटर^2

सावधानियाँ (Precautions)–

(1) T_0, T_1 व T_2 ज्ञात करते समय जड़त्व मंच का आधार तथा वृत्ताकार डिस्क पूर्णत: क्षैतिज होने चाहिए।

(2) निलम्बन तार सीधा व ऐंठन मुक्त होना चाहिए।

(3) मंच (डिस्क) के दोलन पूर्णत: क्षैतिज तल में मरोड़ी दोलन होने चाहिए न कि ऊपर नीचे या इधर-उधर।

(4) दोलनों का आयाम प्रत्यास्थता सीमा में कम से कम होना चाहिए।

(5) नियमित पिण्ड जड़त्व मंच पर सावधानीपूर्वक इस प्रकार रखना चाहिए कि घूर्णन अक्ष इसके गुरुत्वीय केन्द्र से गुजरे तथा निलम्बन तार से सम्पाती हो।

(6) प्रायोगिक पिण्ड (अनियमित पिण्ड) को भी जड़त्व मंच पर सावधानीपूर्वक इस प्रकार रखना चाहिए कि इसकी निर्दिष्ट अक्ष निलम्बन तार से सम्पाती हो, जब मंच सन्तुलनकारी भारों को व्यवस्थित करके क्षैतिज किया जाता है।

(7) आवर्तकाल अधिक से अधिक दोलनों का समय ज्ञात करके, ज्ञात करना चाहिए।

(8) नियमित पिण्ड (ब्रास डिस्क) का व्यास कई स्थानों पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में मापना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर–जड़त्व मंच की सहायता से किसी दिए हुए अनियमित पिण्ड का जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करना।

प्रश्न 2. आपके प्रयोग में जड़त्वीय मंच किस प्रकार के दोलन करता है ?

उत्तर–क्षैतिज तल में सरल आवर्ती दोलन (मरोड़ी दोलन)।

प्रश्न 3. प्रत्येक अवस्था में जड़त्व मंच को क्षैतिज क्यों रखा जाता है ?

उत्तर–जड़त्व मंच की गति को पूर्णतया एक तल में ऐंठनीय बनाने के लिए इसको क्षैतिज रखा जाता है।

प्रश्न 4. जड़त्व मंच हल्का क्यों रखते हैं ?

उत्तर–ताकि इसका घूर्णन अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण कम हो तथा दिये गये पिण्ड (वस्तु) को इस पर रखने पर जड़त्व आघूर्ण में पर्याप्त अन्तर हो जाए।

प्रश्न 5. मंच के दोलनों का दोलन काल किन-किन कारकों पर निर्भर करता है ?

उत्तर–दोलनकाल (i) मंच के घूर्णन अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण पर, तथा (ii) निलम्बन तार की ऐंठन दृढ़ता पर निर्भर करता है। तार की ऐंठन दृढ़ता पर निर्भरता के कारण दोलनकाल तार के पदार्थ, उसकी लम्बाई व त्रिज्या पर भी निर्भर करता है क्योंकि $C = \frac{\pi \eta r^4}{2l}$।

प्रश्न 6. निलम्बन तार पतला लेने पर, आवर्तकाल पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?

उत्तर–तार की ऐंठन दृढ़ता घट जाने के कारण आवर्तकाल बढ़ जायेगा।

प्रश्न 7. यदि तार की लम्बाई बढ़ा दें, तो आवर्तकाल पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?

उत्तर–तार की ऐंठन दृढ़ता घट जाने के कारण आवर्तकाल बढ़ जायेगा।

प्रश्न 8. आप अपने प्रयोग में कैसा तार लेना पसन्द करेंगे ?

उत्तर–लम्बा व पतला जिससे आवर्तकाल अधिक हो तथा मापन में प्रतिशत त्रुटि कम हो।

प्रश्न 9. जड़त्व मंच पर संकेन्द्री वृत्तीय रेखाओं का क्या महत्त्व है ?

उत्तर–इन वृत्तीय रेखाओं की सहायता से पिण्ड को जड़त्व मंच पर संकेन्द्रीय रूप से रखने में आसानी हो जाती है।

प्रश्न 10. जब सन्तुलनकारी भारों को वृत्ताकार खाँचे में व्यवस्थित किया जाता है, तो क्या परिवर्तित होता है, गुरुत्वीय केन्द्र या जड़त्व आघूर्ण या दोनों ?

उत्तर–गुरुत्वीय केन्द्र की स्थिति परिवर्तित होती है। जड़त्व आघूर्ण परिवर्तित नहीं होता क्योंकि वृत्ताकार खाँचे में सन्तुलनकारी भारों का विस्थापन होने से घूर्णन अक्ष के सापेक्ष द्रव्यमान का वितरण नहीं बदलता है।

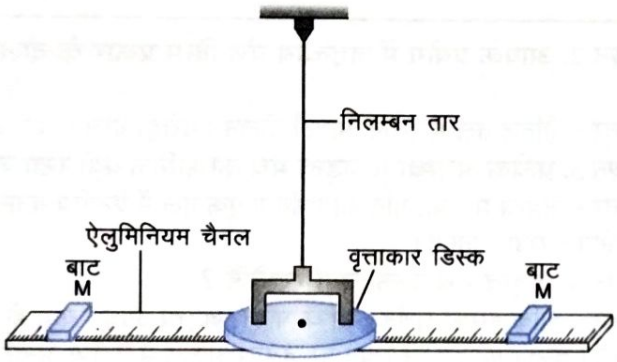
प्रयोग संख्या # 09 (A)

उद्देश्य (Object)— *जड़त्व आघूर्ण के समान्तर अक्ष प्रमेय का सत्यापन करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—एक जड़त्व आघूर्णमापी मंच जिसके केन्द्र से एक हल्की ऐलुमिनियम की चैनल जो लम्बाई में लगभग 1·5 मीटर व चौड़ाई में 5 सेमी हो, जुड़ी हो, कुछ समान द्रव्यमान के बाट, विराम घड़ी तथा मीटर स्केल।

उपकरण का विवरण (Description of the Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 13 में प्रदर्शित है। इस उपकरण में ऐलुमिनियम की एक वृत्ताकार डिस्क जिसका व्यास लगभग 30 सेमी व मोटाई 3 मिमी होती है, एक तार (व्यास लगभग 2 मिमी) द्वारा इस प्रकार लटकी हुई होती है कि डिस्क का तल क्षैतिज रहे।

इस निकाय को जड़त्व-आघूर्णमापी मंच कहा जाता है। इस मंच के केन्द्र से एक हल्की ऐलुमिनियम चैनल जिसकी लम्बाई लगभग 1·5 मीटर व चौड़ाई 5 सेमी होती है, इस प्रकार जुड़ी रहती है कि चैनल का गुरुत्व केन्द्र, मंच के गुरुत्व केन्द्र से सम्पाती होता है। सामान्यत: ऐलुमिनियम चैनल पर दोनों ओर पैमाना अंकित होता है। दोनों ओर के पैमाने का शून्य मंच के गुरुत्व केन्द्र से सम्पाती होता है।



चित्र 13

सिद्धान्त (Principle)—जड़त्व आघूर्ण से सम्बन्धित समान्तर अक्षों की प्रमेय के अनुसार, "किसी अक्ष के परित: किसी पिण्ड का जड़त्व आघूर्ण, उस पिण्ड के द्रव्यमान केन्द्र से गुजरने वाले समान्तर अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण तथा पिण्ड के द्रव्यमान व दोनों अक्षों के बीच की दूरी के वर्ग के गुणनफल के योग के बराबर होता है।"

यदि समान द्रव्यमान के बाटों को चित्र 1 के अनुसार ऐलुमिनियम के चैनल पर, मंच (डिस्क) के केन्द्र से दोनों ओर बराबर-बराबर दूरी x पर रखकर, निकाय को पूर्णत: क्षैतिज तल में मरोड़ी दोलन कराये जायें, तो समान्तर अक्षों की प्रमेय के अनुसार दोलनों के आवर्तकाल व बाटों की घूर्णन अक्ष से दूरी के बीच सम्बन्ध प्राप्त होता है–

$$T_x^2 = T_0^2 + \frac{2MT_0^2}{I_0}x^2$$

जहाँ,

T_0 = ऐंठन (मरोड़ी) दोलनों का आवर्तकाल, जब दोनों समान बाट आघूर्णमापी मंच (डिस्क) के केन्द्र पर रखे हों।

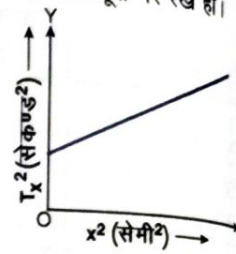
M = प्रत्येक बाट का द्रव्यमान

I_0 = निकाय का जड़त्व आघूर्ण, जब दोनों समान बाट जड़त्व आघूर्णमापी मंच (डिस्क) के केन्द्र पर रखे हों।

x = ऐलुमिनियम चैनल के दोनों ओर रखे प्रत्येक बाट की मंच के केन्द्र से दूरी

T_x = ऐंठन (मरोड़ी) दोलनों का आवर्तकाल, जब दोनों समान बाट ऐलुमिनियम चैनल पर, मंच के केन्द्र से x दूरी पर रखे हों।

अब यदि T_x^2 व x^2 के बीच ग्राफ खींचा जाये तो यह एक सरल रेखा होगा (चित्र 14) जो जड़त्व आघूर्ण से सम्बन्धित समान्तर अक्ष की प्रमेय को सत्यापित करता है।



चित्र 14

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले जड़त्व-आघूर्णमापी मंच के केन्द्र पर समान द्रव्यमानों के दोनों बाँटों को एक-दूसरे के ऊपर इस प्रकार रखते हैं कि निकाय का तल क्षैतिज

(2) अब निकाय को क्षैतिज तल में तनिक-सा घुमाकर छोड़ देते हैं। निक तार में ऐंठन के कारण मरोड़ी दोलन करने लगता है।

(3) विराम घड़ी की सहायता से 25-30 दोलनों का समय नाप लेते कुल समय को दोलनों की संख्या से भाग देने पर आवर्तकाल T_0 का मान हो जाता है।

(4) अब बाटों को मंच के केन्द्र से हटाकर चित्र 13 की भाँति एक-ब बाँट ऐलुमिनियम चैनल पर निलम्बन अक्ष के दोनों ओर बराबर-बराबर (माना 20 सेमी) पर रखते हैं।

(5) अब निकाय को विधि (2) की भाँति मरोड़ी दोलन कराते हैं तथा वि (3) की भाँति आवर्तकाल T_x ज्ञात कर लेते हैं।

(6) इसके पश्चात् दोनों बाटों को 5-5 सेमी के क्रम से घूर्णन अक्ष से खिसकाते जाते हैं तथा प्रत्येक बार ऊपर दी गई विधि द्वारा ऐंठन दोलनों आवर्तकाल ज्ञात कर लेते हैं। इस प्रकार कम से कम 10 प्रेक्षण प्राप्त कर लेते

प्रेक्षण (Observations)—

(1) जड़त्व-आघूर्णमापी मंच पर रखे प्रत्येक बाँट का द्रव्यमान

M = ... ग्राम = ... किग्रा

(2) विराम घड़ी का अल्पतमांक ..... सेकण्ड।

(3) 25 या 30 दोलनों में लगा समय (जब दोनों बाट मंच के केन्द्र पर रखे हैं

t_0 = ... सेकण्ड

$\therefore$ आवर्तकाल $T_0 = \dfrac{t_0}{\text{दोलनों की संख्या}}$ = ... सेकण्ड

(4) x व T_x के लिए सारणी—

विराम घड़ी का अल्पतमांक = ... सेकण्ड

क्रमांक	बाट की घूर्णन अक्ष से दूरी x (सेमी में)	दोलनों की संख्या	दोलनों में लगा समय (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_x = \dfrac{\text{दोलनों में लगा समय}}{\text{दोलनों की संख्या}}$ (सेकण्ड में)	x^2 (सेमी² में)	T_x^2 (सेकण्ड² में)
1.	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...	...

6.	...	...	...	...	...	...
7.	...	...	...	...	...	...
8.	...	...	...	...	...	...
9.	...	...	...	...	...	...
10.	...	...	...	...	...	...

ग्राफीय गणना (Graphical Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त T_x^2 को Y-अक्ष पर तथा x^2 को X-अक्ष पर लेकर एक ग्राफ खींचते हैं जो चित्र 14 की भाँति एक सरल रेखा प्राप्त होता है।

परिणाम (Result)—T_x^2 तथा x^2 के बीच खींचा गया ग्राफ एक सरल रेखा है। अत: जड़त्व आघूर्ण से सम्बन्धित समान्तर अक्ष की प्रमेय का सत्यापन होता है।

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) दोनों बाट समान द्रव्यमान के होने चाहिए।

(2) नलम्बन तार सीधा व ऐंठन मुक्त होना चाहिए।

(3) दोलन पूर्णत: क्षैतिज तल में मरोड़ी दोलन होने चाहिए न कि ऊपर-नीचे या इधर-उधर।

(4) दोलनों का कोणीय आयाम प्रत्यास्थता सीमा में कम-से-कम होना चाहिए।

(5) जड़त्व-आघूर्णमापी मंच व उससे जुड़ी ऐलुमिनियम चैनल हल्की होना चाहिए जिससे इस निकाय का जड़त्व आघूर्ण कम हो तथा चैनल पर बाटों को थोड़ा खिसकाने पर ही दोलनों के आवर्तकाल में पर्याप्त रूप में अन्तर आ जाए।

(6) त्रुटि कम-से-कम हो, इसके लिए दोलनों की संख्या अधिक रखनी चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—जड़त्व आघूर्ण के समान्तर अक्ष प्रमेय का सत्यापन करना।

प्रश्न 2. जड़त्व आघूर्ण से सम्बन्धित समान्तर अक्ष की प्रमेय क्या होती है ?

उत्तर—इस प्रमेय के अनुसार, किसी अक्ष के परित: किसी पिण्ड का जड़त्व आघूर्ण, उस पिण्ड के द्रव्यमान केन्द्र से गुजरने वाली समान्तर अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण तथा पिण्ड के द्रव्यमान व दोनों अक्षों के बीच की दूरी के वर्ग के गुणनफल के योग बराबर होता है।

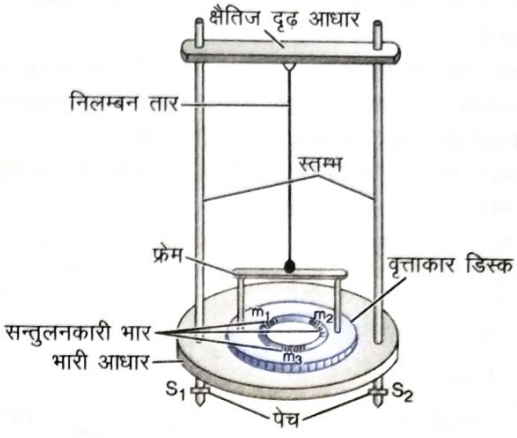
नोट—*सम्बन्धित प्रश्नोत्तर प्रयोग 8 के अनुसार।*

प्रयोग संख्या # 09 (B)

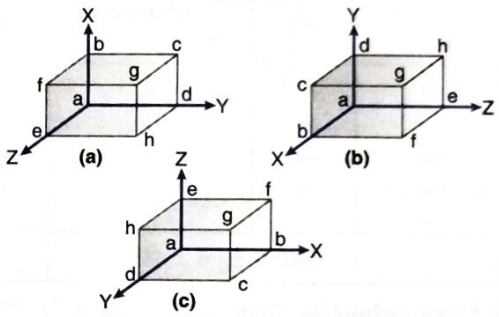
उद्देश्य (Object)—*जड़त्व आघूर्ण के लम्बवत् अक्ष प्रमेय का सत्यापन करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—जड़त्व-आघूर्णमापी मंच, विराम-घड़ी, एकसमान धात्विक ब्लॉक तथा स्प्रिट लेबिल।

उपकरण का वर्णन (Description of the Apparatus)—जड़त्व आघूर्णमापी मंच चित्र 15 में प्रदर्शित है। इसमें ऐलुमिनियम की एक वृत्ताकार डिस्क एक फ्रेम व स्टील के एक तार की सहायता से एक क्षैतिज व दृढ़ आधार से लटकी रहती है। यह दृढ़ आधार दो ऊर्ध्वाधर स्तम्भों पर स्थित होता है तथा ऊर्ध्वाधर स्तम्भ लोहे के एक भारी आधार पर जुड़े रहते हैं। डिस्क की ऊपरी सतह पर एक वृत्ताकार खाँचा बना होता है, जिसमें तीन सन्तुलनकारी भार रखे रहते हैं जिनकी सहायता से डिस्क को क्षैतिज किया जाता है। डिस्क की ऊपरी सतह पर कुछ अन्य संकेंद्री वृत्तीय रेखाएँ खिंची रहती हैं जिनकी सहायता से ब्लॉक को इसके ऊपर सममितत: रखा जा सके।



चित्र 15



चित्र 16

सिद्धान्त (Principle)—जड़त्व आघूर्ण से सम्बन्धित लम्ब अक्ष की प्रमेय के अनुसार, "किसी पिण्ड के तल में स्थित दो परस्पर लम्बवत् अक्षों के परित: पिण्ड के जड़त्व आघूर्णों का योग उस तीसरी अक्ष के परित: पिण्ड के जड़त्व आघूर्ण के बराबर होता है, जो दोनों अक्षों के लम्बवत् होती है तथा उनके कटान बिन्दु में से होकर गुजरती है।"

यदि वृत्तीय डिस्क को पूर्णत: क्षैतिज करके, उस पर दिये गये ब्लॉक को बिना रखे एवं रखकर मरोड़ी दोलन कराये जायें, तो दोलनों के आवर्तकालों में लम्ब अक्ष की प्रमेय के अनुसार निम्नलिखित सम्बन्ध प्राप्त होता है—

$$T_z^2 = T_x^2 + T_y^2 - T_0^2$$

जहाँ

T_0 = जड़त्व आघूर्णमापी मंच (डिस्क) के ऐंठन (मरोड़ी) दोलनों का आवर्तकाल, जब उस पर दिया गया ब्लॉक नहीं रखा है।

T_x = जड़त्व आघूर्णमापी मंच (डिस्क) के ऐंठन (मरोड़ी) दोलनों का आवर्तकाल, जब ब्लॉक का आधार (Y-Z तल) मंच के केन्द्र पर हो।

T_y = जड़त्व आघूर्णमापी मंच (डिस्क) के ऐंठन (मरोड़ी) दोलनों का आवर्तकाल, जब ब्लॉक का आधार (X-Z तल) मंच के केन्द्र पर हो।

T_z = जड़त्व आघूर्णमापी मंच (डिस्क) के ऐंठन (मरोड़ी) दोलनों का आवर्तकाल, जब ब्लॉक का आधार (X-Y तल) मंच के केन्द्र पर हो।

इस प्रकार प्रयोग द्वारा T_0, T_x, T_y व T_z ज्ञात करके लम्ब अक्ष की प्रमेय का सत्यापन किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले स्प्रिट लेबिल की सहायता से जड़त्व-आघूर्णमापी मंच के आधार को उसमें लगे पेचों द्वारा क्षैतिज कर लेते हैं।

(2) अब वृत्ताकार डिस्क को उसके वृत्ताकार खाँचे में रखे सन्तुलनकारी भारों व स्प्रिट लेबिल की सहायता से क्षैतिज कर लेते हैं।

(3) अब वृत्ताकार डिस्क को क्षैतिज तल में तनिक-सा घुमाकर छोड़ देते हैं। डिस्क, तार में ऐंठन के कारण मरोड़ी दोलन करने लगती है।

(4) अब विराम-घड़ी की सहायता से 25 – 30 दोलनों का समय नाप लेते हैं। कुल समय को दोलनों की संख्या से भाग देने पर आवर्तकाल T_0 का मान ज्ञात हो जाता है।

(5) अब दिये गये ब्लॉक को वृत्ताकार डिस्क पर इस प्रकार रखते हैं कि ब्लॉक का आधार Y-Z तल में रहे तथा इसका गुरुत्व केन्द्र वृत्ताकार डिस्क के केन्द्र से सम्पाती हो अर्थात् वृत्ताकार डिस्क क्षैतिज रहे।

(6) अब डिस्क को विधि (3) की भाँति दोलन कराते हैं तथा विधि (4) की भाँति आवर्तकाल T_x ज्ञात कर लेते हैं।

(7) अब डिस्क पर रखे ब्लॉक को घुमाकर इसका आधार Z-X तल में कर देते हैं। ध्यान रहे कि ब्लॉक का गुरुत्व केन्द्र, डिस्क के गुरुत्व केन्द्र से स रहे, जिससे डिस्क क्षैतिज बनी रहे।

(8) अब डिस्क को विधि (3) की भाँति दोलन कराते हैं तथा विधि (4 भाँति आवर्तकाल T_y ज्ञात कर लेते हैं।

(9) अब डिस्क पर रखे ब्लॉक को घुमाकर इसका आधार X-Y त कर देते हैं तथा पुनः डिस्क को विधि (3) की भाँति दोलन कराते हैं तथा (4) की भाँति आवर्तकाल T_z ज्ञात कर लेते हैं।

(10) उपर्युक्त प्रयोग को (विधि (3) से (9) तक) दोलनों की संख्या बदल 4 – 5 बार दोहराते हैं।

प्रेक्षण (Observations)–

(1) T_0, T_x, T_y व T_z के लिए सारणी–

विराम-घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड

क्रमांक	दोलनों की संख्या n	खाली जड़त्व-आघूर्णमापी मंच के लिए		मंच पर रखे ब्लॉक के x-अक्ष के परितः दोलनों के लिए		मंच पर रखे ब्लॉक के y-अक्ष के परितः दोलनों के लिए		मंच पर रखे ब्लॉक के z-अ के परितः दोलनों के लि	
		समय t_0 (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_0 = \frac{t_0}{n}$ (सेकण्ड में)	समय t_x (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_x = \frac{t_x}{n}$ (सेकण्ड में)	समय t_y (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_y = \frac{t_y}{n}$ (सेकण्ड में)	समय t_z (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_z = \frac{t_z}{n}$ (सेकण्ड में)
1.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		माध्य T_0 = ... सेकण्ड		**माध्य** T_x = ... सेकण्ड		**माध्य** T_y = ... सेकण्ड		**माध्य** T_z = ... सेकण्ड	

गणना (Calculations)–उपर्युक्त प्रेक्षण सारणी से

माध्य T_0 = ... सेकण्ड $\therefore T_0^2$ = ... सेकण्ड^2

माध्य T_x = ... सेकण्ड $\therefore T_x^2$ = ... सेकण्ड^2

माध्य T_y = ... सेकण्ड $\therefore T_y^2$ = ... सेकण्ड^2

माध्य T_z = ... सेकण्ड $\therefore T_z^2$ = ... सेकण्ड^2

अब लम्ब अक्ष की प्रमेय के अनुसार

$$T_x^2 + T_y^2 - T_0^2 = ... \text{ सेकण्ड}^2$$
$$= T_z^2 \text{ (लगभग)}$$

परिणाम (Result)–गणनानुसार $T_x^2 + T_y^2 - T_0^2$ का मान लगभग T_z^2 के बराबर आता है, अतः इससे लम्ब अक्ष की प्रमेय का सत्यापन होता है।

सावधानियाँ (Precautions)–

(1) जड़त्व-आघूर्णमापी मंच का आधार व वृत्ताकार डिस्क पूर्णतः क्षैतिज होने चाहिए।

(2) निलम्बन तार सीधा व ऐंठन मुक्त होना चाहिए।

(3) मंच (डिस्क) के दोलन पूर्णतः क्षैतिज तल में मरोड़ी दोलन होने चाहिए न कि ऊपर नीचे या इधर-उधर।

(4) दोलनों का कोणीय आयाम प्रत्यास्थता सीमा में कम-से-कम होना चाहिए।

(5) दिये गये ब्लॉक को मंच (डिस्क) पर इस प्रकार रखना चाहिए कि इसका गुरुत्व केन्द्र डिस्क के केन्द्र से संपाती हो।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर–जडत्व आघूर्ण के लम्बवत् अक्ष की प्रमेय का सत्यापन करना।

प्रश्न 2. जड़त्व आघूर्ण से सम्बन्धित लम्ब अक्ष की प्रमेय क्या होती है

उत्तर–इस प्रमेय के अनुसार, "किसी पिण्ड के तल में स्थित दो पर लम्बवत् अक्षों के परितः पिण्ड के जड़त्व आघूर्णों का योग उस तीसरी अक्ष परितः पिण्ड के जड़त्व आघूर्ण के बराबर होता है, जो दोनों अक्षों के लम्ब होती है तथा उनके कटान बिन्दु में से होकर गुजरती है।

नोट–*सम्बन्धित प्रश्नोत्तर प्रयोग 8 के अनुसार।*

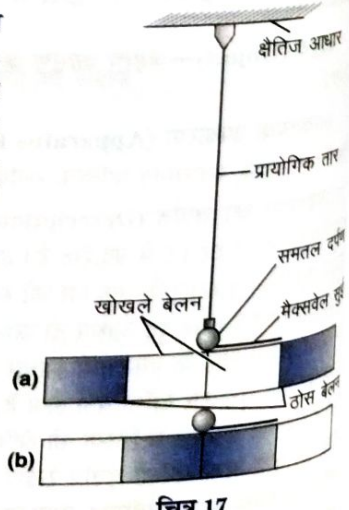
प्रयोग संख्या # 10

उद्देश्य (Object)–*मैक्सवेल सुई की सहायता से तार के पदार्थ का दृ गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)–प्रायोगिक तार व खोखले एवं ठोस बेलनों के जोड़ों के साथ मैक्सवेल सुई, स्क्रूगेज, मीटर-स्केल, विराम-घड़ी, भौतिक तुला तथा बाटों का बक्सा।

चित्र 17

उपकरण का वर्णन (Description of the Apparatus)–मैक्सवेल सुई, पीतल की एक लम्बी व खोखली बेलनाकार नली होती है, जो प्रायोगिक तार के निचले सिरे से एक चक नट की सहायता से अपने मध्य में जुड़ी रहती है। प्रायोगिक तार का दूसरा सिरा एक ओर चक



नट की सहायता से एक क्षैतिज दृढ़ आधार से जुड़ा रहता है, जिससे मैक्सवेल सुई क्षैतिज स्थिति में लटकी रहती है। खोखली नली के दोनों सिरे खुले होते हैं जिसके भीतर पीतल के दो ठोस व दो खोखले बेलन, प्रत्येक की लम्बाई सुई की लम्बाई की एक-चौथाई तथा व्यास सुई के आन्तरिक व्यास के बराबर होता है, ठीक-ठीक फिट हो जाते हैं। इन चारों बेलनों को नली के अन्दर सममित रूप से रखा जाता है जिससे सुई क्षैतिज स्थिति में रहे। अत: दोनों खोखले बेलनों को अन्दर की ओर तथा दोनों ठोस बेलनों को बाहर की ओर या दोनों ठोस बेलनों को अन्दर की ओर तथा दोनों खोखले बेलनों को बाहर की ओर रखा जाता है। लैम्प व स्केल व्यवस्था की सहायता से दोलनों की संख्या गिनने के लिए सुई के मध्य पर एक समतल दर्पण भी लगा रहता है।

सिद्धान्त (Principle)—यदि मैक्सवेल की सुई में ठोस बेलनों को बाहर की ओर तथा खोखले बेलनों को अन्दर की ओर रखकर ऐंठन दोलन कराने पर दोलनों का आवर्तकाल T_1 हो एवं खोखले बेलनों को बाहर की ओर तथा ठोस बेलनों को अन्दर की ओर रखकर ऐंठन दोलन कराने पर दोलनों का आवर्तकाल T_2 हो, तब

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{C}} \qquad ...(i)$$

तथा

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{C}} \qquad ...(ii)$$

जहाँ C तार की ऐंठन दृढ़ता तथा I_1 व I_2 क्रमश: पहली व दूसरी स्थिति में निकाय के तार की अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण हैं। समीकरण (i) व (ii) से

$$C = 4\pi^2 \frac{(I_1 - I_2)}{(T_1^2 - T_2^2)} \qquad ...(iii)$$

लेकिन यदि निलम्बन तार की लम्बाई l, त्रिज्या r तथा उसके पदार्थ का दृढ़ता गुणांक η हो, तो

$$C = \frac{\pi \eta r^4}{2l} \qquad ...(iv)$$

तब समीकरण (iii) व (iv) से,

$$\eta = \frac{8\pi l}{r^4} \left(\frac{I_1 - I_2}{T_1^2 - T_2^2} \right) \qquad ...(v)$$

यदि प्रत्येक ठोस व खोखले बेलन का द्रव्यमान क्रमश: M_S व M_H हो, तब जड़त्व आघूर्ण से सम्बन्धित समान्तर अक्ष की प्रमेय के उपयोग से,

$$I_1 - I_2 = \frac{(M_S - M_H) L^2}{4} \qquad ...(vi)$$

जहाँ L मैक्सवेल सुई की लम्बाई है।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) **आवर्तकाल T_1 व T_2 के लिए सारणी—**

विराम घड़ी का अल्पतमांक = ... सेकण्ड

क्रमांक	दोलनों की संख्या n	जब ठोस बेलन बाहर की ओर हैं		जब खोखले बेलन बाहर की ओर हैं	
		दोलनों में लगा समय t_1 (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_1 = \frac{t_1}{n}$ (सेकण्ड में)	दोलनों में लगा समय t_2 (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T_2 = \frac{t_2}{n}$ (सेकण्ड में)
1.	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...
		माध्य	... सेकण्ड	माध्य	... सेकण्ड

अत:

$$\eta = \frac{2\pi l (M_S - M_H) L^2}{r^4 (T_1^2 - T_2^2)} \qquad ...(vii)$$

उपर्युक्त सूत्र में l, M_S, M_H, r, T_1, T_2 व L के मान रखकर η का मान ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले प्रायोगिक तार जिसकी लम्बाई लगभग 50 सेमी हो, के ऊपरी सिरे को दृढ़ आधार में तथा दूसरे सिरे को मैक्सवेल सुई के मध्य में चक नटों की सहायता से दृढ़तापूर्वक कस देते हैं जिससे मैक्सवेल सुई क्षैतिज स्थिति में रहे।

(2) अब खोखली नली (मैक्सवेल सुई) में दोनों खोखले बेलनों को अन्दर की ओर तथा दोनों ठोस बेलनों को बाहर की ओर इस प्रकार रखते हैं कि बेलनों का कोई भी भाग नली के बाहर न निकला रहे (चित्र 17)।

(3) अब सुई के मध्य में संकेतक को लगाते हैं तथा सुई की विरामावस्था में संकेतक की स्थिति मेज पर अंकित कर लेते हैं। यह स्थिति दोलन गिनने के लिए सन्दर्भ स्थिति होती है। यदि लैम्प-स्केल व्यवस्था से दोलन गिनने हैं, तो इसको इस प्रकार समायोजित करते हैं कि लैम्प से मैक्सवेल सुई पर लगे समतल दर्पण पर डाला गया प्रकाश, दर्पण से परावर्तित होकर स्केल पर प्राप्त हो तथा स्केल पर प्रकाश चिह्न दिखायी दें।

(4) नली को क्षैतिज तल में थोड़ा-सा घुमाकर छोड़ देते हैं, जिससे यह प्रायोगिक तार की अक्ष के सापेक्ष ऐंठन दोलन करने लगती है। यहाँ पर यह भी सुनिश्चित करते हैं कि नली ऊपर-नीचे न हिले और न ही इसमें लोलकीय दोलन हों।

(5) विराम-घड़ी की सहायता से 25–30 दोलनों में लगा समय ज्ञात करके दोलनकाल ज्ञात कर लेते हैं तथा प्रेक्षणों को कई बार दुहराते हैं और उनसे औसत आवर्तकाल T_1 ज्ञात कर लेते हैं।

(6) अब खोखले तथा ठोस बेलनों के स्थान परस्पर बदलते हैं। इस स्थिति में ठोस बेलन अन्दर की ओर तथा खोखले बेलन बाहर की ओर होते हैं।

(7) ऊपर वर्णित विधि से इस व्यवस्था के लिए भी दोलनों का औसत आवर्तकाल T_2 ज्ञात कर लेते हैं।

(8) स्क्रूगेज की सहायता से प्रायोगिक तार का व्यास उसकी लम्बाई के अनुदिश कई स्थानों पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में नापते हैं तथा तार की मध्यमान त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।

(9) मीटर स्केल की सहायता से चक नटों के बाहर तार की लम्बाई नापते हैं तथा खोखली नली (मैक्सवेल सुई) की लम्बाई नापते हैं।

(10) भौतिक तुला के द्वारा ठोस व खोखले बेलनों को तोलकर इनका द्रव्यमान ज्ञात करते हैं तथा औसत द्रव्यमान M_S व M_H निकाल लेते हैं।

(2) **तार की त्रिज्या के लिए सारणी—**

(i) स्क्रूगेज की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) स्क्रूगेज की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			व्यास = $\frac{(a+b)}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या = $\frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी ...
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिन्ह सहित) (सेमी में)		
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
							माध्य	... सेमी = ... मीटर

(3) निलम्बन तार (प्रायोगिक तार) की लम्बाई

l = ... सेमी = ... मी

(4) खोखली नली (मैक्सवेल सुई) की लम्बाई

L = ... सेमी = ... मी

(5) ठोस बेलन का औसत द्रव्यमान M_S = ... ग्राम = ... किग्रा

खोखले बेलन का औसत द्रव्यमान M_H = ... ग्राम = ... किग्रा

गणना (Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त l, r व L के मान मीटर में, M_S व M_H के मान किग्रा में, T_1 व T_2 के मान सेकण्ड में लेकर सूत्र (vii) में रखने पर, तार के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक

$$\eta = \frac{2\pi l\,(M_S - M_H)\,L^2}{r^4\,(T_1^2 - T_2^2)} = \text{...... न्यूटन/मीटर}^2$$

परिणाम (Result)—दिये गये तार के पदार्थ (.....) का दृढ़ता गुणांक η = ... न्यूटन/मीटर^2

प्रामाणिक मान—η = ... न्यूटन/मीटर^2

$$\text{\% त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रयोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= .... %

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) प्रायोगिक तार लम्बा, पतला तथा ऐंठन मुक्त होना चाहिए।

(2) प्रायोगिक तार के दोनों सिरे ठीक से क्लैम्प होने चाहिए।

(3) खोखली नली (मैक्सवेल सुई) के अन्दर बेलनों को सममित रूप में इस प्रकार रखना चाहिए कि उनका कोई भी भाग नली से बाहर न निकले।

(4) मैक्सवेल सुई पूरे प्रयोग के दौरान क्षैतिज स्थिति में रहनी चाहिए।

(5) सुई के दोलन पूरी तरह से मरोड़ी (ऐंठन) दोलन होने चाहिए। सुई ऊपर-नीचे तथा लोलकीय दोलन नहीं करनी चाहिए।

(6) दोलनों का आयाम कम होना चाहिए अर्थात् सुई को केवल अल्प कोण (लगभग 5° से 10° तक) से ही घुमाकर छोड़ना चाहिए।

(7) आवर्तकाल अधिक-से-अधिक दोलनों का समय नापकर ही ज्ञात करना चाहिए।

(8) प्रायोगिक तार की त्रिज्या बहुत सावधानी से ज्ञात करनी चाहिए क्योंकि यह एक अत्यन्त छोटी राशि है तथा सूत्र में यह चतुर्थ घात के रूप में आती है।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—मैक्सवेल सुई की सहायता से तार के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ... करना।

प्रश्न 2. आप इस प्रयोग में सुई को किस प्रकार के दोलन कराते हैं ?

उत्तर—इस प्रयोग में सुई को मरोड़ी (ऐंठन) दोलन कराये जाते हैं।

प्रश्न 3. मरोड़ी दोलनों का आवर्तकाल किन-किन राशियों पर नि... करता है ?

उत्तर—यह निकाय के निलम्बन तार की अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण ... तार की लम्बाई, त्रिज्या व पदार्थ पर निर्भर करता है।

प्रश्न 4. इस प्रयोग में मैक्सवेल सुई को सदैव क्षैतिज स्थिति में क्यों रखा जाता है ?

उत्तर—जिससे कि तार में ऐंठन उसकी अक्ष के लम्बवत् ही उत्पन्न हो तथा सुई का घूर्णन अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण नियत रहे।

प्रश्न 5. खोखली नली के अन्दर ठोस व खोखले बेलनों की स्थिति परस्पर बदलने से दोलनों का आवर्तकाल क्यों बदल जाता है ?

उत्तर—क्योंकि घूर्णन अक्ष के सापेक्ष द्रव्यमान वितरण बदलने से निकाय का घूर्णन अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण बदल जाता है।

प्रश्न 6. खोखली नली में ठोस बेलन अन्दर की ओर व ठोस बेलन बाहर की ओर में से कौन-सी स्थिति में दोलनों का आवर्तकाल अधिक होता है ?

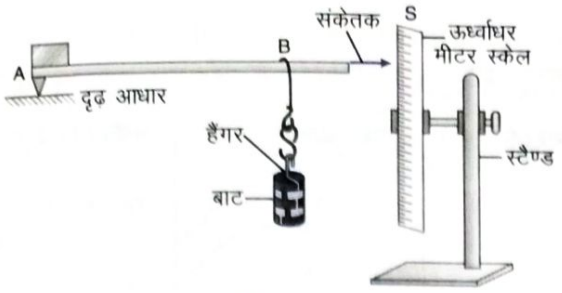
उत्तर—खोखली नली में जब ठोस बेलन बाहर की ओर होते हैं, तब दोलनों का आवर्तकाल अधिक होता है क्योंकि इस स्थिति में निकाय का घूर्णन अक्ष के परित: जड़त्व आघूर्ण अधिक होता है।

प्रयोग संख्या # 11

उद्देश्य (Object)— *कैंटीलीवर की सहायता से किसी छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना।*

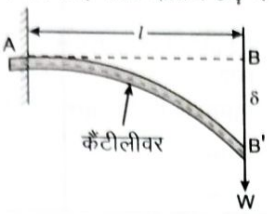
आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—दी हुई छड़ के उपयोग से बना कैंटीलीवर, मीटर-स्केल, स्क्रूगेज तथा 200–200 ग्राम के कुछ बाट।

उपकरण का वर्णन (Description of the Apparatus)—चित्र 1... में दी गयी छड़ से बना कैंटीलीवर प्रदर्शित है। इसमें एक एकसमान परिच्छेद वाली छड़ जो लम्बाई में लगभग 50 सेमी होती है, का एक सिरा दृढ़ आधार से कसा होता है। दूसरा सिरा मुक्त होता है जिस पर भार लटकाने से वह झुक जाता है। मुक्त सिरे पर एक संकेतक लगा रहता है, जिसकी सहायता से मुक्त सिरे में हुए अवनमन (झुकाव) को एक ऊर्ध्वाधर मीटर-स्केल पर जो एक स्टैण्ड पर कसा होता है पढ़ा जा सकता है।



चित्र 18

सिद्धान्त (Principle)—जब एक एकसमान परिच्छेद वाली क्षैतिज छड़ के एक सिरे को दृढ़ आधार से कसकर दूसरा सिरा जो मुक्त होता है, पर भार लटकाया जाता है, तो यह निकाय कैंटीलीवर कहलाता है। चित्र 19 में एक कैंटीलीवर AB प्रदर्शित है। भार लटकने से मुक्त सिरे में हुए झुकाव के कारण छड़ वक्र रूप में मुड़ जाती है तथा इसकी वक्रता लम्बाई के अनुदिश बदलती है। मुक्त सिरे पर वक्रता अधिकतम तथा दृढ़ सिरे पर शून्य होती है। छड़ का वक्र रूप में मुड़ना मुक्त सिरे पर लटके भार के बंकन आघूर्ण के कारण होता है। सन्तुलन की स्थिति में यह बल आघूर्ण छड़ में उत्पन्न प्रत्यानयन बलयुग्म के आघूर्ण से सन्तुलित हो जाता है। सन्तुलन की स्थिति में यदि मुक्त सिरे का अवनमन (झुकाव) δ हो तथा छड़ का भार लटकाये गये भार W की तुलना में नगण्य हो, तो



चित्र 19

$$\delta = \frac{Wl^3}{3YI}$$

जहाँ l छड़ की लम्बाई, I ज्यामितीय जड़त्व आघूर्ण तथा Y छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक है।

यदि दी हुई छड़ बेलनाकार हो जिसकी त्रिज्या r तथा मुक्त सिरे से M द्रव्यमान लटका हो, तब

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \text{ तथा } W = Mg$$

तब $$\delta = \frac{4Mgl^3}{3\pi Yr^4} \quad ...(i)$$

या $$Y = \frac{4Mgl^3}{3\pi\delta r^4} \quad ...(ii)$$

उपर्युक्त सूत्र में M, g, l, δ व r के मान रखकर यंग प्रत्यास्थता गुणांक Y को ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले मीटर स्केल की सहायता से छड़ की लम्बाई l, उसके दृढ़ सिरे पर उस बिन्दु जहाँ पर यह सिरा दृढ़ आधार से कीलकित है, से हैंगर लटकाने के स्थान तक, नाप लेते हैं।

(2) अब स्क्रूगेज की सहायता से छड़ का व्यास भिन्न-भिन्न स्थानों पर तथा प्रत्येक स्थान पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में नाप लेते हैं।

(3) अब ऊर्ध्वाधर मीटर स्केल पर संकेतक की स्थिति, जब हैंगर पर कोई भी भार नहीं रखा होता, पढ़ लेते हैं।

(4) इसके बाद अब हैंगर पर एक 200 ग्राम भार रख देते हैं जिससे छड़ का मुक्त सिरा थोड़ा झुक जाता है। थोड़ी देर रुकने के बाद जिससे विरामावस्था आ जाये, संकेतक की स्थिति मीटर स्केल पर पढ़ लेते हैं।

(5) अब इसी प्रकार हैंगर पर एक-एक कर 200 ग्राम के बाट रखकर भार बढ़ाते जाते हैं। ध्यान रखते हैं कि भार अधिकतम सीमा से अधिक न हो जाए। प्रत्येक भार को रखने के बाद थोड़ी देर रुककर संकेतक की स्थिति मीटर स्केल पर पढ़ लेते हैं।

(6) अब हैंगर से 200 ग्राम भार धीरे से उठा लेते हैं तथा थोड़ी देर रुकने के बाद संकेतक की स्थिति मीटर स्केल पर पढ़ लेते हैं। इसी प्रकार एक-एक करके सभी भार हटाते हैं तथा प्रत्येक बार संकेतक की स्थिति मीटर स्केल पर पढ़ लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) मीटर स्केल की अल्पतमांक = ... सेमी = ... मीटर

(2) कैंटीलीवर (छड़) की लम्बाई = ... सेमी = ... मीटर
(कीलकित बिन्दु से हैंगर तक)

(3) छड़ की त्रिज्या के लिए सारणी—

(i) स्क्रूगेज की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) स्क्रूगेज की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			व्यास = $\frac{a+b}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या = $\frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
							माध्य त्रिज्या	... सेमी = ... मीटर

(4) मुक्त सिरे के अवनमन के लिए सारणी—

क्रमांक	हैंगर पर रखे गये बाट का द्रव्यमान M (किग्रा में)	ऊर्ध्वाधर स्केल पर संकेतक की स्थिति			M = ... kg के लि[ए] अवनमन δ (सेमी मे[ं])
		बाट रखते समय (सेमी में)	बाट उतारते समय (सेमी में)	माध्य पाठ (सेमी में)	
1.	0·0	...	...	... a	
2.	0·2	...	...	... b	
3.	0·4	...	...	... c	
4.	0·6	...	...	... d	
5.	0·8	...	...	... e	
6.	1·0	...	...	... f	
7.	1·2	...	...	... g	
8.	1·4	...	...	... h	
9.	1·6	...	...	... i	
10.	1·8	...	...	... j	
				माध्य अवनमन	... सेमी = ... मीटर

गणना (Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त l, r व δ के मानों को मीटर में लेकर, M को किग्रा में लेकर तथा $g = 9{\cdot}8$ मीटर/सेकण्ड^2 लेकर समी. (ii) में रखने पर छड़ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक

$$Y = \frac{4Mgl_3}{3\pi\delta r^4} = \text{.......} \text{ न्यूटन/मीटर}^2$$

परिणाम (Result)—दी गयी छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक $Y =$ ..... न्यूटन/मीटर^2

प्रामाणिक मान = ... न्यूटन/मीटर^2

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोग द्वारा प्राप्त मान} \sim \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100 = \text{.....} \%.$$

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) छड़ एकसमान अनुप्रस्थ परिच्छेद वाली होनी चाहिए।

(2) छड़ का एक सिरा दृढ़ आधार से ठीक से कीलकित होना चाहिए तथा हैंगर ठीक छड़ के मुक्त सिरे पर लटकाना चाहिए।

(3) हैंगर पर रखे गये बाटों का अधिकतम भार, प्रत्यास्थता की सीमा के अन्दर ही होना चाहिए।

(4) हैंगर पर बाटों को धीरे से रखना व उतारना चाहिए तथा संकेतक का पाठ्यांक बाट रखने या उतारने के कुछ समय बाद लेना चाहिए।

(5) छड़ के त्रिज्या को अत्यन्त सावधानीपूर्वक नापना चाहिए क्योंकि इसमें छोटी-सी त्रुटि से परिणाम में अधिक त्रुटि आ जाती है।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—कैंटीलीवर की सहायता से किसी छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना।

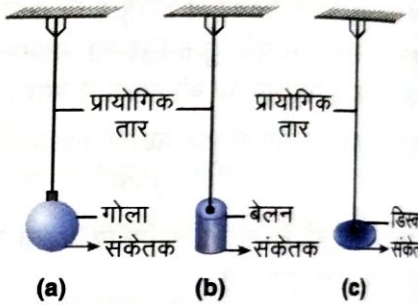
नोट—*सम्बन्धित प्रश्नोत्तर प्रयोग 1 व 2 के अनुसार।*

प्रयोग संख्या # 12

उद्देश्य (Object)—*मरोड़ी लोलक द्वारा किसी तार के पदार्थ का दृढ़ता गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—प्रायोगिक तार, एक भारी गोला या ठोस बेलन या डिस्क, मीटर स्केल, स्क्रूगेज, वर्नियर कैलीपर्स, विराम-घड़ी, भौतिक तुला तथा बाट बॉक्स।

उपकरण का वर्णन (Description of the Apparatus)—चित्र 2[0] मरोड़ी लोलक प्रदर्शित है। इसमें एक भारी धात्विक गोला या ठोस बेलन या डिस्क एक लम्बे व पतले प्रायोगिक तार के एक सिरे से जिसका दूसरा सिरा एक चक नट की सहायता से क्षैतिज दृढ़ आधार से कसा रहता है, लटका रहता है। दोलन गिनने के लिए गोले की निचली सतह पर एक संकेतक लगा होता है। जब गोले को क्षैतिज तल [में] थोड़ा सा ऐंठकर छोड़ा जाता है, तो यह तार की अक्ष के परितः मरोड़ी दो[लन] करने लगता है।



चित्र 20

सिद्धान्त (Principle)—जब एक पिण्ड जो एक तार से लटका है, [उसे] क्षैतिज तल में थोड़ा-सा ऐंठकर छोड़ देते हैं, तो वह तार की अक्ष के परि[तः] मरोड़ी दोलन करने लगता है जिनका आवर्तकाल

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{C}} \quad ...(i)$$

होता है। जहाँ I पिण्ड का तार की अक्ष के सापेक्ष जड़त्व आघूर्ण तथा C त[ार] की ऐंठन दृढ़ता है। यदि निलम्बन तार की लम्बाई l, त्रिज्या r तथा उसके पदा[र्थ] का दृढ़ता गुणांक η हो, तो

$$C = \frac{\pi\eta r^4}{2l} \quad ...(ii)$$

तब समीकरण (i) व (ii) से,

$$\eta = \frac{8\pi l I}{r^4 T^2} \quad ...(iii)$$

उपर्युक्त सूत्र में l, I, r व T का मान रखकर η ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले प्रायोगिक तार जिसकी लम्बाई लगभग 40–50 सेमी है के ऊपरी सिरे को क्षैतिज दृढ़ आधार में लगे चक नट में कस देते हैं तथा निचले सिरे को गोले या ठोस बेलन या डिस्क में लगे चक नट में कस देते हैं। इस प्रकार मरोड़ी लोलक तैयार हो जाता है।

(2) दोलनों को गिनने के लिए गोले में लगे संकेतक की विराम स्थिति को या तो चॉक द्वारा मेज पर चिह्नित कर लेते हैं या संकेतक के सम्मुख एक ऊर्ध्वाधर सुई रख देते हैं।

(3) अब गोले को बिना किसी रैखिक विस्थापन के, क्षैतिज तल में थोड़ा-सा ऐंठ कर छोड़ देते हैं जिससे वह तार की अक्ष के परित: मरोड़ी दोलन करने लगता है।

(4) एक सुग्राही विराम-घड़ी की सहायता से 25–30 दोलनों में लगा समय माप कर दोलनकाल ज्ञात कर लेते हैं। प्रेक्षणों को कई बार दुहराते हैं तथा इन प्रेक्षणों से दोलनों का मध्यमान (औसत) आवर्तकाल T ज्ञात कर लेते हैं।

(5) स्क्रूगेज की सहायता से प्रायोगिक तार का व्यास उसकी लम्बाई के अनुदिश कई स्थानों पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में नापते हैं तथा तार की मध्यमान त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।

(6) चक नटों से बाहर प्रायोगिक तार की लम्बाई मीटर स्केल द्वारा नाप लेते हैं।

(7) वर्नियर कैलीपर्स की सहायता से गोले या बेलन या डिस्क का व्यास कई स्थानों पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में नापते हैं तथा उसकी मध्यमान त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।

(8) गोले या बेलन या डिस्क को भौतिक तुला की सहायता से तोलकर उसका द्रव्यमान ज्ञात कर लेते हैं जिसकी आवश्यकता जड़त्व आघूर्ण को ज्ञात करने में होती है।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) आवर्तकाल T के लिए सारणी—

विराम-घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड

क्रमांक	दोलनों की संख्या n	दोलनों में लगा समय t (सेकण्ड में)	आवर्तकाल $T = \frac{t}{n}$ (सेकण्ड में)
1.	...	...	...
2.	...	...	...
3.	...	...	...
		माध्य आवर्तकाल	... सेकण्ड

(2) तार की त्रिज्या के लिए सारणी—

स्क्रूगेज की अल्पतमांक = ... सेमी

स्क्रूगेज की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			व्यास = $\frac{(a+b)}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या = $\frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वृत्तीय स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
							माध्य	... सेमी = ... मीटर

(3) गोले या बेलन या डिस्क की त्रिज्या के लिए सारणी—

(i) वर्नियर कैलीपर्स की अल्पतमांक = ... सेमी

(ii) वर्नियर कैलीपर्स की शून्यांक त्रुटि = ± ..... सेमी

क्रमांक	एक दिशा में व्यास a			लम्बवत् दिशा में व्यास b			व्यास = $\frac{(a+b)}{2}$ (सेमी में)	त्रिज्या = $\frac{\text{व्यास}}{2}$ (सेमी में)
	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)	मुख्य स्केल का पाठ (सेमी में)	वर्नियर स्केल का पाठ (खानों में)	कुल पाठ = मुख्य स्केल का पाठ + वर्नियर स्केल का (पाठ खानों में) × अल्पतमांक – (शून्यांक त्रुटि चिह्न सहित) (सेमी में)		
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
							माध्य	... सेमी = ... मीटर

(4) निलम्बन तार (प्रायोगिक तार) की लम्बाई

l = ... सेमी = ... मी

(5) गोले या बेलन या डिस्क का द्रव्यमान

M = ... ग्राम = ... किग्रा

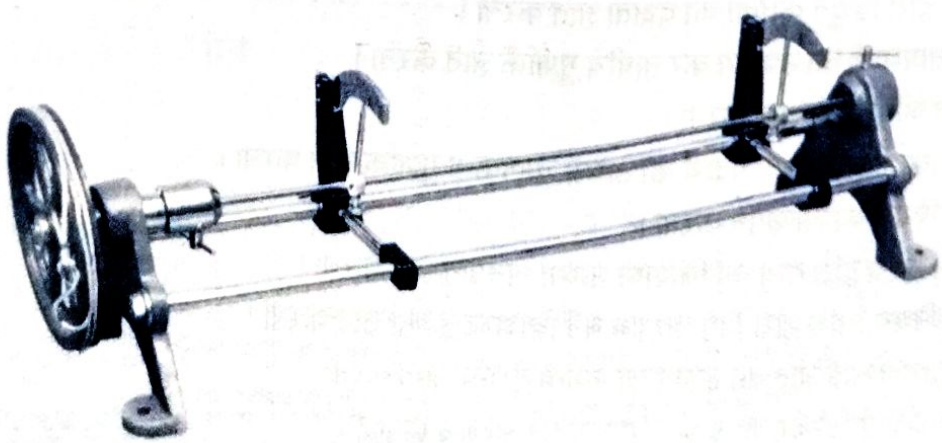
गणना (Calculations)—

तार की अक्ष के परित: गोले का जड़त्व आघूर्ण $I = \frac{2}{5} MR^2$

= ..... किग्रा-मी^{2}

विषय-सूची

क्रमांक	प्रयोग	पृष्ठ संख्या
1.	कैलेण्डर एवं बार्न की विधि से ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक ज्ञात करना।	1
2.	परिवर्ती विभवान्तर द्वारा विद्युत केतली की दक्षता ज्ञात करना।	3
3.	प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी का उपयोग कर प्रतिरोध का तापीय गुणांक ज्ञात करना।	4
4.	तापयुग्म का विद्युत वाहक बल ज्ञात करना।	7
5.	ली-विधि के द्वारा किसी कुचालक पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना।	9
6.	न्यूटन के शीतलन नियम का सत्यापन करना।	12
7.	क्लीमेंट एवं डेसोर्म विधि द्वारा वायु का विशिष्ट ऊष्मा अनुपात ज्ञात करना।	13
8.	न्यूटन के शीतलन नियम विधि द्वारा दिए गए द्रव की विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात करना।	15
9.	सर्ल की विधि के द्वारा दी गई धातु का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना।	17
10.	कैलोरीमापी की सहायता से रबर का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना।	19
11.	जूल कैलोरीमापी का उपयोग करके ऊष्मा के यान्त्रिक तुल्यांक (J) का निर्धारण करना।	21
12.	तापयुग्म द्वारा स्टीफन नियतांक ज्ञात करना।	23
13.	काले एवं सफेद पांसे का उपयोग कर सांख्यिकी वितरण (बाइनोमियल वितरण) का अध्ययन करना एवं मानक विचलन ज्ञात करना।	25
14.	कैरी-फॉस्टर सेतु का उपयोग कर दिए गए प्रतिरोध का तापीय गुणांक ज्ञात करना।	27
15.	गैस / वाष्प का क्रान्तिक नियतांक ज्ञात करना।	30



प्रायोगिक भौतिक विज्ञान

प्रथम प्रश्न-पत्र : ऊष्मागतिकी तथा सांख्यिकीय भौतिकी

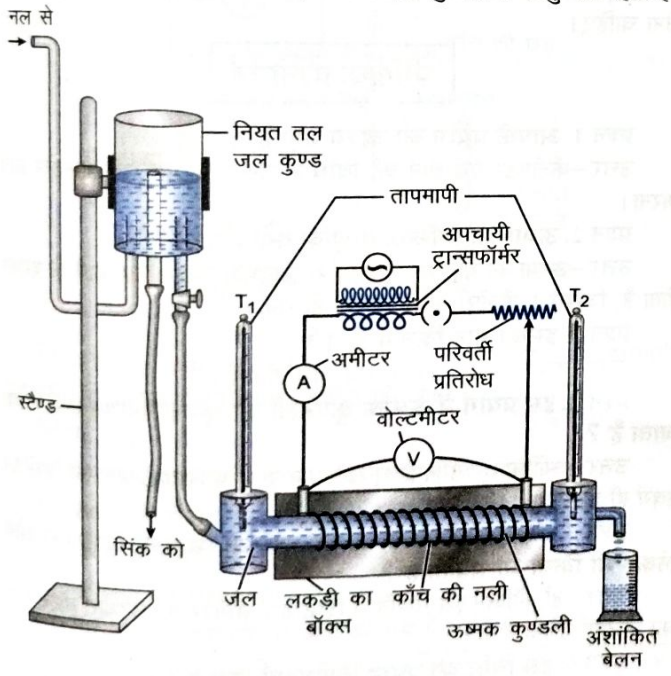
[First Paper : Thermodynamics and Statistical Physics]

प्रयोग संख्या # 01

उद्देश्य (Object)— *कैलेण्डर एवं बार्न की विधि से ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)— कैलेण्डर तथा बार्न का नियत प्रवाह कैलोरीमापी, नियत तल जल कुण्ड व्यवस्था, अपचायी ट्रान्सफॉर्मर, ए. सी. वोल्टमीटर, ए. सी. अमीटर, दो तापमापी, विराम घड़ी, अंशांकित बेलन, परिवर्ती प्रतिरोध, कुंजी एवं संयोजक तार।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)— प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 1 में प्रदर्शित है। इसमें एक काँच की नली जिसके अन्दर एक कुण्डली, नली की अक्ष के अनुदिश लगी होती है। कुण्डली के दोनों सिरे दो पेचों की सहायता से काँच की नली पर लगे दो टर्मिनल से जुड़े होते हैं। नली का एक सिरा, जिसे निवेशी सिरा कहते हैं, एक रबर की नली की सहायता से नियत तल जल कुण्ड से जुड़ा रहता है। नली के दोनों सिरों पर दो तापमापी नली में प्रवेश करने वाले व नली से बाहर जाने वाले जल के तापों को मापने के लिए लगे होते हैं। कुण्डली में धारा प्रवाहित करने के लिए एक अपचायी ट्रान्सफॉर्मर, परिवर्ती प्रतिरोध, अमीटर व वोल्टमीटर का उपयोग करके विद्युत परिपथ चित्रानुसार तैयार कर लिया जाता है। नली से बाहर जाने वाले पानी को एकत्रित करने के लिए एक अंशांकित बेलन दिया होता है। नली से ऊष्मा क्षय को रोकने के लिए नली को लकड़ी के बॉक्स में रखा जाता है जिसमें कोई कुचालक वस्तु भरी रहती है।



चित्र 1

सिद्धान्त (Principle)— जब कुण्डली के सिरों पर विभवान्तर स्थापित करके उसमें धारा प्रवाहित की जाती है तो उससे ऊष्मा उत्पन्न होती है जिसको काँच की नली में प्रवाहित जल अवशोषित करता है। ऊष्मा अवशोषण के कारण प्रवाहित जल का ताप बढ़ता है तथा स्थायी अवस्था प्राप्त होने पर काँच की नली में प्रवेश करने वाले जल का ताप व बाहर निकलने वाले जल का ताप स्थिर होता है। कुण्डली द्वारा उत्पन्न ऊष्मा का कुछ भाग जोकि नगण्य होता है, ऊष्मीय विकिरण के रूप में क्षय हो जाता है।

माना कुण्डली के सिरों पर विभवान्तर V लगाने पर उसमें धारा I प्रवाहित होती है तब उससे प्रति सेकण्ड उत्पन्न ऊष्मा

$$H = VI \text{ जूल/सेकण्ड}$$

या
$$H = \frac{VI}{J} \text{ कैलोरी/सेकण्ड} \quad ...(i)$$

यदि स्थायी अवस्था में नली से प्रति सेकण्ड प्रवाहित जल का द्रव्यमान m है व नली के दोनों सिरों पर लगे तापमापियों का तापान्तर θ है, तब

$$\frac{VI}{J} = m\theta + R$$

जहाँ R विकिरण द्वारा प्रति सेकण्ड ऊष्मा क्षय है।

R को हटाने के लिए कुण्डली के सिरों के बीच विभवान्तर बदलकर नली के अन्दर जल प्रवाह को इस प्रकार समंजित किया जाता है कि स्थायी अवस्था में दोनों तापमापियों का तापान्तर पुनः पहली स्थिति के बराबर रहे जिससे विकिरण द्वारा ऊष्मा क्षय समान रहे।

माना इस स्थिति में विभवान्तर V' व धारा I' तथा नली से प्रति सेकण्ड प्रवाहित जल का द्रव्यमान m' है, तब

$$\frac{V'I'}{J'} = m'\theta + R \quad ...(ii)$$

समी. (i) व (ii) से,

$$J = \frac{V1 - V'I'}{(m - m')\theta} \text{ जूल/कैलोरी} \quad ...(iii)$$

इस प्रकार उपर्युक्त सूत्र से ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक J ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले चित्रानुसार उपकरण का समायोजन करके विद्युत परिपथ तैयार कर लेते हैं।

(2) अब नियत तल जल कुण्ड से पिच-कॉक की सहायता से काँच की नली में जल को धीरे-धीरे तथा स्थायी दर से प्रवाहित करते हैं। ध्यान रहे कि जल प्रवाह के दौरान जल कुण्ड में जल का तल नियत रहे व नली से जल का प्रवाह अविरत, धीरे-धीरे तथा एक समान दर से हो एवं नली में कोई भी वायु का बुल बुला न रह पाये।

(3) अब, कुण्डली में विद्युत धारा प्रवाहित करते हैं तथा धारा नियंत्रक (परिवर्ती प्रतिरोध) की सहायता से इसका मान लगभग 1·5 – 2·0 ऐम्पियर रखते हैं। धारा प्रवाहित होने के कारण कुण्डली से ऊष्मा उत्पन्न होती है जिससे नली से प्रवाहित जल का ताप बढ़ने लगता है। इस स्थिति में नली के दूसरे सिरे, जिससे जल बाहर निकलता है, पर लगे तापमापी T_2 का ताप धीरे-धीरे बढ़ता है जब तक कि स्थायी अवस्था न आ जाए। अब थोड़ी देर रुककर स्थायी अवस्था की भली-भाँति जाँच कर लेते हैं। स्थायी अवस्था में दोनों तापमापियों का तापान्तर लगभग 5° होना चाहिए। इसके लिए यदि आवश्यक हो तो जल की टंकी को ऊपर-नीचे खिसकाकर जल प्रवाह को नियन्त्रित करते हैं या कुण्डली में धारा को समायोजित करते हैं।

(4) इस स्थायी अवस्था में दोनों तापमापियों में तापान्तर θ, अमीटर का पाठ I तथा वोल्टमीटर का पाठ V नोट कर लेते हैं।

(5) अब एक अंशांकित बेलन में नली से निर्गत जल की पर्याप्त मात्रा एकत्रित करते हैं तथा इसमें लगे समय को विराम घड़ी से ज्ञात कर लेते हैं। इससे नली से प्रति सेकण्ड प्रवाहित जल के द्रव्यमान की गणना कर लेते हैं। ऐसे कई प्रेक्षण लेकर द्रव्यमान का औसत मान ज्ञात कर लेते हैं।

(6) अब परिवर्ती प्रतिरोध की सहायता से कुण्डली में प्रवाहित धारा मान बदलकर प्रयोग को दुहराते हैं तथा नियत तल जल कुण्ड को ऊपर-नीचे खिसकाकर नली में जल के प्रवाह को इस प्रकार समंजित करते हैं कि स्थायी अवस्था में दोनों तापमापियों में तापान्तर वही रहे जो पहली स्थिति में था। तत्पश्चात् अमीटर का पाठ I′, वोल्टमीटर का पाठ V' पढ़ लेते हैं तथा विधि (5) की भाँति नली से प्रति सेकण्ड प्रवाहित जल के द्रव्यमान की गणना कर लेते हैं।

(7) अब पहले विद्युत धारा और उसके बाद जल प्रवाह को बन्द कर देते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) विराम घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड

(2) तापमापी की अल्पतमांक = ... °C

(3) अमीटर की अल्पतमांक = ... ऐम्पियर

(4) वोल्टमीटर की अल्पतमांक = ... वोल्ट

(5) स्थायी अवस्था में दोनों तापमापियों में तापान्तर θ = ... °C

(6) **धारा, विभवान्तर तथा नली से प्रति सेकण्ड प्रवाहित जल के द्रव्यमान के लिए सारणी—**

क्रमांक	अमीटर का पाठ I (ऐम्पियर में)	वोल्टमीटर का पाठ V (वोल्ट में)	अंशांकित बेलन में एकत्रित जल का द्रव्यमान M (ग्राम में)	अंशांकित बेलन में जल एकत्रित करने में लगा समय *t* (सेकण्ड में)	प्रति सेकण्ड प्रवाहित जल का द्रव्यमान *m* (ग्राम/सेकण्ड में)	माध्य *m* (ग्राम/सेकण्ड में)
1.	I = ...	V = ...	... ...	... ...	... ...	*m* = ...
2.	I' = ...	V' = ...	... ...	... ...	... ...	*m'* = ...

गणना (Calculation)—प्रेक्षणों से प्राप्त I व I' का मान ऐम्पियर में, V व V' का मान वोल्ट में, *m* व *m'* का मान ग्राम/सेकण्ड में तथा θ का मान °C में लेकर समीकरण (iii) में रखने पर,

$$J = \frac{VI - V'I'}{(m - m')\theta} \text{ जूल/कैलोरी}$$

परिणाम (Result)—प्रयोग से प्राप्त ऊष्मा का यान्त्रिक

तुल्यांक J = ... जूल/कैलोरी

प्रामाणिक मान J = ... जूल/कैलोरी

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रयोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ...... %.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) काँच की नली में लगी ऊष्मक कुण्डली कुण्डलिनीवत् होनी चाहिए जिससे कि इसमें होकर बहने वाले जल का स्वयं विलोडन हो जाए।

(2) प्रयोग प्रारम्भ करते समय पहले नली में से होकर जल प्रवाहित कराना चाहिए तथा इसके पश्चात् कुण्डली में विद्युतधारा प्रवाहित करनी चाहिए। लेकिन प्रयोग समाप्त करते समय पहले धारा के प्रवाह को बन्द करना चाहिए तथा इसके बाद जल के प्रवाह को।

(3) उपकरण की पूरी फिटिंग वायु-अवरुद्ध होनी चाहिए तथा काँच की नली में जल प्रवाह के समय वायु का बुल-बुला नहीं रहना चाहिए।

(4) कुण्डली में प्रवाहित धारा एवं नली में जल के प्रवाह को इस प्रकार समंजित करना चाहिए कि स्थायी अवस्था में दोनों तापमापियों में तापान्तर लगभग 5°C रहे।

(5) तापमापी सुग्राही होने चाहिए जो ताप का मापन डिग्री के $\frac{1}{10}$ भाग तक कर सकें।

(6) नली से जल का प्रवाह अविरत, धीरे-धीरे तथा एक समान दर से होना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—कैलेण्डर एवं बार्न की विधि से ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक क्या होता है ?

उत्तर—ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक संख्यात्मक रूप से उस कार्य के बराबर होता है, जिससे 1 कैलोरी ऊष्मा उत्पन्न हो सके।

प्रश्न 3. इसका मान कितना होता है ?

उत्तर—इसका मान 4·18 जूल/कैलोरी होता है।

प्रश्न 4. इस प्रयोग में ऊष्मक कुण्डली को कुण्डलिनीवत् क्यों लिया जाता है ?

उत्तर—क्योंकि कुण्डलिनीवत् लेने से नली में बहने वाले जल का विलोडन स्वयं ही हो जाता है।

प्रश्न 5. क्या इस प्रयोग को ए. सी. स्रोत के स्थान पर दिष्टधारा स्रोत लेकर भी किया जा सकता है ?

उत्तर—हाँ, लेकिन इस स्थिति में दिष्टधारा अमीटर व दिष्टधारा वोल्टमीटर का उपयोग करना होगा।

प्रश्न 6. इस विधि की प्रमुख विशेषताएँ क्या हैं ?

उत्तर—(1) इस विधि में विकिरण द्वारा ऊष्मा क्षय का संशोधन पूर्ण रूप से कर दिया जाता है।

(2) इस विधि में सभी पाठ स्थायी अवस्था आने के उपरान्त लिए जाते हैं तथा पाठ लेने में किसी शीघ्रता की आवश्यकता नहीं होती।

(3) इस विधि में कैलोरीमापी का जल तुल्यांक ज्ञात करने की आवश्यकता नहीं होती है।

प्रश्न 7. कुण्डली के सिरों पर लगभग कितना अधिकतम विभवान्तर लगाना चाहिए ?

उत्तर—लगभग 10 वोल्ट।

प्रश्न 8. यदि विभवान्तर इससे अधिक लगा देंगे तो क्या होगा ?

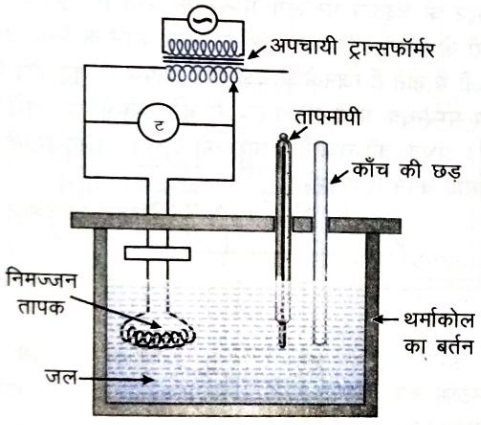
उत्तर—ऐसी स्थिति में धारा का एक भाग जल से प्रवाहित हो सकता है, जो जल का विद्युत अपघटन कर सकता है।

प्रयोग संख्या # 02

उद्देश्य (Object)—*परिवर्ती विभवान्तर द्वारा विद्युत केतली की दक्षता ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—एक थर्मोकोल से बना बर्तन जिसके ढक्कन में तीन छिद्र बनें हों, निमज्जन तापक (350 वाट, 220 वोल्ट), तापमापी, काँच की छड़, विराम घड़ी, अंशांकित बेलन, अपचायी ट्रान्सफॉर्मर जिसमें परिवर्ती टर्मिनल लगे हों, ए. सी. वोल्टमीटर तथा मल्टीमीटर।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 2 में प्रदर्शित है। इसमें एक थर्माकोल से बना बर्तन होता है जिसकी क्षमता लगभग 5 लीटर होती है। इसके ढक्कन में तीन छिद्र होते हैं। एक छिद्र से होकर निमज्जन तापक, जो अपचायी ट्रान्सफॉर्मर के टर्मिनलों से जुड़ा होता है, इस बर्तन में भरे जल में डूबा रहता है। दूसरे छिद्र से होकर एक तापमापी व तीसरे छिद्र से होकर एक काँच की छड़ बर्तन के अन्दर जल में डूबे रहते हैं। विभवान्तर मापन के लिए एक ए. सी. वोल्टमीटर तापक के टर्मिनलों के बीच चित्रानुसार जुड़ा होता है।



चित्र 2

सिद्धान्त (Principle)—जब बर्तन में भरे जल में डूबे तापक को अपचायी ट्रान्सफॉर्मर से जोड़कर उसमें धारा प्रवाहित की जाती है तो उससे ऊष्मा उत्पन्न होती है। यह ऊष्मा जल द्वारा अवशोषित की जाती है जिसके कारण उसका ताप बढ़ जाता है। माना तापक जिसका प्रतिरोध R है के सिरों पर विभवान्तर V समय t के लिए लगाने पर, बर्तन में भरे m किग्रा जल का ताप $\Delta\theta$ बढ़ जाता है। यदि बर्तन की ऊष्माधारिता तथा ऊष्मा हानि नगण्य हो तो ऊर्जा संरक्षण के नियमानुसार,

तापक से उत्पन्न ऊष्मा = जल द्वारा अवशोषित ऊष्मा

या $$\frac{V^2 t}{R} = m \times (4{\cdot}2 \times 10^3) \times \Delta\theta,$$

यहाँ जल की विशिष्ट ऊष्मा $4{\cdot}2 \times 10^3$ जूल/किग्रा °C मानी गयी है।

यदि तापक के प्रतिरोध R में ताप के साथ परिवर्तन नगण्य हो, तो

$$\Delta\theta \propto V^2$$

अर्थात्, किसी दिये गये समय के लिए जल के ताप में वृद्धि, तापक के सिरों पर लगाये गये विभवान्तर के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होती है। अत: $\Delta\theta$ व V^2 के बीच खींचा गया ग्राफ एक सरल रेखा होगा। लेकिन विकिरण द्वारा ऊष्मा हानि के कारण अल्प विभवान्तर के लिए $\Delta\theta$, V^2 के अनुक्रमानुपाती नहीं होता है। तब तापक (बिजली की केतली) की दक्षता

$$\eta = \frac{\text{आउटपुट ऊष्मीय ऊर्जा}}{\text{इनपुट ऊष्मीय ऊर्जा}} \times 100\%$$

$$= \frac{m \times (4{\cdot}2 \times 10^3) \times \Delta\theta}{(V^2 t/R)} \times 100\%$$

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले मल्टीमीटर की सहायता से निमज्जन तापक का प्रतिरोध ज्ञात कर लेते हैं तथा अंशांकित बेलन से 2 लीटर जल नापकर, थर्मोकोल के बर्तन में भर देते हैं। इस जल का द्रव्यमान 2 किग्रा होता है।

(2) इसके बाद बर्तन में भरे जल में तापक को डुबा देते हैं तथा तापक को अपचायी ट्रान्सफॉर्मर से जोड़कर चित्रानुसार परिपथ तैयार कर लेते हैं। अब तापमापी द्वारा जल का प्रारम्भिक ताप ज्ञात कर लेते हैं।

(3) अब ट्रान्सफॉर्मर का स्विच ऑन करके इसके परिवर्ती सिरे को इस प्रकार समंजित करते हैं कि तापक में प्रवाहित धारा उसके सिरों पर 100 वोल्ट विभवान्तर के संगत हो। विभवान्तर को नोट करके विराम घड़ी चला देते हैं तथा काँच की छड़ के द्वारा जल को विलोडित करते रहते हैं। एक निश्चित समय (10 मिनट) बाद जल का ताप तापमापी द्वारा ज्ञात कर, तापान्तर $\Delta\theta$ ज्ञात कर लेते हैं।

(4) इसी प्रकार तापक के सिरों पर बदल-बदलकर विभवान्तर लगाकर एक निश्चित समय (10 मिनट) के बाद जल के ताप को तापमापी द्वारा ज्ञात कर, प्रत्येक विभवान्तर के संगत तापान्तर $\Delta\theta$ ज्ञात करते जाते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) निमज्जन तापक के तन्तु का प्रतिरोध R = ... ओम

(2) बर्तन में लिये गये जल का द्रव्यमान m = ... किग्रा

(3) विराम घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड

(4) तापमापी की अल्पतमांक = ... °C

(5) **विभिन्न विभवान्तरों पर जल के ताप में वृद्धि के लिए सारणी—**

क्रमांक	विभवान्तर V (वोल्ट में)	समय t (मिनट में)	जल का ताप θ (°C में)	जल के ताप में वृद्धि $\Delta\theta$ (°C में)	V^2 (वोल्ट^2 में)	ऊष्मीय दक्षता η (%)
1.		0	θ_1 = ...			
2.	100	10	θ_2 = ...	$\theta_2 - \theta_1$ = ...	...	

3.	120	10	$\theta_3 = ...$	$\theta_3 - \theta_2 = ...$	...	
4.	140	10	$\theta_4 = ...$	$\theta_4 - \theta_3 = ...$	...	
5.	160	10	$\theta_5 = ...$	$\theta_5 - \theta_4 = ...$	...	
6.	180	10	$\theta_6 = ...$	$\theta_6 - \theta_5 = ...$	...	
7.	200	10	$\theta_7 = ...$	$\theta_7 - \theta_6 = ...$	...	

गणना एवं ग्राफ (Calculations and Graph)—प्रेक्षणों से प्राप्त m को किग्रा में, V को वोल्ट में, R को ओम में, t को सेकण्ड में तथा $\Delta\theta$ को °C में लेकर निम्न सूत्र में रखकर प्रत्येक विभवान्तर के संगत केतली की दक्षता ज्ञात कर लेते हैं। दक्षता

$$\eta = \frac{m \times (4{\cdot}2 \times 10^3) \times \Delta\theta}{(V^2 t/R)} \times 100\%$$

अब V^2 को X-अक्ष पर तथा $\Delta\theta$ को Y-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचते हैं जो कम विभवान्तर के लिए वक्रीय तथा सामान्य विभवान्तर के लिए एक सरल रेखीय प्राप्त होता है।

परिणाम (Result)—प्रेक्षणों से स्पष्ट है कि किसी नियत द्रव्यमान के जल को नियत समय तक गर्म करने पर उसके ताप में वृद्धि अल्प विभवान्तर पर बहुत कम तथा सामान्य विभवान्तर पर, विभवान्तर के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होती है। अत: विद्युत केतली की दक्षता अल्प विभवान्तर पर बहुत कम तथा विभवान्तर के बढ़ने पर बढ़ती जाती है।

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) बर्तन की ऊष्माधारिता नगण्य होनी चाहिए।

(2) चालन, विकिरण, संवहन आदि द्वारा ऊष्मा की हानि न्यूनतम होनी चाहिए।

(3) बर्तन में भरे जल की मात्रा पर्याप्त होनी चाहिए जिससे कि निमज्जन तापक जल में पूर्णत: डूबा रहे।

(4) जल का ताप उसको भली-भाँति विलोडित करके ही नापना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—परिवर्ती विभवान्तर द्वारा विद्युत केतली की दक्षता ज्ञात करना।

प्रश्न 2. परिवर्ती विभवान्तर के साथ विद्युत केतली की दक्षता से आपका क्या तात्पर्य है ?

उत्तर—किसी नियत समयान्तर के लिए जल के नियत द्रव्यमान को विद्युत केतली द्वारा गर्म करने पर उसके ताप में वृद्धि की केतली पर आरोपित विभवान्तर पर निर्भरता का अध्ययन करना।

प्रश्न 3. जल के ताप में वृद्धि, केतली पर आरोपित विभवान्तर पर किस प्रकार निर्भर करती है ?

उत्तर—सामान्य विभवान्तर पर जल के ताप में वृद्धि, केतली पर आरोपित विभवान्तर के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होती है, लेकिन अल्प विभवान्तर पर ताप में वृद्धि बहुत कम होती है।

प्रश्न 4. इस प्रयोग में चालन एवं संवहन द्वारा ऊष्मा हानि को किस प्रकार कम किया जाता है ?

उत्तर—थर्माकोल का ढक्कन सहित बर्तन लेकर।

प्रश्न 5. जल का ताप बढ़ाते समय इसे विलोडित क्यों करते हैं ?

उत्तर—जिससे कि सम्पूर्ण जल का ताप एकसमान हो जाए।

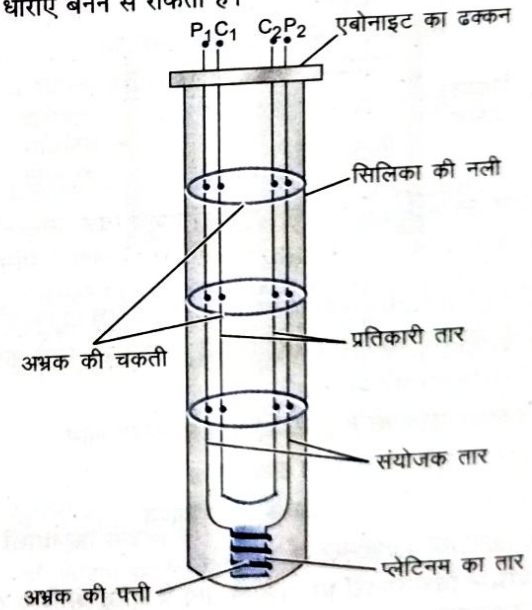
प्रयोग संख्या # 03

उद्देश्य (Object)—*प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी का उपयोग कर प्रतिरोध का तापीय गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी, कैलेण्डर तथा ग्रिफिथ ब्रिज, लेक्लांशी सेल, संयोजक तार, धारामापी, ऊष्मक (हीटर), दशमलव-प्रतिरोध बॉक्स, पारे का तापमापी तथा बीकर।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—

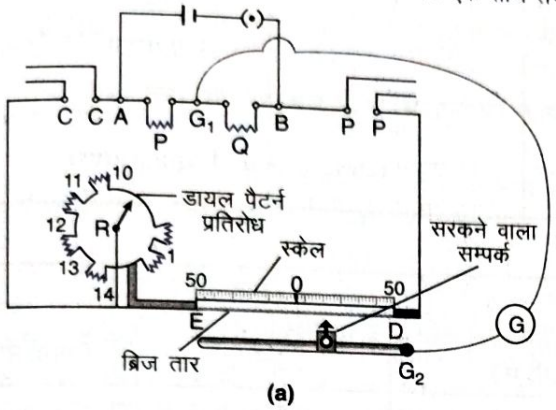
(1) प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी—प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी चित्र 3 में प्रदर्शित है। इसमें शुद्ध प्लेटिनम का एक महीन तार दुहरा करके (विद्युत प्रेरण के प्रभाव को निष्फल करने के लिए) एक अभ्रक की पत्ती पर लिपटा रहता है। यह पत्ती एक सिलिका या पोर्सलीन की नली जिसकी लम्बाई 20 से 25 सेमी के लगभग होती है, के निचले भाग में रखी रहती है। प्लेटिनम तार के दोनों सिरे ताँबे के संयोजक तारों से जुड़े रहते हैं और यदि 700°C से ऊपर के ताप का मापन करना होता है तो दोनों सिरों को प्लेटिनम के तारों से जोड़ा जाता है। संयोजक तार अभ्रक की कई वृत्ताकार चकतियों में बने छेदों में से गुजरता ऊपर एबोनाइट के ढक्कन पर लगे सम्बन्धक पेचों P_1, P_2 से जुड़े होते हैं। संयोजक तारों के प्रतिरोध के प्रभाव को निष्फल करने के लिए ठीक वैसे ही दो अन्य तार नली में होते हैं जिनके निचले सिरे आपस में जुड़े होते हैं तथा ऊपरी सिरे दो अन्य सम्बन्धक पेचों C_1 व C_2 से जुड़े होते हैं। इन तारों को प्रतिकारी तार कहते हैं। अभ्रक की चकतियाँ तारों को अलग-अलग रखती हैं तथा नली में संवहन धाराएँ बनने से रोकती हैं।



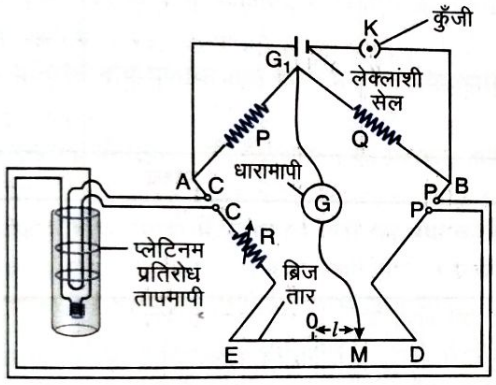
चित्र 3

(2) कैलेण्डर तथा ग्रिफिथ ब्रिज—कैलेण्डर तथा ग्रिफिथ ब्रिज, ह्वीटस्टोन ब्रिज का ही संशोधित रूप होता है, जो धात्विक तार के प्रतिरोध का विभिन्न तापों पर मापन के लिए प्रयुक्त होता है, यह चित्र 4(a) में प्रदर्शित है। इसमें अनुपात कुण्डलियों P व Q का प्रतिरोध समान होता है, जिससे कि अनुपात

1 : 1 हो जाए। प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्रतिकारी तारों व संयोजक तारों को जोड़ने के लिए रिक्त स्थान CC व PP दिये होते हैं। प्रतिरोध R एक डायल पैटर्न प्रतिरोध होता है जिसकी प्रत्येक कुण्डली का प्रतिरोध 1 ओम होता है। इस प्रतिरोध R के श्रेणीक्रम में एक तार ED तनी हुई अवस्था में जुड़ा होता है। तार की लम्बाई का पाठ्यांक लेने के लिए तार के समान्तर एक स्केल लगा होता है जिसका शून्य मध्य में होता है तथा शून्य के दोनों ओर स्केल पर 50–50 खाने अंकित होते हैं। तार पर सरकने के लिए सरकने वाला सम्पर्क दिया होता है। तार ED के ठीक समान एक और तार ED के समान्तर लगा होता है जिसका एक सिरा तापीय विद्युत वाहक बल के प्रभाव को दूर करने के लिए धारामापी के एक सिरे से जोड़ा जाता है। सरकने वाला सम्पर्क दोनों तारों पर एक साथ सरकता है।



(a)



(b)

चित्र 4

सिद्धान्त (Principle)—कैलेण्डर तथा ग्रिफिथ ब्रिज, ह्वीटस्टोन ब्रिज के सिद्धान्त पर कार्य करता है। चित्र 4(b) में यदि सरकने वाले सम्पर्क (जौकी) को तार ED पर बिन्दु M जो तार के मध्य बिन्दु से l दूरी पर है, पर सम्पर्क करने से ब्रिज सन्तुलित अवस्था (धारामापी में विक्षेप शून्य होता है) में होता है तो ह्वीटस्टोन सिद्धान्त से,

$$\frac{P}{Q} = \frac{\text{A व M के बीच का प्रतिरोध}}{\text{B व M के बीच का प्रतिरोध}}$$

माना सन्तुलन की स्थिति में ब्रिज के टर्मिनल PP से जुड़े प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्लेटिनम तार का कमरे के ताप t_1 पर प्रतिरोध R_1 है तथा डायल बॉक्स R से परिपथ में डाला गया प्रतिरोध R है, तो

$$\frac{P}{Q} = 1 = \frac{r + R + (L/2 + l)\rho}{r + R_1 + (L/2 - l)\rho} \quad ...(i)\ (\because P = Q)$$

जहाँ r संयोजक तारों का प्रतिरोध, L तार ED की लम्बाई तथा ρ तार ED का प्रति एकांक लम्बाई का प्रतिरोध है।

अब समीकरण (i) से,

$$r + R_1 + (L/2 - l)\rho = r + R + (L/2 + l)\rho$$

या $$R_1 = R + 2l\rho \quad ...(ii)$$

यदि सन्तुलन बिन्दु तार के मध्य बिन्दु से उसके बांयी ओर l दूरी पर होता है, तो

$$R_1 = R - 2l\rho \quad ...(iii)$$

इसी प्रकार यदि ताप t_2 पर प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्लेटिनम तार का प्रतिरोध R_2 है तथा डायल बॉक्स R से परिपथ में R′ प्रतिरोध डालने पर सन्तुलन बिन्दु तार ED पर उसके मध्य बिन्दु से दांयी ओर l' दूरी पर प्राप्त होता है, तो

$$R_2 = R' + 2l'\rho \quad ...(iv)$$

यदि सन्तुलन बिन्दु तार के मध्य बिन्दु से उसके बांयी ओर l' दूरी पर होता है, तो

$$R_2 = R' - 2l'\rho \quad ...(v)$$

ताप t_1 व t_2 पर प्लेटिनम तार के प्रतिरोध R_1 व R_2 से प्रतिरोध का तापीय गुणांक

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}$$

उपर्युक्त सूत्र से प्रतिरोध के तापीय गुणांक α को ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(A) ब्रिज के विद्युतीय शून्य का निर्धारण—विद्युतीय शून्य का निर्धारण करने के लिए लेक्लांशी सेल को कुंजी K द्वारा टर्मिनल A व B से जोड़कर, धारामापी को G_1 व G_2 के बीच जोड़कर, डायल पैटर्न प्रतिरोध R को शून्य रखकर तथा रिक्त स्थानों PP व CC को ताँबे की मोटी पत्तियों से बन्द करके विद्युत परिपथ तैयार करते हैं। अब कुंजी K में प्लग लगाकर सेल के परिपथ को पूरा करते हैं तथा सरकने वाले सम्पर्क को ब्रिज तार ED पर सरकाकर अविक्षेप बिन्दु की स्थिति ज्ञात करते हैं। यह स्थिति ब्रिज का विद्युतीय शून्य कहलाती है।

(B) ब्रिज तार की एकांक लम्बाई के प्रतिरोध ρ का निर्धारण—ρ का मान निकालने के लिए रिक्त स्थान PP से ताँबे की पत्ती को निकाल लेते हैं तथा इसके स्थान पर दशमलव-प्रतिरोध बॉक्स के डायल को घुमाकर रिक्त स्थान PP में प्रतिरोध r (माना 0·2 ओम) डालते हैं तथा सकरने वाले सम्पर्क को ब्रिज तार ED पर सरकाकर अविक्षेप बिन्दु की स्थिति ज्ञात करते हैं। इस स्थिति की दूरी ब्रिज तार के समान्तर लगे स्केल के शून्य से नापते हैं। यदि ब्रिज का विद्युतीय शून्य, स्केल के शून्य पर नहीं है, तो ब्रिज की शून्यांक त्रुटि को चिन्ह सहित इस दूरी में से घटाकर, इसको संशोधित कर लेते हैं। माना संशोधित दूरी x है, तब

$$r = 2\rho x \quad (\because R = 0)$$

या $$\rho = \frac{r}{2x}$$

दशमलव-प्रतिरोध बॉक्स से रिक्त स्थान PP में डाले गये प्रतिरोध r के विभिन्न मान, जैसे—0·3, 0·4, 0·5, 0·6 ओम के लिए प्रेक्षणों को दुहराते हैं। r के प्रत्येक मान के लिए ρ की गणना करते हैं तथा इसका माध्यमान ज्ञात कर लेते हैं।

(C) R_1 तथा R_2 का निर्धारण—(1) चित्र 4 (b) के अनुसार प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्रतिकारी तारों को रिक्त स्थान CC के सिरों के बीच तथा संयोजक तारों को रिक्त स्थान PP के सिरों के बीच जोड़कर परिपथ तैयार करते हैं।

(2) अब प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी को कमरे के ताप पर लाने के लिए उसे जल से भरे हुए बर्तन में रखते हैं तथा कुछ समय के लिए प्रतीक्षा करते हैं ताकि प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी का प्लेटिनम तार जल का ताप ग्रहण कर ले। जल का ताप t_1 पारे के तापमापी से नोट कर लेते हैं। डायल बॉक्स R से परिपथ में प्रतिरोध डालते हैं तथा सरकने वाले सम्पर्क को ब्रिज तार ED पर सरकाकर अविक्षेप बिन्दु की स्थिति ज्ञात करते हैं। तार पर अविक्षेप बिन्दु की दूरी को

नापकर इसे ब्रिज की शून्यांक त्रुटि के लिए संशोधित कर लेते हैं। अब R, l व ρ के ज्ञात मानों से, कमरे के ताप t_1 पर प्लेटिनम तार के प्रतिरोध R_1 की गणना सूत्र $R_1 = R + 2l\rho$ से कर लेते हैं। यदि अविक्षेप बिन्दु स्केल के शून्य से बार्यी ओर प्राप्त होता है, तो R_1 की गणना सूत्र $R_1 = R - 2l\rho$ से करते हैं। डायल पैटर्न प्रतिरोध R का मान बदलकर पुनः अविक्षेप बिन्दु प्राप्त करते हैं तथा R_1 की गणना करते हैं। तत्पश्चात् R_1 का माध्य मान ज्ञात कर लेते हैं।

(3) अब प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी को खौलते गर्म जल के बर्तन में रखते हैं तथा कुछ समय के लिए प्रतीक्षा करते हैं ताकि प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी का प्लेटिनम तार खौलते जल का ताप ग्रहण कर ले। पारे के तापमापी द्वारा खौलते जल का ताप t_2 नोट कर लेते हैं तथा विधि (2) में बतायी गयी विधि से इस ताप t_2 के संगत प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्लेटिनम तार का प्रतिरोध R_2 ज्ञात कर लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) **ब्रिज के विद्युतीय शून्य के निर्धारण के लिए सारणी**—

क्रमांक	डायल बॉक्स R से परिपथ में डाला गया प्रतिरोध R (ओम में)	ब्रिज तार पर स्केल के शून्य से अविक्षेप बिन्दु की दूरी (दायीं ओर + व बायीं ओर –) (सेमी में)	विद्युतीय शून्य की माध्य स्थिति (सेमी में)	शून्यांक त्रुटि (स्केल के शून्य तथा विद्युतीय शून्य में अन्तर) ± Z (सेमी में)
1.	0	...	...	...
2.	0	...	...	...
3.	0	...	...	...
4.	0	...	...	...

(2) **ब्रिज तार की एकांक लम्बाई के प्रतिरोध ρ के निर्धारण के लिए सारणी**—

क्रमांक	डायल बॉक्स R से परिपथ में डाला गया प्रतिरोध R (ओम में)	दशमलव-प्रतिरोध बॉक्स से परिपथ में डाला गया प्रतिरोध r (ओम में)	ब्रिज तार पर स्केल के शून्य से अविक्षेप बिन्दु की दूरी x (सेमी में)	ब्रिज की शून्यांक त्रुटि के लिए संशोधित दूरी $x \pm z$ (सेमी में)	$\rho = \frac{r}{2(x \pm z)}$ (ओम/सेमी में)
1.	0	...	...	...	...
2.	0	...	...	...	...
3.	0	...	...	...	...
4.	0	...	...	...	...
5.	0	...	...	...	...
				माध्य	ρ = ... ओम/सेमी

(3) **R_1 तथा R_2 के निर्धारण के लिए सारणी**—

पारे के तापमापी की अल्पतमांक = ... °C

क्रमांक	तापमान	डायल बॉक्स R से परिपथ में डाला गया प्रतिरोध R (ओम में)	ब्रिज तार पर स्केल के शून्य से अविक्षेप बिन्दु की दूरी l (सेमी में)	ब्रिज की शून्यांक त्रुटि के लिए संशोधित दूरी $l \pm z$ (सेमी में)	प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्लेटिनम तार का प्रतिरोध (ओम में)	माध्य प्रतिरोध (ओम में)
					$R_1 = R \pm 2(l \pm z)\rho$	
1.	कमरे का ताप	...	...	...	$R_1 = ...$	$R_1 = ...$ ओम
2.	$t_1 = ...$ °C	...	...	...	$R_1 = ...$	
					$R_2 = R' \pm 2(l' \pm z)\rho$	
1.	खौलते जल का ताप	...	...	...	$R_2 = ...$	$R_2 = ...$ ओम
2.	$t_2 = ...$ °C	...	...	...	$R_2 = ...$	

गणना (Calculation)—प्रेक्षणों से प्राप्त t_1 व t_2 के मानों को °C में तथा R_1 व R_2 के मानों को ओम में लेकर सूत्र (iv) में रखने पर,

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_2} = .../°C$$

परिणाम (Result)—प्लेटिनम प्रतिरोध का तापीय गुणांक α = .../°C

प्रामाणिक मान α = .../°C

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोगात्मक मान} \sim \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ......%.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) परिपथ बनाने में ताँबे के मोटे तारों का उपयोग करना चाहिए व इनके सिरों को रेगमाल पेपर से साफ करके परिपथ के सम्बन्धनों को टाइट रखना चाहिए।

(2) परिपथ में धारा अधिक समय तक नहीं बहनी चाहिए। इसके लिए परिपथ की कुंजी में प्लग प्रेक्षण लेते समय ही लगाना चाहिए।

(3) डायल पैटर्न टाइप के दशमलव प्रतिरोध बॉक्स के उपयोग को ही वरीयता देनी चाहिए तथा इसको परिपथ में ताँबे के मोटे व छोटे तारों से ही जोड़ना चाहिए।

(4) प्रारम्भ में धारामापी में शून्य विक्षेप को समंजित करते समय धारामापी के साथ शण्ट का उपयोग करना चाहिए, लेकिन शून्य विक्षेप की स्थिति के पास शण्ट हटा देना चाहिए।

(5) R_1 व R_2 ज्ञात करने के लिए ब्रिज तार पर अविक्षेप बिन्दु की स्थिति तभी ज्ञात करनी चाहिए जब प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्लेटिनम तार द्वारा ग्रहण किया गया ताप स्थिर हो।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी का उपयोग कर प्रतिरोध का तापीय गुणांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. कैलेण्डर तथा ग्रिफिथ ब्रिज किस सिद्धान्त पर कार्य करता है ?

उत्तर—कैलेण्डर तथा ग्रिफिथ ब्रिज ह्वीटस्टोन सिद्धान्त पर कार्य करता है।

प्रश्न 3. प्रतिरोध के तापीय गुणांक से आप क्या समझते हैं ?

उत्तर—यह एकांक ताप वृद्धि के कारण एकांक प्रतिरोध के प्रतिरोध में हुई वृद्धि के बराबर होता है।

प्रश्न 4. आपके प्रयोग में प्लेटिनम का ही ताप गुणांक क्यों ज्ञात किया जाता है ?

उत्तर—क्योंकि ताप के साथ प्लेटिनम के प्रतिरोध का परिवर्तन अधिक तथा एकसमान होता है।

प्रश्न 5. प्रतिरोध ताप गुणांक ज्ञात करने का क्या व्यावहारिक उपयोग है ?

उत्तर—दिये गये प्रतिरोध के मान में परिवर्तन को मापकर, ताप ज्ञात किया जा सकता है।

प्रश्न 6. प्रतिरोध तापमापी में प्रतिकारी तारों का क्या कार्य है ?

उत्तर—इन प्रतिकारी तारों का मुख्य कार्य, सभी तापों पर संयोजक तारों के प्रतिरोध के प्रभाव को निष्फल करने के लिए किया जाता है।

प्रश्न 7. प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी की नली में जुड़ी अभ्रक की चकतियों का क्या कार्य होता है ?

उत्तर—अभ्रक की चकतियाँ तारों के लिए पृथककारी का कार्य करती हैं तथा नली के अन्दर की वायु में संवहन धाराओं को प्रवाहित होने से रोकती हैं।

प्रश्न 8. कैलेण्डर तथा ग्रिफिथ ब्रिज में ब्रिज तार के समान्तर लगे दूसरे तार का क्या उपयोग है ?

उत्तर—इसका उपयोग तापीय विद्युत वाहक बल के प्रभाव जो धारामापी को जौकी (सरकने वाले सम्पर्क) द्वारा ब्रिज तार से जोड़ने पर उत्पन्न हो सकता है, को दूर करने के लिए किया जाता है।

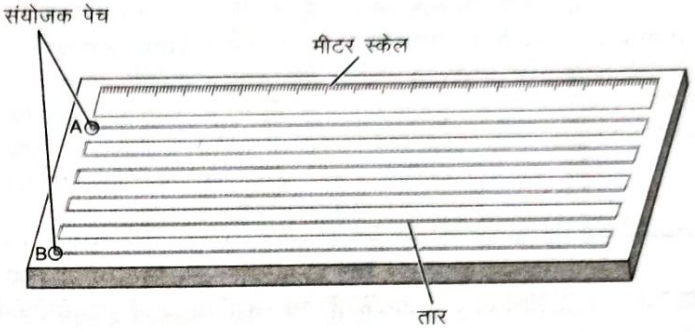
प्रयोग संख्या # 04

उद्देश्य (Object)—*तापयुग्म का विद्युत वाहक बल ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—विभवमापी, ताँबा-लोहा तापयुग्म, तापमापी, बैटरी, उच्च प्रतिरोध बॉक्स, मल्टीमीटर, धारामापी, दो बीकर, कुंजी, ऊष्मक (हीटर) तथा संयोजक तार।

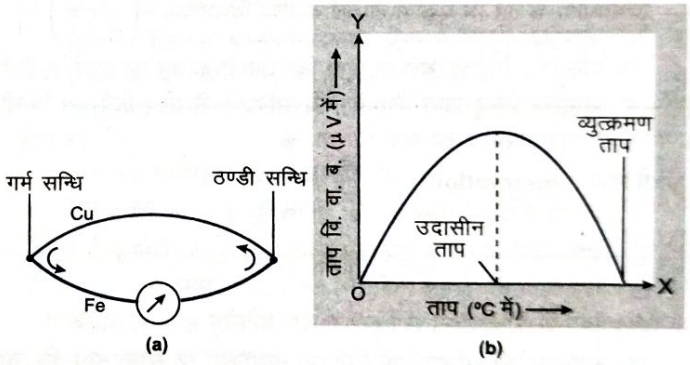
उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—

(1) विभवमापी—चित्र 5 में विभवमापी प्रदर्शित है। इसमें एक मिश्र धातु (मैगनिन या कान्सटेण्टन) जिसका विशिष्ट प्रतिरोध उच्च व प्रतिरोध ताप गुणांक निम्न होता है, का एकसमान अनुप्रस्थ परिच्छेद का तार प्रयुक्त होता है। तार को प्राय: 1–1 मीटर के दस या बारह भागों में विभाजित करके लकड़ी के एक आयताकार तख्ते पर चित्रानुसार व्यवस्थित किया जाता है। तार तख्ते की लम्बाई के समान्तर रहता है तथा प्रत्येक भाग का अन्तिम सिरा, दूसरे भाग के प्रारम्भिक सिरे से ताँबे की मोटी पत्ती द्वारा जुड़ा रहता है। प्रथम तार का प्रारम्भिक सिरा व अन्तिम तार का अन्तिम सिरा दो अलग-अलग संयोजक पेचों से जुड़े होते हैं। तख्ते के ऊपर इन तारों के समान्तर एक मीटर स्केल लगा होता है जिसका शून्य, प्रथम तार के प्रारम्भिक सिरे से शुरू होता है।



चित्र 5

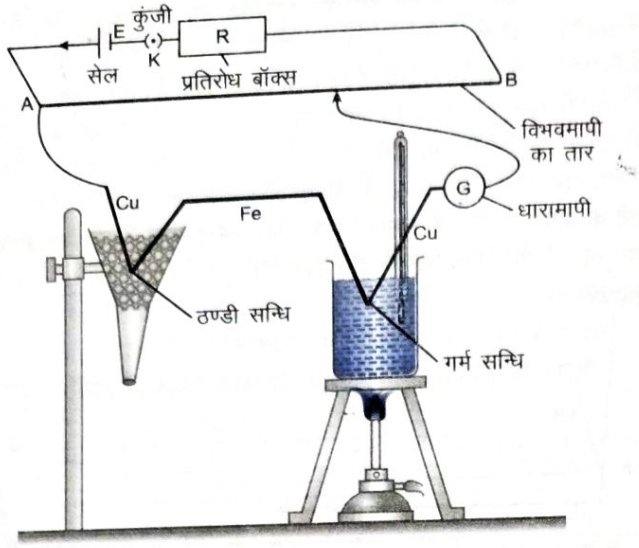
(2) तापयुग्म—यह दो विभिन्न धातुओं (जैसे; लोहा-ताँबा, ताँबा-कान्सटेण्टन आदि) के तारों को जोड़कर बनाया गया बन्द परिपथ होता है। [चित्र 6 (a)]। जब इसकी दोनों सन्धियों को विभिन्न तापों पर रखा जाता है तो परिपथ में एक विद्युत वाहक बल उत्पन्न हो जाता है जिसे ताप वि. वा. ब. कहते हैं। इस ताप वि. वा. ब. के कारण परिपथ में धारा बहती है। किसी तापयुग्म का ताप वि. वा. ब. उसकी सन्धियों के बीच तापान्तर व धातुओं की प्रकृति पर निर्भर करता है।



चित्र 6

जब इसकी एक सन्धि (ठण्डी सन्धि) का ताप स्थिर रखकर दूसरी सन्धि (गर्म सन्धि) के ताप को बढ़ाकर तापान्तर बढ़ाया जाता है, तो ताप वि. वा. ब. बढ़ता जाता है तथा गर्म सन्धि के एक निश्चित ताप पर इसका मान अधिकतम होता है [चित्र 6 (b)]। इस निश्चित ताप को उदासीन ताप कहते हैं तथा यह किसी दिये गये धातुओं के युग्म के लिए स्थिरांक होता है। गर्म सन्धि का ताप उदासीन ताप से और ऊपर बढ़ाने पर ताप-वि. वा. ब. घटने लगता है तथा एक विशेष ताप पर ताप-वि. वा. ब. शून्य हो जाता है। इस ताप को व्युत्क्रमण ताप कहते हैं तथा यह ठण्डी सन्धि के ताप पर निर्भर करता है। इसके बाद गर्म सन्धि का ताप और बढ़ाने पर ताप-वि. वा. ब. की दिशा विपरीत हो जाती है।

सिद्धान्त (Principle)—विभवमापी की सहायता से ताप-वि. वा. ब. को एक सेल के वि. वा. ब. के विरुद्ध सन्तुलित करके इसके वास्तविक मान की गणना की जा सकती है जिसके लिए विभवमापी के तार पर एकांक लम्बाई के लिए विभवपतन ज्ञात होना आवश्यक होता है। इसके लिए माना एक सेल जिसका



चित्र 7

वि. वा. ब. E है, विभवमापी के तार के प्रतिरोध r व प्रतिरोध R के साथ श्रेणीक्रम में जुड़ा है (चित्र 7)। तब

$$\text{विभवमापी के तार में प्रवाहित धारा } I = \frac{E}{R + r}$$

$$\text{विभवमापी के तार पर विभवपतन} = \frac{Er}{R + r}$$

यदि विभवमापी के तार की कुल लम्बाई L है, तो

$$\text{विभवमापी के तार पर एकांक लम्बाई के लिए विभवपतन} = \left(\frac{Er}{R + r}\right) \times \frac{l}{L}$$

अब यदि ताप-वि. वा. बल के लिए विभवमापी के तार पर इसके A सिरे दूरी l पर सन्तुलन बिन्दु प्राप्त होता है, तब सन्धियों के बीच दिये गये किसी तापान्तर के लिए तापयुग्म का ताप-वि. वा. ब.

$$e = \frac{Erl}{(R + r)L}$$

उपर्युक्त सूत्र से किसी दिये गये तापान्तर के लिए तापयुग्म का ताप-वि. वा. ब. ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)–

(1) सबसे पहले चित्र 7 के अनुसार विद्युत परिपथ तैयार करते हैं जिसके लिए सेल के धनात्मक सिरे को विभवमापी के संयोजक पेच A से जोड़ते हैं तथा ऋणात्मक सिरे को, इसके साथ प्रतिरोध बॉक्स R व कुंजी K को श्रेणीक्रम में जोड़कर विभवमापी के संयोजक पेच B से जोड़ देते हैं। अब ताँबा-लोहा के तारों को जोड़कर दो सन्धियाँ बना लेते हैं तथा इन्हें चित्रानुसार एक सन्धि को सादा पानी से भरे बीकर में तथा दूसरी सन्धि को बर्फ से भरे बीकर में डुबाकर रखते हैं। तत्पश्चात् बर्फ में डूबी सन्धि के ताँबे के तार को विभवमापी के संयोजक पेच A से जोड़ देते हैं तथा सादा पानी में डूबी सन्धि के ताँबे के तार को धारामापी से जोड़कर जौकी से जोड़ देते हैं।

(2) अब बीकर में लिए गये सादा पानी को ऊष्मक द्वारा तब तक गर्म करते हैं जब तक कि इसका ताप स्थायी न हो जाए अर्थात् पानी उबलने लगे। उच्च प्रतिरोध बॉक्स से उचित प्रतिरोध का प्लग निकाल देते हैं तथा कुंजी K को बन्द करने के पश्चात् जौकी को विभवमापी के तार पर चलाकर धारामापी में शून्य विक्षेप की स्थिति ज्ञात कर लेते हैं। विभवमापी के तार पर इस स्थिति के संगत बिन्दु A से जौकी तक तार की लम्बाई को नोट कर लेते हैं तथा तापमापी द्वारा गर्म जल का ताप नोट कर लेते हैं जो गर्म सन्धि का ताप होता है।

(3) अब बीकर के नीचे से ऊष्मक को हटा देते हैं तथा गर्म पानी को ठण्डा होने देते हैं। 5°C के अन्तराल पर प्रत्येक ताप के लिए विभवमापी के तार की सन्तुलनकारी लम्बाई नोट करते रहते हैं जब तक कि गर्म सन्धि का ताप कमरे के ताप तक न आ जाए।

(4) तत्पश्चात् वोल्टमीटर (या मल्टीमीटर) द्वारा सेल का वि. वा. ब. ज्ञात कर लेते हैं तथा विभवमापी के तार का प्रतिरोध पोस्ट ऑफिस बॉक्स की सहायता से या मल्टीमीटर द्वारा ज्ञात कर लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)–

(1) परिपथ में प्रयुक्त सेल का वि. वा. ब. E = ... वोल्ट

(2) विभवमापी के तार की कुल लम्बाई L = ... सेमी

(3) विभवमापी के तार का प्रतिरोध r = ... ओम

(4) उच्च प्रतिरोध बॉक्स से निकाला गया प्रतिरोध R = ... ओम

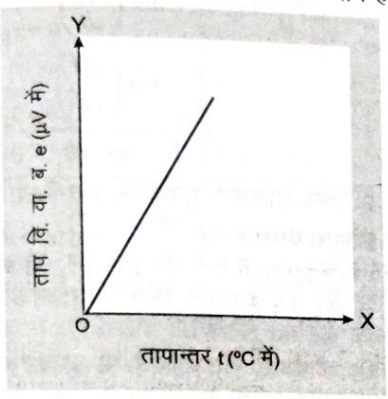
(5) **तापयुग्म की सन्धियों के विभिन्न तापान्तरों के संगत ताप-वि. वा. ब. के लिए सारणी–**

ठण्डी सन्धि का ताप = ... °C

क्रमांक	गर्म सन्धि का ताप (°C में)	तापान्तर (t°C में)	सन्तुलनकारी लम्बाई l (सेमी में)	ताप-वि. वा. ब. $e = \frac{Erl}{(R + r)L}$ (माइक्रो वोल्ट में)
1.	...	...	...	...
2.	...	...	...	...
3.	...	...	...	...
4.	...	...	...	...
5.	...	...	...	...
6.	...	...	...	...
7.	...	...	...	...

गणना (Calculation)—प्रेक्षणों से प्राप्त तापान्तर t को X-अक्ष पर तथा ताप-वि. वा. ब. को Y-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचते हैं जो चित्र 8 की भाँति एक सरल रेखा प्राप्त होता है।

नोट—ताँबा-लोहा तापयुग्म के लिए उदासीन ताप 270°C होता है, लेकिन इस प्रयोग में अधिकतम तापान्तर 100°C ही है। अत: चित्र 8 में प्राप्त ग्राफ, चित्र 6 (b) में प्रदर्शित परवलय का प्रारम्भिक सरल रेखीय भाग होता है।



चित्र 8

परिणाम (Result)—दिये गये तापयुग्म (लोहा-ताँबा तापयुग्म) के ताप-वि. वा. ब. तथा तापान्तर के बीच खींचे ग्राफ से तापयुग्म का तापान्तर (...°C) पर वि. वा. ब. = ... μV

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) संयोजक तारों के सिरे ठीक से साफ होने चाहिए तथा सभी सम्बन्धन भली-भाँति कसे होने चाहिए।

(2) प्रयोग से पहले तापयुग्म का निरीक्षण ठीक से कर लेना चाहिए तथा यह सुनिश्चित कर लेना चाहिए कि सन्धियों पर तार ठीक से जुड़े हों।

(3) प्रयोग के दौरान परिपथ में प्रयुक्त सेल का वि. वा. ब. स्थिर रहना चाहिए।

(4) उच्च प्रतिरोध बॉक्स से प्रतिरोध इतना निकालना चाहिए कि अधिकतम तापान्तर के लिए सन्तुलन बिन्दु विभवमापी के अन्तिम तार पर हो तथा इसका मान इस प्रकार का होना चाहिए कि गणना सरल हो जाए।

(5) विभवमापी के तार पर एकांक लम्बाई के लिए विभवपतन स्थिर रहे इसके लिए तार में धारा अधिक समय तक नहीं प्रवाहित होनी चाहिए अर्थात् प्रेक्षण लेने के तुरन्त बाद ही कुंजी से प्लग हटा देना चाहिए।

(6) जौकी को तार पर रगड़कर नहीं चलाना चाहिए बल्कि उसे तार से हल्के से स्पर्श कराकर ही धारामापी में शून्य विक्षेप की स्थिति ज्ञात करनी चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—तापयुग्म का विद्युत वाहक बल ज्ञात करना।

प्रश्न 2. किसी सेल का वि. वा. ब. ज्ञात करने के लिए विभवमापी अधिक उपयुक्त होता है, क्यों ?

उत्तर—क्योंकि जब किसी सेल का वि. वा. ब. विभवमापी द्वारा नापा जाता है तो शून्य विक्षेप स्थिति में सेल के परिपथ में कोई धारा नहीं बहती है जिसके कारण सेल के आन्तरिक प्रतिरोध पर कोई विभवपतन नहीं होता है तथा विभवमापी द्वारा मापा गया वि. वा. ब. यथार्थ होता है।

प्रश्न 3. विभवमापी की सुग्राहिता से क्या तात्पर्य है ? इसकी सुग्राहिता कैसे बढ़ाई जा सकती है ?

उत्तर—विभवमापी की सुग्राहिता से तात्पर्य यह है कि जौकी को शून्य-विक्षेप स्थिति से थोड़ा-सा खिसकाने पर धारामापी में बहुत अधिक विक्षेप उत्पन्न हो जाए। यह विभव-प्रवणता के व्युत्क्रमानुपाती होती है। अत: विभवमापी के तार की लम्बाई बढ़ाने पर सुग्राहिता बढ़ती है।

प्रश्न 4. तापयुग्म क्या होता है ?

उत्तर—जब दो विभिन्न धातुओं जैसे ताँबा व लोहा (अथवा ऐन्टिमनी व बिस्मथ) के तारों को सिरों पर जोड़कर एक बन्द परिपथ बनाकर उसकी सन्धियों को भिन्न-भिन्न तापों पर रखा जाता है तो परिपथ में एक वि. वा. ब. उत्पन्न हो जाता है जिसके कारण परिपथ में धारा प्रवाहित होने लगती है। दो धातुओं से बने ऐसे युग्म को तापयुग्म कहते हैं।

प्रश्न 5. ताप-विद्युत प्रभाव क्या होता है ?

उत्तर—तापयुग्म में उत्पन्न वि. वा. ब. तथा उसके कारण परिपथ में धारा ऊष्मीय ऊर्जा के अवशोषण के कारण होते हैं। इसलिए इस घटना को ताप-विद्युत प्रभाव कहते हैं।

प्रश्न 6. ताप-विद्युत प्रभाव का क्या कारण है ?

उत्तर—तापयुग्म की दो भिन्न धातुओं की सन्धि पर एकत्रित इलेक्ट्रॉनों की सान्द्रता के अन्तर के कारण यह प्रभाव होता है जिसके फलस्वरूप अधिक इलेक्ट्रॉन सान्द्रता वाली धातु से इलेक्ट्रॉन कम सान्द्रता वाली धातु की ओर स्थ. ानान्तरित होने लगते हैं।

प्रश्न 7. उदासीन ताप क्या होता है ?

उत्तर—गर्म सन्धि का वह ताप जिस पर ताप-वि. वा. ब. का मान अधिकतम हो जाता है, उदासीन ताप कहलाता है।

प्रश्न 8. व्युत्क्रमण ताप क्या होता है ?

उत्तर—गर्म सन्धि का वह ताप जिस पर ताप-वि. वा. ब. का मान शून्य हो जाता है तथा ताप को इससे अधिक बढ़ाने पर ताप-वि. वा. ब. की दिशा विपरीत हो जाती है, व्युत्क्रमण ताप कहलाता है।

प्रश्न 9. उदासीन ताप व व्युत्क्रमण ताप में से कौन ठण्डी सन्धि के ताप पर निर्भर करता है ?

उत्तर—व्युत्क्रमण ताप।

प्रश्न 10. आपके प्रयोग में प्रयुक्त ताँबा-लोहा तापयुग्म में धारा की दिशा क्या होती है ?

उत्तर—गर्म सन्धि पर ताँबे से लोहे की ओर।

प्रश्न 11. किन दो धातुओं के ताप-युग्म में किसी दिए गये तापान्तर के लिए सबसे अधिक ताप-वि. वा. ब. उत्पन्न होता है ?

उत्तर—एन्टिमनी व बिस्मथ के तापयुग्म से अधिक ताप-वि. वा. ब. उत्पन्न होता है।

प्रश्न 12. तापयुग्म के दो उपयोग बताइए।

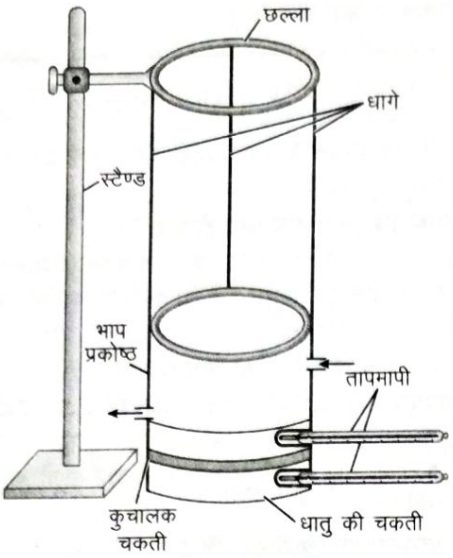
उत्तर—(i) उच्च ताप के मापन में, (ii) ऊष्मीय विकिरण के संसूचन में।

प्रयोग संख्या # 05

उद्देश्य (Object)—*ली-विधि के द्वारा किसी कुचालक पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—ली का उपकरण, भाप बनाने के लिए बॉयलर, दो सुग्राही तापमापी, ऊष्मक (हीटर), विराम घड़ी, वर्नियर कैलीपर्स, स्क्रूगेज, भौतिक तुला तथा बाट बॉक्स।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—ली का उपकरण चित्र 9 में प्रदर्शित है। इसमें पीतल अथवा ताँबे की एक ठोस वृत्ताकार चकती कुचालक धागों द्वारा एक छल्ला (रिंग) जो एक भारी ऊर्ध्वाधर स्टैण्ड से कसा होता है, से लटकी रहती है। चकती के ऊपर एक भाप प्रकोष्ठ जिसका निचला भाग एक ठोस चकती के रूप में होता है, रखा रहता है। धातु की चकती एवं भाप प्रकोष्ठ के बीच में प्रायोगिक कुचालक पदार्थ की चकती रखी जाती है। धातु की चकती, कुचालक पदार्थ की चकती एवं भाप प्रकोष्ठ तीनों का व्यास समान होता है तथा धातु की चकती व भाप प्रकोष्ठ वार्निश किये हुए होते हैं जिससे कि इनकी उत्सर्जकता समान रहे। धातु की चकती तथा भाप प्रकोष्ठ के निचले भाग जो ठोस चकती के रूप में होता है, में तापमापी लगाने के लिए दो छिद्र होते हैं जिनमें तापमापी लगा दिये जाते हैं।



चित्र 9

सिद्धान्त (Principle)—जब भाप प्रकोष्ठ में भाप प्रवाहित की जाती है तो इसका निचला भाग गर्म हो जाता है जिससे ऊष्मा कुचालक चकती में से होते हुए धातु की चकती तक पहुँचती है तथा चकती के वक्र पृष्ठ एवं निचले पृष्ठ से विकिरण द्वारा इसका क्षय होता रहता है। स्थायी अवस्था में प्रायोगिक कुचालक पदार्थ की चकती से चालन द्वारा संचरित ऊष्मा की दर, धातु की चकती के खुले पृष्ठ (वक्र पृष्ठ एवं निचला पृष्ठ) से विकिरण द्वारा ऊष्मा क्षय की दर के बराबर होती है।

यदि कुचालक चकती की त्रिज्या r, मोटाई d व इसके पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक K हो तथा स्थायी अवस्था में भाप प्रकोष्ठ के निचले भाग में व धातु की चकती में लगे तापमापियों के पाठ क्रमशः θ_1 व θ_2 हों तो कुचालक चकती से संचरित ऊष्मा की दर

$$Q = \frac{K\pi r^2 (\theta_1 - \theta_2)}{d} \quad ...(i)$$

यदि धातु की चकती का द्रव्यमान m, विशिष्ट ऊष्मा s तथा ताप θ_2 पर उसके ताप के गिरने की दर $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta=\theta_2}$ हो, तो ताप θ_2 पर, चकती के खुले पृष्ठ से विकिरण द्वारा ऊष्मा हानि की दर

$$Q' = ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta=\theta_2} \quad ...(ii)$$

स्थायी अवस्था में यदि कुचालक चकती से विकिरण द्वारा ऊष्मा हानि नगण्य हो, तो

$$Q = Q'$$

या $$\frac{K\pi r^2 (\theta_1 - \theta_2)}{d} = ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta=\theta_2}$$

या $$K = \frac{ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta=\theta_2} \times d}{\pi r^2 (\theta_1 - \theta_2)} \quad ...(iii)$$

उपर्युक्त सूत्र से ऊष्मा चालकता गुणांक K ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले धातु की चकती का द्रव्यमान, भौतिक तुला से उसको तोलकर ज्ञात कर लेते हैं। यदि द्रव्यमान उसके ऊपर अंकित है या प्रयोगशाला रिकार्ड में है तो इसको नोट कर लेते हैं।

(2) अब वर्नियर कैलीपर्स की सहायता से प्रायोगिक कुचालक पदार्थ की चकती का व्यास अलग-अलग स्थानों पर व प्रत्येक स्थान पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में ज्ञात करते हैं तथा इसका औसत मान ज्ञात करके चकती की त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं। तत्पश्चात् स्क्रूगेज की सहायता से इस चकती की मोटाई अलग-अलग स्थानों पर ज्ञात करके इसका औसत मान ज्ञात कर लेते हैं।

(3) अब इस चकती को चित्र 9 के अनुसार धातु की चकती एवं भाप प्रकोष्ठ के बीच में रख देते हैं। दोनों तापमापियों को क्रमशः भाप प्रकोष्ठ के निचले भाग व धातु की चकती में बने छिद्रों में लगा देते हैं।

(4) अब बॉयलर में जल की पर्याप्त मात्रा लेकर तापन आरम्भ करते हैं। भाप को भाप प्रकोष्ठ में से प्रवाहित करते हैं तथा स्थायी अवस्था आने तक प्रतीक्षा करते हैं। स्थायी अवस्था प्राप्त होने के बाद दोनों तापमापियों के पाठ नोट कर लेते हैं।

(5) तत्पश्चात् कुचालक चकती को हटाकर भाप प्रकोष्ठ को धातु की चकती के ऊपर रख देते हैं। जब चकती का ताप विधि (4) में स्थायी अवस्था में प्राप्त हुए ताप से 10°C अधिक हो जाता है तो भाप प्रकोष्ठ को हटाकर धातु की चकती के ऊपर कुचालक चकती को रखकर, धातु की चकती को स्वतन्त्रतापूर्वक ठण्डा होने देते हैं। एक निश्चित अन्तराल (लगभग 30–30 सेकण्ड) के बाद चकती का ताप नोट करते जाते हैं तथा ताप जब तक नोट करते हैं जब तक यह चकती के स्थायी ताप से 10°C नीचे तक न गिर जाए।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) धातु की चकती का द्रव्यमान m = ... ग्राम

(2) धातु की चकती की विशिष्ट ऊष्मा s = ... कैलोरी/ग्राम °C (प्रामाणिक सारणी से)

(3) कुचालक चकती की त्रिज्या r = ... सेमी

(4) कुचालक चकती की मोटाई d = ... सेमी

(5) तापमापी की अल्पतमांक = ... °C

(6) विराम घड़ी की अल्पतमांक = ... सेकण्ड

(7) **स्थायी अवस्था प्राप्त करने के लिए सारणी**—

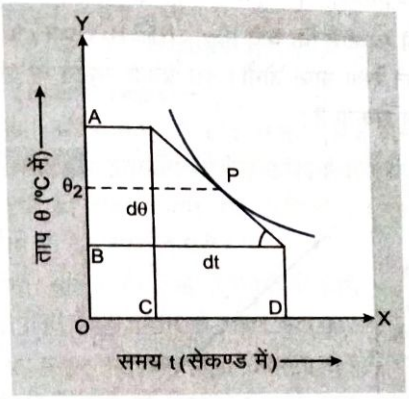
क्रमांक	समय (मिनट में)	भाप प्रकोष्ठ के निचले भाग में लगे तापमापी का पाठ θ_1 (°C में)	धातु की चकती में लगे तापमापी का पाठ θ_2 (°C में)
1.	...	...	...
2.	...	...	...
3.	...	...	...
4.	...	...	...
5.	...	...	...
6.	...	...	...
7.	...	...	...

स्थायी अवस्था में ताप θ_1 = ... °C तथा θ_2 = ... °C

(8) धातु की चकती के शीतलन के लिए सारणी—

क्रमांक	समय			धातु की चकती में लगे तापमापी का ताप θ (°C में)
	मिनट	सेकण्ड	कुल समय (सेकण्ड में)	
1.	...	...	...	...
2.	...	...	...	...
3.	...	...	...	...
4.	...	...	...	...
5.	...	...	...	...
6.	...	...	...	...
7.	...	...	...	...

गणना (Calculation)— $\frac{d\theta}{dt}$ का मान θ_2 पर ज्ञात करने के लिए धातु की चकती के शीतलन के दौरान लिए गये प्रेक्षणों से प्राप्त θ को Y-अक्ष पर तथा समय t को X-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचते हैं, जो चित्र 10 की भाँति वक्र प्राप्त होता है। इस वक्र पर ताप θ_2 के संगत बिन्दु P पर एक स्पर्श रेखा खींचते हैं जिससे



चित्र 10

स्पर्श रेखा का ढाल $= \frac{AB}{CD} = \left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta=\theta_2}$ प्राप्त होता है। इस $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta=\theta_2}$ को °C/सेकण्ड में, m को ग्राम में, s को कैलोरी/ग्राम °C में, r व d को सेमी में तथा θ_1 व θ_2 को °C में लेकर समीकरण (iii) में रखने पर,

$$K = \frac{ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{\theta=\theta_2} \times d}{\pi r^2 (\theta_1 - \theta_2)} \text{ कैलोरी/सेकण्ड सेमी°C}$$

परिणाम (Result)—दिये गये कुचालक पदार्थ (.....) का ऊष्मा चालकता गुणांक K = ... कैलोरी/सेकण्ड सेमी °C

प्रामाणिक मान K = ... कैलोरी/सेकण्ड सेमी °C

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रयोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

$$= \text{.....} \%.$$

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) तापमापी सुग्राही होने चाहिए जो ताप का मापन डिग्री के $\frac{1}{10}$ भाग तक कर सकें।

(2) स्थायी अवस्था में धातु की चकती एवं भाप प्रकोष्ठ के निचले भाग के ताप, स्थायी अवस्था को पूर्णत: सुनिश्चित करने के बाद ही नोट करने चाहिए।

(3) कुचालक पदार्थ की चकती पतली से पतली होनी चाहिए जिससे कि इसके वक्र पृष्ठ से विकिरण द्वारा ऊष्मा क्षय लगभग नगण्य हो।

(4) कुचालक चकती की मोटाई तथा व्यास, इसे उपकरण में लगाने से पूर्व ही नाप लेने चाहिए।

(5) प्रयोग प्रारम्भ करने से पूर्व यह सुनिश्चित कर लेना चाहिए कि भाप बनने के लिए बॉयलर में जल की मात्रा पर्याप्त हो।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—ली-विधि द्वारा किसी कुचालक पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. किसी पदार्थ की ऊष्मा चालकता से क्या तात्पर्य है ?

उत्तर—किसी पदार्थ का वह गुण जिसके कारण उस पदार्थ में ऊष्मा का संचरण चालन विधि द्वारा होता है, ऊष्मा चालकता कहलाता है।

प्रश्न 3. ऊष्मा चालकता गुणांक क्या होता है ?

उत्तर—किसी पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक ऊष्मा की वह मात्रा, जो स्थायी अवस्था में उस पदार्थ की एकांक लम्बाई व एकांक अनुप्रस्थ क्षेत्रफल की छड़ में एकांक समय में प्रवाहित होती है, जबकि छड़ के दोनों सिरों का तापान्तर एकांक हो तथा ऊष्मा का प्रवाह छड़ के सिरों के लम्बवत् हो।

प्रश्न 4. ऊष्मा चालकता गुणांक का मात्रक क्या होता है ?

उत्तर—कैलोरी/सेमी सेकण्ड °C या जूल/मीटर सेकण्ड °C।

प्रश्न 5. स्थायी अवस्था से क्या तात्पर्य है ?

उत्तर—किसी छड़ में ऊष्मा चालन के दौरान वह अवस्था जब छड़ का प्रत्येक परिच्छेद केवल ऊष्मा का चालन करता है, अर्थात् परिच्छेद का ताप समय के साथ अपरिवर्तित रहता है, स्थायी अवस्था कहलाती है।

प्रश्न 6. ताप प्रवणता से आप क्या समझते हैं ?

उत्तर—स्थायी अवस्था में ऊष्मा प्रवाह की दिशा में दूरी के साथ ताप घटने की दर को ताप प्रवणता कहते हैं।

प्रश्न 7. आप अपने प्रयोग में स्थायी अवस्था की जाँच किस प्रकार करते हैं ?

उत्तर—जब स्थायी अवस्था आ जाती है तब दोनों तापमापियों के पाठ स्थिर हो जाते हैं अर्थात् तापमापियों के पाठ समय के साथ नहीं बदलते हैं।

प्रश्न 8. इस प्रयोग में कुचालक पदार्थ को एक पतली चकती के रूप में क्यों लेते हैं ?

उत्तर—कुचालक पदार्थ को पतली चकती के रूप में लेने से इसका परिच्छेद क्षेत्रफल बढ़ जाता है तथा मोटाई कम हो जाती है जिससे इसके फलकों के बीच प्रवाहित होने वाली ऊष्मा की मात्रा बढ़ जाती है।

प्रश्न 9. चकती की मोटाई कम क्यों रखी जाती है ?

उत्तर—चकती की मोटाई कम रखने से उसके वक्रीय पृष्ठ से विकिरण द्वारा होने वाली ऊष्मा की क्षति बहुत कम हो जाती है।

प्रश्न 10. आप धातु की चकती की शीतलन दर कब ज्ञात करते हो?

उत्तर—जब स्थायी अवस्था आ जाती है अर्थात् ताप स्थिर हो जाता है।

प्रश्न 11. क्या आप इस विधि द्वारा किसी सुचालक पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक भी ज्ञात कर सकते हो ?

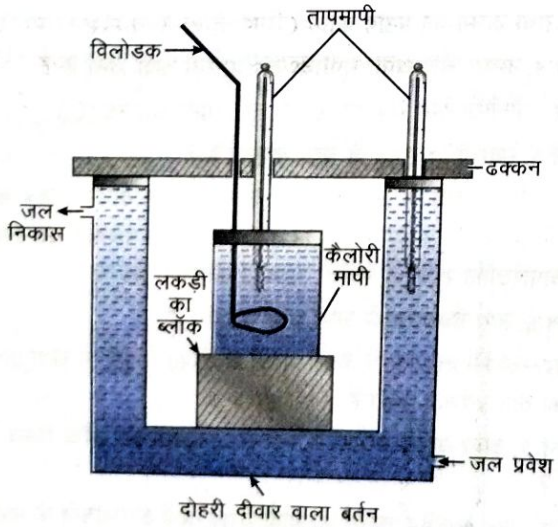
उत्तर—नहीं, क्योंकि सुचालक पदार्थ की चकती लेने पर इससे ऊष्मा चालन की दर बहुत अधिक होगी, अत: इसके दोनों सिरों का ताप लगभग समान होगा, जिससे प्रेक्षण ठीक नहीं आ पाएँगे।

प्रयोग संख्या # 06

उद्देश्य (Object)—*न्यूटन के शीतलन नियम का सत्यापन करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—ताँबे का कैलोरीमापी जिसके बाहरी पृष्ठ पर कालिख पुती हो, दोहरी दीवार वाला बर्तन, लकड़ी का ब्लॉक या कॉर्क के टुकड़े, विलोडक, सुग्राही तापमापी, विराम घड़ी, ऐबोनाइट या लकड़ी का ढक्कन जिसमें दो छिद्र बने हों तथा पानी गर्म करने का साधन।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 11 में प्रदर्शित है। इसमें ताँबे का एक कैलोरीमापी जो पतली दीवार का बना होता है तथा इसके बाहरी पृष्ठ पर कालिख पुती होती है, दोहरी दीवार वाले बर्तन में लकड़ी के ब्लॉक या कॉर्क के टुकड़ों पर रखा होता है जिससे वह बर्तन की दीवार को स्पर्श नहीं करता है। बर्तन के मुँह पर लकड़ी या ऐबोनाइट का एक ढक्कन लगा होता है जिसमें दो छिद्र होते हैं। एक छिद्र से होकर तापमापी व विलोडक कैलोरीमापी में लगे होते हैं तथा दूसरे छिद्र से होकर एक अन्य तापमापी दोहरी दीवार वाले बर्तन की दोहरी दीवार में प्रवाहित जल के ताप मापन के लिए लगा होता है।



चित्र 11

सिद्धान्त (Principle)—न्यूटन के शीतलन नियमानुसार यदि वस्तु के ताप और उसके आस-पास के वातावरण के ताप में अधिक अन्तर न हो, तो किसी क्षण वस्तु के ठण्डे होने की दर वस्तु के ताप व वातावरण के ताप के अन्तर के अनुक्रमानुपाती होती है अर्थात्

वस्तु के ठण्डे होने की दर (या वस्तु से ऊष्मा हानि की दर) $\propto$ तापान्तर

यदि द्रव्यमान m की वस्तु जिसकी विशिष्ट ऊष्मा s है का प्रारम्भिक ताप θ है व उसके आस-पास के वातावरण का ताप θ_0 है तथा समय dt में वस्तु का ताप घटकर θ से $d\theta$ रह जाता है, तो वस्तु से ऊष्मा हानि की दर

$$-ms\frac{d\theta}{dt} \propto (\theta - \theta_0)$$

या $$\frac{d\theta}{dt} = -k(\theta - \theta_0), \text{ जहाँ } k \text{ एक नियतांक है} \quad ...(i)$$

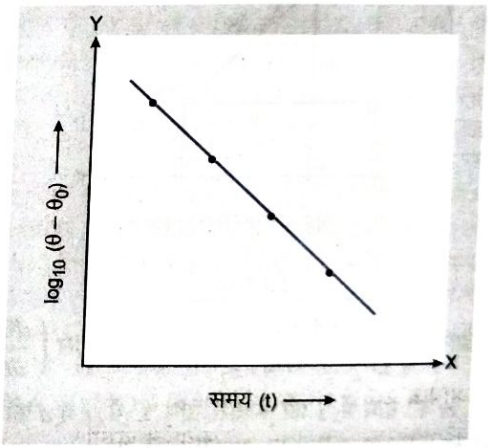
समी. (i) का समाकलन करने पर

$$\log_e(\theta - \theta_0) = -Kt + C'$$

या $$\log_{10}(\theta - \theta_0) = -Kt + C \quad ...(ii)$$

जहाँ $K = \frac{k}{2{\cdot}3026}$ तथा $C = \frac{c'}{2{\cdot}3026}$ नियतांक हैं।

समी. (ii) से स्पष्ट है कि यदि $\log_{10}(\theta - \theta_0)$ तथा t के बीच ग्राफ खींचा जाए तो एक सरल रेखा प्राप्त होगी। इस प्रकार न्यूटन के शीतलन नियम का सत्यापन किया जा सकता है।



चित्र 12

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले चित्र 11 में दिखाये अनुसार दोहरी दीवार वाले बर्तन में ठण्डा पानी प्रवाहित करते हैं व इसका ताप नोट कर लेते हैं तथा एक बीकर में पानी गर्म होने रख देते हैं।

(2) जब बीकर के पानी का ताप कमरे के ताप से 25°C से 30°C अधिक हो जाता है, तो उसे कैलोरीमापी में लगभग $\frac{2}{3}$ भाग तक भर लेते हैं तथा कैलोरीमापी को दोहरी दीवार वाले बर्तन में इस प्रकार रख देते हैं कि वह बर्तन की दीवार को स्पर्श न करे।

(3) अब विलोडक द्वारा कैलोरीमापी के पानी का विलोडन करते हुए विराम घड़ी द्वारा प्रत्येक आधे मिनट के अन्तर पर कैलोरीमापी के पानी का ताप, तापमापी से नोट करते जाते हैं। यह क्रिया तब तक करते हैं जब तक कि पानी का ताप कमरे के ताप से 5°C ऊपर रह जाए।

(4) प्रयोग के अन्त में ठण्डे पानी (दोहरी दीवार वाले बर्तन में प्रवाहित पानी) का ताप दुबारा नोट करते हैं तथा प्रारम्भ व अन्त के ताप का औसत मान ज्ञात कर लेते हैं। यही वातावरण का ताप θ_0 होता है।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) वातावरण का ताप θ_0 = ... °C

(2) **समय के साथ कैलोरीमापी के पानी का ताप के लिए सारणी—**

क्रमांक	समय t (सेकण्ड में)	कैलोरीमापी के पानी का ताप θ (°C में)	तापान्तर $(\theta - \theta_0)$ (°C में)	$\log_{10}(\theta - \theta_0)$
1.	...	...	...	
2.	...	...	...	...
3.	...	...	...	...
4.	...	...	...	...
5.	...	...	...	...
6.	...	...	...	...
7.	...	...	...	...

ग्राफ (Graph)—प्रेक्षणों से प्राप्त t को X-अक्ष पर तथा $\log_{10}(\theta - \theta_0)$ को Y-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचते हैं जो चित्र 12 की भाँति एक सरल रेखा प्राप्त होता है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि वस्तु के ठण्डे होने की दर, वस्तु और उसके आस-पास के वातावरण के तापान्तर के अनुक्रमानुपाती होती है।

परिणाम (Result)—$\log_{10}(\theta - \theta_0)$ व t के बीच खींचा गया ग्राफ एक सरल रेखा प्राप्त होता है। अत: इससे न्यूटन के शीतलन नियम का सत्यापन होता है।

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) कैलोरीमापी अच्छी ऊष्मा चालक धातु से बना होना चाहिए, इसकी दीवारे पतली होनी चाहिए तथा इसके बाहरी पृष्ठ पर कालिख पुती होनी चाहिए।

(2) कैलोरीमापी को दोहरी दीवार वाले बर्तन में इस प्रकार रखना चाहिए कि यह बर्तन की दीवार को स्पर्श न करे।

(3) दोहरी दीवार वाले बर्तन में कैलोरीमापी के आस-पास के वातावरण का ताप नियत रखने के लिए दोहरी दीवार के अन्दर जल का प्रवाह होते रहना चाहिए।

(4) समय-ताप प्रेक्षण सावधानी तथा सतर्कता से लेने चाहिए।

(5) कैलोरीमापी में पानी को विलोडित करते रहना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—न्यूटन के शीतलन नियम का सत्यापन करना।

प्रश्न 2. न्यूटन का शीतलन नियम क्या है ?

उत्तर—न्यूटन के शीतलन नियमानुसार, "यदि वस्तु के ताप और उसके आस-पास के वातावरण के ताप में बहुत अधिक अन्तर न हो तो किसी क्षण वस्तु के ठण्डे होने की दर वस्तु के ताप व वातावरण के ताप के अन्तर के अनुक्रमानुपाती होती है।"

प्रश्न 3. किसी वस्तु से ऊष्मा हानि की दर किन-किन कारकों पर निर्भर करती है ?

उत्तर—वस्तु से ऊष्मा हानि की दर वस्तु के पृष्ठ की प्रकृति, उसके पृष्ठ क्षेत्रफल तथा उसके व आस-पास के वातावरण के तापान्तर पर निर्भर करती है।

प्रश्न 4. न्यूटन का शीतलन नियम किस बात से सीमित है ?

उत्तर—यह नियम केवल कम तापान्तर के लिए ही ठीक बैठता है।

प्रश्न 5. आपके प्रयोग में कैलोरीमापी के बाहरी पृष्ठ पर कालिख पुती होती है। क्यों ?

उत्तर—जिससे कि गर्म पानी से ऊष्मा का क्षय विकिरण द्वारा हो।

प्रश्न 6. आप अपने प्रयोग में कैलोरीमापी को दोहरी दीवार वाले बर्तन में क्यों रखते हैं ?

उत्तर—जिससे कि बर्तन की दोहरी दीवार में पानी प्रवाहित करके कैलोरीमापी के आस-पास के वातावरण का ताप स्थिर रखा जा सके।

प्रश्न 7. आपके प्रयोग में विलोडक का क्या कार्य है ?

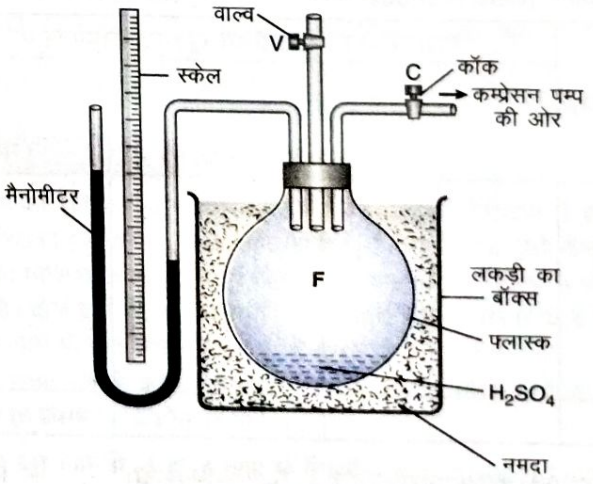
उत्तर—विलोडक द्वारा कैलोरीमापी के पानी को विलोडित करते हैं जिससे पूरे पानी का ताप एक-सा बना रहता है।

प्रयोग संख्या # 07

उद्देश्य (Object)—*क्लीमेंट एवं डेसोर्म विधि द्वारा वायु का विशिष्ट ऊष्मा अनुपात ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—लगभग 5 लीटर की क्षमता का एक बड़ा फ्लाक्स, लकड़ी का बॉक्स, नमदा, द्रव, मैनोमीटर, सल्फ्यूरिक एसिड तथा कम्प्रेसन पम्प।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 13 में प्रदर्शित है। इसमें लगभग 5 लीटर की क्षमता का एक बड़ा काँच का फ्लाक्स होता है जो लकड़ी के बॉक्स में रखा होता है। चालन द्वारा ऊष्मा क्षय को रोकने के लिए लकड़ी के बॉक्स में फ्लाक्स के चारों ओर नमदा भरी होती है। फ्लाक्स की गर्दन धात्विक होती है जिसमें दो साइड नलियाँ तथा एक वाल्व V जुड़ा होता है। साइड नलियों में से एक द्रव मैनोमीटर से जुड़ी होती है तथा दूसरी जिसमें स्टॉप कॉक C लगी होती है, कम्प्रेसन पम्प से जुड़ी होती है। जब वाल्व V खुलता है तो फ्लाक्स की कम्प्रेस्ड वायु बाहर की वायु के सम्पर्क में आती है।



चित्र 13

सिद्धान्त (Principle)—वाल्व V को बन्द करके फ्लास्क F में कम्प्रेसन पम्प द्वारा वायु कम्प्रेस की जाती है तथा इसके बाद स्टॉप कॉक को बन्द किया जाता है। जब कम्प्रेस्ड वायु का तापमान कमरे के तापमान के बराबर आ जाता है तब माना मैनोमीटर की दोनों भुजाओं में द्रव के स्तरों में अन्तर h_1 है। यदि P वायुमण्डलीय दाब व ρ मैनोमीटर के द्रव का घनत्व है, तो फ्लास्क के अन्दर वायु का दाब

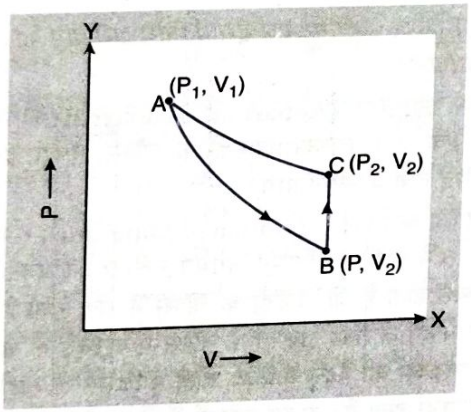
$$P_1 = P + h_1\rho g \quad ...(i)$$

अब वाल्व V को अचानक खोलते हैं तथा बन्द कर देते हैं जिससे फ्लास्क की वायु का रूद्धोष्म प्रसार होता है तथा इसका ताप गिरता है। कुछ समय रुकने के बाद जब वायु का तापमान कमरे के तापमान के बराबर आ जाता है, वायु के दाब में थोड़ी सी वृद्धि दिखाई देती है। तब माना मैनोमीटर की दोनों भुजाओं में द्रव के स्तरों में अन्तर h_2 है, तब फ्लास्क की वायु का दाब

$$P_2 = P + h_2\rho g \quad ...(ii)$$

माना कमरे के ताप तथा दाब P_1 पर वायु का प्रारम्भिक आयतन V_1 है (चित्र 14)। वाल्व V को खोलने पर जब वायु का रूद्धोष्म प्रसार होता है तब इसका दाब वायुमण्डलीय दाब के बराबर होता है लेकिन इसका ताप गिरता है। इस स्थिति में माना वायु का आयतन V_2 है (चित्र 14)। वाल्व V को बन्द करने पर वायु का ताप धीरे-धीरे कमरे के ताप तक बढ़ता है जिसके कारण इसका दाब P से P_2 तक बढ़ता है (चित्र 14)। बिन्दु A व C एक ही ताप (कमरे का ताप) पर हैं अर्थात् समतापी वक्र पर है तथा बिन्दु A व B रूद्धोष्म वक्र पर हैं। अतः

चित्र 14



$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad ...(iii)$$

तथा

$$\frac{P_1}{P} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma} \quad ...(iv)$$

समी. (i) व (ii) से,

$$\frac{P_1}{P} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\gamma} \quad ...(v)$$

दोनों ओर लघुगणक लेकर सरल करने पर,

$$\gamma = \frac{\log_e P_1 - \log_e P}{\log_e P_1 - \log_e P_2} \quad ...(vi)$$

समी. (i) व (ii) से P_1 व P_2 का मान रखने पर,

$$\gamma = \frac{\log_e\left(\frac{1+h_1\rho g}{P}\right)}{\log_e\left(1+\frac{h_1\rho g}{P}\right) - \log_e\left(1+\frac{h_2\rho g}{P}\right)} \quad ...(vii)$$

चूँकि $h_1\rho g << P$ तथा $h_2\rho g << P$ अतः

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

उपर्युक्त सूत्र से वायु का विशिष्ट ऊष्मा अनुपात γ ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले फ्लास्क में सल्फ्यूरिक एसिड की थोड़ी सी मात्रा लेते हैं जिससे वायु की नमी अवशोषित हो जाए तथा इस फ्लास्क को लकड़ी के बॉक्स में रखकर उसके चारों ओर नमदा या लकड़ी का बुरादा भर देते हैं और उपकरण को चित्र 13 के अनुसार व्यवस्थित करते हैं।

(2) अब वाल्व V को बन्द करते हैं तथा स्टॉप कॉक C को खोलकर कम्प्रेसन पम्प की सहायता से वायु को फ्लास्क में तब तक कम्प्रेस करते हैं जब तक कि मैनोमीटर की भुजाओं में द्रव-तलों का अन्तर लगभग 5–6 सेमी. न हो जाए। इसके बाद स्टॉप कॉक को बन्द करते हैं तथा तब तक प्रतीक्षा करते हैं जब तक फ्लास्क में भरी वायु का ताप वायुमण्डलीय ताप के बराबर न हो जाए। इस स्थिति में मैनोमीटर की भुजाओं में भरे द्रव के स्तरों के बीच का अन्तर स्थिर हो जाता है। इस अन्तर h_1 को नोट कर लेते हैं।

(3) अब वाल्व V को खोलकर एकदम बन्द कर देते हैं। फिर थोड़ी देर प्रतीक्षा करते हैं जिससे वायु का ताप वायुमण्डलीय ताप के बराबर हो जाए। इस स्थिति में मैनोमीटर की भुजाओं में भरे द्रव के स्तरों के बीच का अन्तर स्थिर हो जाता है। इस अन्तर h_2 को नोट कर लेते हैं।

(4) प्रयोग विधि (2) व (3) को 5–6 बार दोहराते हैं तथा h_1 व h_2 नोट करते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

क्रमांक	फ्लास्क में वायु कम्प्रेसन के बाद मैनोमीटर पाठ्यांक			वायु के रूद्धोष्म प्रसार के बाद मैनोमीटर का पाठ्यांक		
	बायीं भुजा में द्रव का स्तर *a* (सेमी में)	दायीं भुजा में द्रव का स्तर *b* (सेमी में)	दाबान्तर $h_1 = a \sim b$ (सेमी में)	बायीं भुजा में द्रव का स्तर *c* (सेमी में)	दायीं भुजा में द्रव का स्तर *d* (सेमी में)	दाबान्तर $h_2 = c \sim d$ (सेमी में)
1.	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...	...
6.	...	...	...	...	...	...
			माध्य h_1 = ... सेमी			माध्य h_2 = ... सेमी

गणना (Calculation)—प्रेक्षणों से प्राप्त h_1 व h_2 के मान सूत्र (viii) में रखने पर,

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} = ...$$

परिणाम (Result)— वायु के लिए विशिष्ट ऊष्मा अनुपात γ = ...

प्रामाणिक मान γ = ...

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रयोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100 = ...\%.$$

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) फ्लास्क की वायु नमी मुक्त होनी चाहिए।

(2) मैनोमीटर में प्रयुक्त द्रव कम घनत्व व कम वाष्पदाब वाला होना चाहिए ताकि कम दाबान्तर के लिए भी मैनोमीटर की दोनों भुजाओं के द्रव के स्तरों का अन्तर पर्याप्त रूप से बड़ा हो।

(3) फ्लास्क से वायु का रिसाव नहीं होना चाहिए। अतः स्टॉप कॉक तथा फ्लास्क से जुड़ी सभी नलियाँ वायु अवरुद्ध होनी चाहिए।

(4) फ्लास्क में वायु धीरे-धीरे कम्प्रेस करनी चाहिए अन्यथा मैनोमीटर की भुजाओं से द्रव के बाहर आने की सम्भावना रहती है।

(5) मैनोमीटर का पाठ्यांक तब लेना चाहिए जब उसकी भुजाओं में द्रव के स्तर स्थिर हो जाएँ।

(6) वाल्व V काफी चौड़ा होना चाहिए ताकि इसके खुलते ही फ्लाक्स की वायु का वायुमण्डलीय दाब में अचानक प्रसार बहुत कम समयान्तराल में हो जाए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर— क्लीमेंट एवं डेसोर्म विधि द्वारा वायु का विशिष्ट ऊष्मा अनुपात ज्ञात करना।

प्रश्न 2. विशिष्ट ऊष्मा अनुपात γ क्या होता है ?

उत्तर— स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्मा तथा स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्मा के अनुपात को विशिष्ट ऊष्मा अनुपात γ कहते हैं।

प्रश्न 3. आप अपने प्रयोग में अधिक क्षमता वाला फ्लाक्स क्यों लेते हैं ?

उत्तर— इसके पृष्ठ से विकिरण द्वारा ऊष्मा हानि को कम करने के लिए।

प्रश्न 4. मैनोमीटर में कौन-सा द्रव उपयोग करते हैं ?

उत्तर— इस प्रयोग में मैनोमीटर में कम घनत्व तथा कम वाष्प-दाब वाला द्रव उपयोग करते हैं।

प्रश्न 5. वाल्व के खोलने पर फ्लाक्स की वायु का दाब क्या होता है ?

उत्तर— वाल्व के खोलने पर फ्लाक्स की वायु का दाब वायुमण्डलीय दाब के बराबर हो जाता है।

प्रश्न 6. वाल्व खोलने से पहले फ्लाक्स की वायु का दाब कितना होता है ?

उत्तर— वाल्व खोलने से पहले फ्लाक्स की वायु का दाब वायुमण्डलीय दाब से अधिक होता है।

प्रश्न 7. वाल्व को अचानक खोलने और बन्द करने से फ्लाक्स की वायु में किस प्रकार का परिवर्तन होता है ?

उत्तर— वायु का रूद्धोष्म प्रसार होता है क्योंकि वाल्व को अचानक खोलने और बन्द करने से ना तो ऊष्मा फ्लाक्स की वायु से बाहर जाती है और ना ही बाहर से अन्दर आती है।

प्रश्न 8. वाल्व के खोलने पर, फ्लाक्स की वायु का दाब वायुमण्डलीय दाब के बराबर हो जाता है, लेकिन मैनोमीटर की भुजाओं में द्रव के स्तर वाल्व को अचानक खोलने के बाद बन्द करने पर समान ऊँचाई पर नहीं होते। क्यों ?

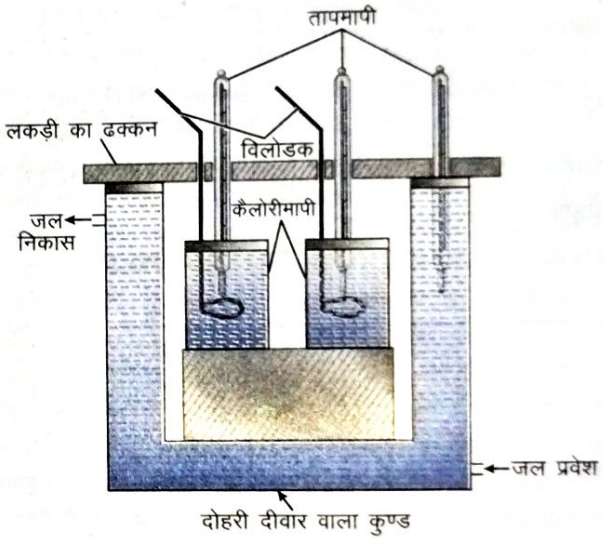
उत्तर— इसका कारण यह है कि वाल्व के बन्द करने पर फ्लाक्स की वायु का ताप धीरे-धीरे कमरे के ताप तक बढ़ता है जिससे उसका दाब बढ़ता है।

प्रयोग संख्या # 08

उद्देश्य (Object)— *न्यूटन के शीतलन नियम विधि द्वारा दिए गये द्रव की*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)— एक दोहरी दीवार वाला कुण्ड जिसमें ठीक एक जैसे दो ताँबे के कैलोरीमापी लगे हों तथा प्रत्येक कैलोरीमापी के बाहरी पृष्ठ पर कालिख पुती हो व प्रत्येक कैलोरीमापी में तापमापी व विलोडक लगा हो, एक अन्य तापमापी, विराम घड़ी तथा भौतिक तुला।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)— प्रयोग में प्रयुक्त दोहरी दीवार वाला कुण्ड चित्र 15 में प्रदर्शित है, जो ताँबा या पीतल से बने दो आयताकार चैम्बर्स से बना होता है। कुण्ड के अन्दर का ताप स्थिर बनाये रखने के लिए चैम्बर्स के बीच (दोहरी दीवार) में ठण्डा पानी प्रवाहित किया जाता है। कुण्ड के अन्दर ठीक एक जैसे दो कैलोरीमापी लगे रहते हैं तथा प्रत्येक कैलोरीमापी के बाहरी पृष्ठ पर कालिख पुती होती है। ये कैलोरीमापी या तो धागों द्वारा कुण्ड के मुँह पर लगे लकड़ी के ढक्कन से लटके रहते हैं या कुचालक स्टैण्ड पर रखे रहते हैं। लकड़ी के ढक्कन में तीन छेद बने होते हैं। प्रत्येक कैलोरीमापी में एक-एक तापमापी व एक-एक विलोडक लकड़ी के ढक्कन में बने छेदों में लगी रबर कॉर्क से होकर लगा रहता है तथा तापमापियों के निचले भाग कैलोरीमापियों के मुँह पर लगी रबर कॉर्क से होकर गुजरते हैं जिससे कैलोरीमापियों को सहारा मिलता है। दोहरी दीवार में प्रवाहित जल के ताप को मापने के लिए एक तापमापी लकड़ी के ढक्कन में बने तीसरे छेद से होकर दोहरी दीवार के बीच में लगा होता है।



चित्र 15

सिद्धान्त (Principle)— किसी वस्तु से ऊष्मा हानि की दर वस्तु के पृष्ठ की प्रकृति, उसके पृष्ठ क्षेत्रफल तथा उसके व आस-पास के वातावरण के तापान्तर पर निर्भर करती है तथा यदि यह तापान्तर बहुत अधिक न हो, तो न्यूटन के शीतलन नियमानुसार वस्तु से ऊष्मा क्षय होने की दर इस तापान्तर के अनुक्रमानुपाती होती है।

अब माना कि दोहरी दीवार वाले कुण्ड में रखे दोनों कैलोरीमापियों में से प्रत्येक का द्रव्यमान m व विशिष्ट ऊष्मा s है, एक कैलोरीमापी में प्रायोगिक द्रव जिसका द्रव्यमान m_1 व विशिष्ट ऊष्मा s_1 है, भरा है तथा दूसरे कैलोरीमापी में ज्ञात विशिष्ट ऊष्मा वाला द्रव जिसका द्रव्यमान m_2 व विशिष्ट ऊष्मा s_2 है, भरा है। दोनों द्रवों के आयतन समान हैं तथा दोनों एक ही ताप θ पर हैं व उनके आस-पास के वातावरण का ताप θ_0 है।

ऊष्मा क्षय के कारण यदि प्रायोगिक द्रव का ताप समय dt में $d\theta$ कम हो जाता है, तो न्यूटन के शीतलन नियमानुसार

$$-(m_1 s_1 + ms)\frac{d\theta}{dt} = k_1(\theta - \theta_0),$$ जहाँ k_1 एक स्थिरांक है।

या $-(m_1s_1 + ms)\dfrac{d\theta}{(\theta - \theta_0)} = k_1 dt$ ...(i)

यदि प्रायोगिक द्रव को ताप θ_1 से θ_2 तक ठण्डा होने में लगा समय t_1 हो तो समी. (i) का समाकलन करने पर,

$$(m_1s_1 + ms)\int_{\theta_1}^{\theta_2}\frac{d\theta}{(\theta - \theta_0)} = k_1 t_1 \quad ...(ii)$$

इसी प्रकार, यदि दूसरे द्रव को ताप θ_1 से θ_2 तक ठण्डा होने में लगा समय t_2 हो, तो

$$(m_2s_2 + ms)\int_{\theta_1}^{\theta_2}\frac{d\theta}{(\theta - \theta_0)} = k_2 t_2 \quad ...(iii)$$

समी. (ii) व (iii) से,

$$\frac{(m_1s_1 + ms)}{(m_2s_2 + ms)} = \frac{k_1 t_1}{k_2 t_2} \quad ...(iv)$$

यदि दोनों द्रव पूर्णरूपेण समान अवस्थाओं (अर्थात् इनके प्रारम्भिक ताप समान, आस-पास के वातावरण का ताप समान, पृष्ठ क्षेत्रफल समान व पृष्ठों की प्रकृति समान) में ठण्डे हो रहे हों, तो

$$k_1 = k_2$$

अत: $$\frac{(m_1s_1 + ms)}{(m_2s_2 + ms)} = \frac{t_1}{t_2}$$

या $$s_1 = \frac{t_1(m_2s_2 - ms)}{t_2 m_1} - \frac{ms}{m_1} \quad ...(v)$$

उपर्युक्त सूत्र से किसी द्रव की विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात की जा सकती है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले भौतिक तुला द्वारा कैलोरीमापियों के द्रव्यमान ज्ञात कर लेते हैं तथा प्रायोगिक द्रव व ज्ञात विशिष्ट ऊष्मा वाले द्रव (जैसे पानी) को एक समान उच्च ताप (जैसे 60°C) तक गर्म करके एक द्रव को एक कैलोरीमापी में व दूसरे द्रव को दूसरे कैलोरीमापी में भर देते हैं। दोनों द्रवों का आयतन समान रखते हैं।

(2) तत्पश्चात् दोनों कैलोरीमापियों को कुचालक स्टैण्ड पर चित्र 15 के अनुसार रख देते हैं तथा दो तापमापियों व दो विलोडकों को लकड़ी के ढक्कन में बने छेदों व कैलोरीमापियों के मुँह पर लगी रबर कॉर्क में से होते हुए इस प्रकार लगाते हैं कि तापमापियों के बल्ब व विलोडक कैलोरीमापी में भरे द्रवों में पूरी तरह डूबे रहें। दोहरी दीवार में प्रवाहित जल के ताप को नोट करने के लिए तीसरा तापमापी यथास्थान पर लगा देते हैं। यहाँ यह भी ध्यान रखते हैं कि कैलोरीमापी कुण्ड की दीवार को स्पर्श न करें।

(3) अब विराम घड़ी की सहायता से तापमापियों के पाठ इस प्रकार नोट करते हैं कि जब विराम घड़ी की सेकण्ड वाली सुई 60 पर होती है तब प्रायोगिक द्रव में डूबे तापमापी का पाठ नोट करते हैं तथा जब सेकण्ड वाली सुई 30 पर होती है तब दूसरे द्रव (पानी) में डूबे तापमापी का पाठ नोट करते हैं। साथ ही द्रवों को विलोडित भी करते रहते हैं। इस प्रक्रिया से प्रत्येक 1 मिनट के अन्तराल पर प्रायोगिक द्रव तथा पानी का ताप प्राप्त होता जाता है। दोनों द्रवों का ताप तब तक नोट करते हैं जब तक कि इनका ताप कमरे के ताप से कुछ ही डिग्री से अधिक रह जाए।

(4) प्रेक्षणों के उपरान्त द्रवों से भरे कैलोरीमापियों के द्रव्यमान भौतिक तुला की सहायता से ज्ञात कर लेते हैं जिससे द्रवों के द्रव्यमान ज्ञात हो जाते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) **प्रायोगिक द्रव तथा पानी के शीतलन के लिए सारणी—**

तापमापियों की अल्पतमांक = ... °C

क्रमांक	समय t (मिनट में)	प्रायोगिक द्रव का ताप (°C में)	पानी का ताप (°C में)	दोहरी दीवार में प्रवाहित जल का ताप θ_0 (°C में)
1.	0	...	...	
2.	$\frac{1}{2}$		...	...
3.	1	...		...
4.	$1\frac{1}{2}$		...	...
5.	2	...		...
6.	...			
7.	...			
8.	...			

(2) पहले खाली कैलोरीमापी का द्रव्यमान m = ... ग्राम

दूसरे खाली कैलोरीमापी का द्रव्यमान m = ... ग्राम

पहला कैलोरीमापी + प्रयोगिक द्रव का द्रव्यमान = ... ग्राम

दूसरा कैलोरीमापी + पानी का द्रव्यमान = ... ग्राम

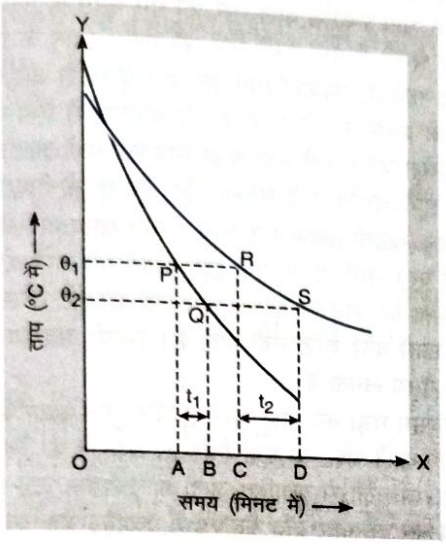
प्रायोगिक द्रव का द्रव्यमान m_1 = ... ग्राम

पानी का द्रव्यमान m_2 = ... ग्राम

गणना एवं ग्राफ (Calculation and Graph)—प्रेक्षणों से प्राप्त प्रायोगिक द्रव व पानी के तापों को Y-अक्ष पर तथा समय t को X-अक्ष पर लेकर, एक ही ग्राफ पेपर दोनों द्रवों के लिए अलग-अलग शीतलन वक्र खींचते हैं जो चित्र 16 की भाँति प्राप्त होते हैं। अब Y-अक्ष पर दो निश्चित ताप θ_1 व θ_2 से X-अक्ष के समान्तर दो रेखाएँ खींचते हैं जो वक्रों को क्रमश: P व Q तथा R व S पर काटती हैं। वक्रों पर स्थित बिन्दु P व Q तथा R व S से Y-अक्ष के समान्तर रेखाएँ खींचते हैं, जो X-अक्ष को क्रमश: A, B, C व D पर काटती हैं। X-अक्ष पर समय AB पहले द्रव (प्रायोगिक द्रव) को ताप θ_1 से θ_2 तक ठण्डा होने में लगे समय t_1 के बराबर होता है तथा समय CD दूसरे द्रव (पानी) को ताप θ_1 से θ_2 तक ठण्डा होने में लगे समय t_2 के बराबर होता है। अत: ग्राफ से t_1 व t_2 का मान ज्ञात कर

लेते हैं। अब प्रेक्षणों से प्राप्त m, m_1 व m_2 को ग्राम में, s व s_2 को कैलोरी/ग्राम °C में तथा ग्राफ से प्राप्त t_1 व t_2 को सेकण्ड में लेकर समी. (v) में रखने पर,

$$s_1 = \frac{t_1(m_2 s_2 + ms)}{t_2 m_2} - \frac{ms}{m_1} = \text{..... कैलोरी/ग्राम °C}$$



चित्र 16

परिणाम (Result)—दिये गये द्रव (.....) की विशिष्ट ऊष्मा s_1 = ... कैलोरी/ग्राम °C

प्रामाणिक मान (दिये गये द्रव के लिए) = ... कैलोरी/ग्राम °C

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोगात्मक मान ~ प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

$$= \ldots \%.$$

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) दोनों कैलोरीमापी ठीक एक जैसे होने चाहिए तथा उनके बाहरी पृष्ठ पर कालिख पुती होनी चाहिए।

(2) दोहरी दीवार वाले कुण्ड में कैलोरीमापियों के आस-पास के वातावरण का ताप नियत रखने के लिए दोहरी दीवार में जल का प्रवाह होता रहना चाहिए।

(3) कैलोरीमापियों का कुण्ड की दीवार से स्पर्श नहीं होना चाहिए।

(4) कैलोरीमापियों में भरे द्रवों के आयतन समान होने चाहिए तथा कैलोरीमापियों में इनको भरते समय इनका ताप एक ही होना चाहिए।

(5) कैलोरीमापियों में भरे द्रवों व उनके आस-पास के वातावरण के बीच तापान्तर बहुत अधिक नहीं होना चाहिए।

(6) कैलोरीमापी अच्छी ऊष्मा चालक धातु से बने होने चाहिए तथा इनकी दीवारें पतली होनी चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—न्यूटन के शीतलन नियम विधि द्वारा दिए गये द्रव की विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात करना।

प्रश्न 2. विशिष्ट ऊष्मा से आप क्या समझते हैं ?

उत्तर—किसी पदार्थ के एकांक द्रव्यमान का ताप 1°C बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा को उस पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा कहते हैं।

प्रश्न 3. विशिष्ट ऊष्मा का मात्रक क्या होता है ?

उत्तर—इसका मात्रक जूल/किग्रा °C या कैलोरी/ग्राम °C होता है।

प्रश्न 4. वस्तु के ठण्डे होने की दर तथा वस्तु से ऊष्मा हानि की दर में क्या अन्तर है ?

उत्तर—वस्तु के ताप में प्रति सेकण्ड होने वाले पतन को वस्तु के ठण्डे होने की दर कहते हैं जबकि वस्तु से प्रति सेकण्ड होने वाले ऊष्मा क्षय को वस्तु से ऊष्मा हानि की दर कहते हैं।

प्रश्न 5. आपके प्रयोग में दोनों द्रवों के लिए इनमें से कौन समान होता है ?

उत्तर—दोनों द्रवों से ऊष्मा हानि की दर समान होती है।

प्रश्न 6. आप अपने प्रयोग में दोनों द्रवों के आयतन समान क्यों लेते हैं ?

उत्तर—जिससे दोनों द्रवों के पृष्ठ क्षेत्रफल समान रहें।

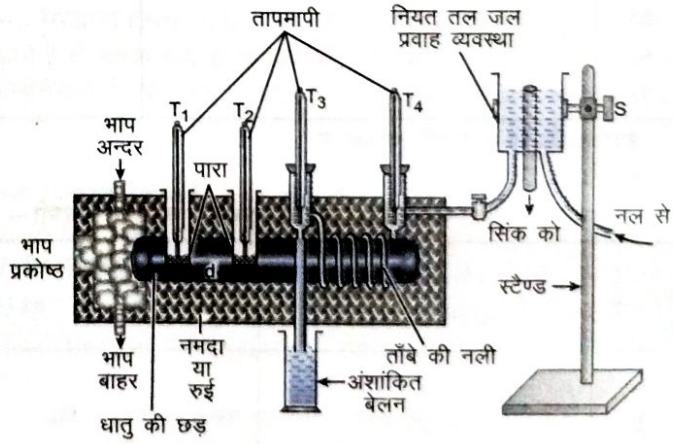
नोट—*इस प्रयोग से सम्बन्धित अन्य प्रश्नों के लिए प्रयोग संख्या 6 के प्रश्नोत्तर भी देखें।*

प्रयोग संख्या # 09

उद्देश्य (Object)—*सर्ल की विधि के द्वारा दी गई धातु की ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—सर्ल का उपकरण, नियत तल जल प्रवाह व्यवस्था, बॉयलर, ऊष्मक (हीटर), चार तापमापी, विराम घड़ी, अंशांकित बेलन, मीटर स्केल तथा वर्नियर कैलीपर्स।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 17 में प्रदर्शित है। इसमें उस धातु जिसका ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना होता है, की एक बेलनाकार छड़ होती है जिसका एक सिरा भाप प्रकोष्ठ के अन्दर फँसा होता है तथा दूसरे सिरे पर ताँबे की एक पतली व खोखली सर्पिलाकार नली लिपटी होती है जिसमें ठण्डा जल प्रवाहित करके इस सिरे को ठण्डा किया जाता है। छड़ में लम्बाई के अनुदिश लगभग 10 सेमी की दूरी पर दो छोटे कोटर बने होते हैं जिनमें दो तापमापी छड़ को छूते हुए लगा दिये जाते हैं। तापमापियों के बल्बों का छड़ से अच्छा ऊष्मीय सम्पर्क कराने के लिए इन कोटरों में थोड़ा-सा पारा डाल दिया जाता है। छड़ के दूसरे सिरे पर लिपटी ताँबे की नली के दोनों सिरों पर दो छोटे कप बने होते हैं जिनमें दो तापमापी लगा दिये जाते हैं। ये तापमापी नली में प्रवेश करने वाले व नली से बाहर निकलने वाले जल का ताप नापते हैं। नली में जल प्रवाहित करने के लिए इसको नियत तल जल प्रवाह व्यवस्था से जोड़ दिया जाता है। छड़ के चारों ओर नमदा अथवा रुई लिपटी रहती है तथा यह लकड़ी के बॉक्स में बन्द रहती है। ताप पढ़ने के लिए चारों तापमापियों की नलियाँ इस बॉक्स से बाहर निकली होती हैं।



चित्र 17

सिद्धान्त (Principle)—जब भाप प्रकोष्ठ में भाप प्रवाहित की जाती है तो ऊष्मा, चालन द्वारा छड़ के, भाप प्रकोष्ठ वाले सिरे से दूसरे सिरे की ओर संचरित

होती है जहाँ ताँबे की नली में प्रवाहित हो रहा जल इसको अवशोषित करता है। स्थायी अवस्था में छड़ के किसी अनुप्रस्थ परिच्छेद से संचरित ऊष्मा, ताँबे की नली में से प्रवाहित जल द्वारा अवशोषित ऊष्मा के बराबर होती है।

यदि छड़ का अनुप्रस्थ परिच्छेद A, ऊष्मा चालकता गुणांक K, स्थायी अवस्था में छड़ की लम्बाई के अनुदिश छड़ पर स्थित दो बिन्दुओं का ताप θ_1 व θ_2 हो तथा इन बिन्दुओं के बीच की दूरी d हो, तो प्रति सेकण्ड में छड़ के किसी अनुप्रस्थ परिच्छेद से संचरित ऊष्मा

$$Q = \frac{KA(\theta_1 - \theta_2)}{d} \quad ...(i)$$

अब यदि स्थायी अवस्था में ताँबे की नली में प्रवेश करने वाले व बाहर निकलने वाले जल का ताप क्रमशः θ_4 व θ_3 हो तथा प्रति सेकण्ड में नली से प्रवाहित जल का द्रव्यमान m हो, तो जल द्वारा अवशोषित ऊष्मा

$$Q = m(\theta_3 - \theta_4) \quad ...(ii)$$

(क्योंकि जल की विशिष्ट ऊष्मा = 1 कैलोरी/ग्राम °C)

अतः $\frac{KA(\theta_1 - \theta_2)}{d} = m(\theta_3 - \theta_4)$

या $$K = \frac{(\theta_3 - \theta_4)d}{A(\theta_1 - \theta_2)} \quad ...(iii)$$

यदि बेलनाकार छड़ की त्रिज्या r है तो $A = \pi r^2$

अतः $$K = \frac{m(\theta_3 - \theta_4)d}{\pi r^2(\theta_1 - \theta_2)} \quad ...(iv)$$

उपर्युक्त सूत्र से K की गणना की जा सकती है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले चारों तापमापियों को चित्रानुसार उनके उपयुक्त स्थानों पर लगा देते हैं तथा बॉयलर में पर्याप्त जल लेकर एक रबर की नली की सहायता से इसको भाप प्रकोष्ठ से जोड़ देते हैं।

(2) छड़ के भाप प्रकोष्ठ वाले सिरे को गर्म करने के लिए भाप प्रकोष्ठ में बॉयलर से भाप भेजते हैं तथा दूसरे सिरे को ठण्डा रखने के लिए इसके ऊपर लिपटी ताँबे की नली में, इसको नियत तल जल कुण्ड से जोड़कर जल प्रवाहित करते हैं। जल के प्रवाह को पिच-कॉक की सहायता से ऐसा समायोजित करते हैं कि नली में प्रवेश करने वाले तथा बाहर निकलने वाले जल के तापों में अन्तर मापने योग्य हो सके अर्थात् नली से जल बूँद-बूँद करके निकले।

(3) जब तक स्थायी अवस्था न आये, नियत समय अन्तराल (माना 5 - 5 मिनट के अन्तर पर) चारों तापमापियों द्वारा बताये गये तापों को नोट करते जाते हैं। स्थायी अवस्था आ जाने पर प्रत्येक तापमापी का पाठ स्थिर हो जाता है तथा समय के साथ उनमें कोई वृद्धि नहीं होती है। स्थायी अवस्था आने में लगभग आधा घण्टे का समय लगता है।

(4) अब विराम घड़ी को चालू करते हैं और तुरन्त अंशांकित बेलन में नली से बाहर निकलने वाले जल को एक निश्चित समय t के लिए एकत्रित करते हैं जिससे समय t में नली से प्रवाहित जल का द्रव्यमान ज्ञात हो जाता है। इस क्रिया को 3 – 4 बार दुहराकर प्रति सेकण्ड में प्रवाहित जल का औसत द्रव्यमान m ज्ञात कर लेते हैं।

(5) अब छड़ पर लम्बाई के अनुदिश लगे दोनों तापमापियों के बीच की दूरी मीटर स्केल से नाप लेते हैं तथा वर्नियर कैलीपर्स की सहायता से छड़ का व्यास कई स्थानों पर तथा प्रत्येक स्थान पर दो परस्पर लम्बवत् दिशाओं में ज्ञात करके इसका औसत मान ज्ञात कर लेते हैं जिसका आधा करने से छड़ की त्रिज्या ज्ञात हो जाती है।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) **स्थायी अवस्था प्राप्त करने के लिए सारणी—**

क्रमांक	समय (मिनट में)	छड़ की लम्बाई के अनुदिश लगे पहले तापमापी का पाठ θ_1 (°C में)	छड़ की लम्बाई के अनुदिश लगे दूसरे तापमापी का पाठ θ_2 (°C में)	ताँबे की नली से बाहर निकलने वाले जल का ताप (तीसरे तापमापी का पाठ) θ_3 (°C में)	ताँबे की नली में प्रवेश करने वाले जल का ताप (चौथे तापमापी का पाठ) θ_4 (°C में)
1.	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...
5.	...	...	...	...	...
6.	...	...	...	...	...
7.	...	...	...	...	...

उपर्युक्त प्रेक्षणों से स्थायी अवस्था में

θ_1 = ..., θ_2 = ..., θ_3 = ..., θ_4 = ...

(2) **स्थायी अवस्था में एकत्रित जल के द्रव्यमान के लिए सारणी—**

क्रमांक	समय (सेकण्ड में)	कुल एकत्रित जल का आयतन = जल का द्रव्यमान M (ग्राम में)	प्रति सेकण्ड एकत्रित जल का द्रव्यमान $m = \frac{M}{t}$ (ग्राम/सेकण्ड में)
1.	...	...	...
2.	...	...	...
3.	...	...	...
4.	...	...	...

(3) छड़ पर लम्बाई के अनुदिश लगे दोनों तापमापियों के बीच की दूरी d = ... सेमी।

(4) छड़ की त्रिज्या r = ... सेमी।

गणना (Calculation)—प्रेक्षणों से प्राप्त θ_1, θ_2, θ_3 व θ_4 को °C में, m को ग्राम/सेकण्ड में तथा d व r को सेमी में लेकर समी. (iv) में रखने पर,

$$K = \frac{m(\theta_3 - \theta_4)\, d}{\pi r^2 (\theta_1 - \theta_2)} = \text{..... कैलोरी/सेमी सेकण्ड °C}$$

परिणाम (Result)—दी गयी छड़ के पदार्थ (ताँबे) का ऊष्मा चालकता गुणांक K = ... कैलोरी/सेमी सेकण्ड °C

प्रामाणिक मान K = ... कैलोरी/सेमी सेकण्ड °C

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोगात्मक मान} \sim \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ..... %.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) प्रयोग प्रारम्भ करने से पूर्व यह सुनिश्चित कर लेना चाहिए कि बॉयलर में भाप बनने के लिए पर्याप्त जल हो।

(2) नियत तल जल कुण्ड से ताँबे की नली में जल प्रवाह की दर धीमी, अविरत तथा एकसमान होनी चाहिए।

(3) छड़ की लम्बाई व त्रिज्या, उसे गर्म करने से पहले ही नाप लेनी चाहिए।

(4) तापमापी सुग्राही होने चाहिए तथा प्रत्येक तापमापी का पाठ पूर्णतः स्थायी अवस्था आने के बाद ही नोट करना चाहिए।

(5) स्थायी अवस्था आने के बाद जल प्रवाह की दर (प्रति सेकण्ड प्रवाहित जल का द्रव्यमान) ज्ञात करने हेतु कई पाठ्यांक लेने चाहिए। तत्पश्चात् औसत मान ज्ञात करना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—सर्ल की विधि के द्वारा दी गई धातु का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. इस प्रयोग में ऊष्मा का संचरण किस विधि के द्वारा होता है ?

उत्तर—चालन विधि द्वारा।

प्रश्न 3. प्रयोगात्मक छड़ को फैल्ट या रुई से ढक कर क्यों रखते हैं ?

उत्तर—फैल्ट या रुई कुचालक होने के कारण छड़ से ऊष्मा के त्रिज्यीय प्रवाह को रोकती है।

प्रश्न 4. आप ऊष्मा के त्रिज्यीय प्रवाह को क्यों रोकना चाहते हो ?

उत्तर—क्योंकि प्रयोग में प्रयुक्त सूत्र छड़ में ऊष्मा का प्रवाह उसके अनुप्रस्थ परिच्छेद के लम्बवत् होने पर आधारित है।

प्रश्न 5. इस प्रयोग में प्रयोगात्मक छड़ मोटी क्यों लेते हैं ?

उत्तर—छड़ मोटी लेने से उसके वक्र पृष्ठ से ऊष्मा हानि, छड़ में उसके अनुप्रस्थ परिच्छेद के लम्बवत् ऊष्मा संचरण की तुलना में काफी कम हो जाती है।

प्रश्न 6. छड़ का परिच्छेद वृत्ताकार लेने का क्या कारण है ?

उत्तर—किसी दी हुई परिधि के लिए वृत्ताकार परिच्छेद का क्षेत्रफल अधिकतम होता है जिससे छड़ में ऊष्मा का संचरण अधिक मात्रा में होता है।

प्रश्न 7. आप अपने प्रयोग में छड़ में तापमापी लगाने के लिए बने छिद्रों में पारा क्यों डालते हैं ?

उत्तर—जिससे कि तापमापी के बल्ब का छड़ से अच्छा ऊष्मीय सम्पर्क बन सके।

प्रश्न 8. क्या इस विधि द्वारा कुचालक छड़ का ऊष्मा-चालकता गुणांक ... है ?

उत्तर—नहीं, क्योंकि कुचालकों की ऊष्मा चालकता बहुत कम होती है जिसके कारण इसके सिरों के बीच ऊष्मा प्रवाह की दर बहुत कम होगी।

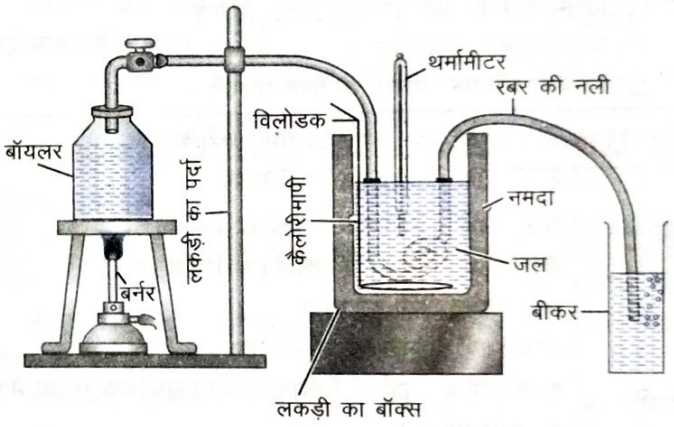
नोट—इस प्रयोग से सम्बन्धित अन्य प्रश्नों के लिए प्रयोग संख्या 5 के प्रश्नोत्तर भी देखें।

प्रयोग संख्या # 10

उद्देश्य (Object)—*कैलोरीमापी की सहायता से रबर का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—लगभग 1 मीटर लम्बी रबर की खोखली नली, विलोडक सहित कैलोरीमापी, बॉयलर, स्टैण्ड, बर्नर, थर्मामीटर, अंशांकित बेलन, विराम घड़ी, भौतिक तुला तथा बाट बॉक्स, चल सूक्ष्मदर्शी व लकड़ी का पर्दा।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 18 में प्रदर्शित है। इसमें दी गयी रबर की खोखली नली की कुण्डली बनाकर एक कैलोरीमापी जिसमें 2/3 भाग तक जल भरा होता है, में इस प्रकार डुबा देते हैं कि नली के दोनों सिरे बाहर निकले रहें। कैलोरीमापी एक लकड़ी के बॉक्स में रखा होता है जिसमें ऊष्मा क्षय को रोकने के लिए रूई या नमदा भरा होता है। नली का एक सिरा बॉयलर से तथा दूसरा सिरा जल से भरे बीकर में डुबा देते हैं। कैलोरीमापी के जल को विलोडित करने के लिए विलोडक तथा जल का ताप मापने के लिए एक थर्मामीटर लगा देते हैं। कैलोरीमापी तथा बॉयलर के बीच लकड़ी का एक पर्दा लगा दिया जाता है, जिससे कि बॉयलर से सीधे ऊष्मा कैलोरीमापी में न पहुँच पाये।



चित्र 18

सिद्धान्त (Principle)—जब बॉयलर से रबर की नली में भाप प्रवाहित करते हैं तो चालन द्वारा ऊष्मा रबर की कुण्डली की दीवारों से संचरित होकर कैलोरीमापी में भरे जल में जाती है जिससे जल का ताप बढ़ता है। माना कैलोरीमापी के जल में कुण्डली के रूप में डूबी रबर की नली की लम्बाई l तथा नली की आन्तरिक व बाहरी त्रिज्याएँ क्रमशः r_1 व r_2 हैं। माना रबर की नली से होकर t समय के लिए वाष्प की स्थिर धारा प्रवाहित की जाती है। अब यदि नली के आन्तरिक तथा बाहरी पृष्ठों के ताप क्रमशः θ_3 तथा θ_4 हों, तो नली से त्रिज्यीय रूप में प्रवाहित ऊष्मा

$$\theta = \frac{2\pi K l(\theta_3 - \theta_4)t}{2{\cdot}3026 \log_{10}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad \text{...(i)}$$

जहाँ K रबर का ऊष्मा चालकता गुणांक है।

यदि कैलोरीमापी के जल का प्रारम्भिक व अन्तिम ताप क्रमशः θ_1 व θ_2 हो तथा कैलोरीमापी का जल तुल्यांक W व उसमें भरे जल का द्रव्यमान m हो, तो कैलोरीमापी तथा जल द्वारा ली गयी ऊष्मा

$$\theta' = (m + W)(\theta_2 - \theta_1) \quad \text{...(ii)}$$

यदि ऊष्मा क्षय नगण्य हो, तो

रबर की नली से प्रवाहित ऊष्मा = कैलोरीमापी तथा जल द्वारा ली गयी ऊष्मा

अत: $\frac{2\pi K l(\theta_3 - \theta_4)t}{2{\cdot}3026 \log_{10}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = (m + W)(\theta_2 - \theta_1)$

या $K = \frac{2{\cdot}3026 \log_{10}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \times (m + W)(\theta_2 - \theta_1)}{2\pi l t(\theta_3 - \theta_4)}$ ...(iii)

स्थायी अवस्था में, नली के अन्दर का ताप θ_3 भाप के ताप $\theta_{भाप}$ के बराबर होगा तथा नली के बाहरी पृष्ठ का ताप θ_4 कैलोरीमापी के औसत ताप $\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ के बराबर माना जा सकता है। यदि कैलोरीमापी का द्रव्यमान M व विशिष्ट ऊष्मा S है, तब W = MS

अत: $K = \frac{2{\cdot}3026 \log_{10}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \times (MS + m)(\theta_2 - \theta_1)}{2\pi l t\left[\theta_{भाप} - \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)\right]}$ ...(iv)

उपर्युक्त सूत्र से दी गयी रबर की नली का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—(1) सबसे पहले लगभग 1000 c.c. की क्षमता का कैलोरीमापी लेते हैं तथा इसका विलोडक सहित द्रव्यमान भौतिक तुला की सहायता से ज्ञात कर लेते हैं। इस कैलोरीमापी में 2/3 भाग के लगभग जल भरकर पुन: द्रव्यमान ज्ञात करते हैं दोनों द्रव्यमानों का अन्तर ज्ञात करके कैलोरीमापी में भरे जल का द्रव्यमान ज्ञात कर लेते हैं।

(2) थर्मामीटर की सहायता से कैलोरीमापी में लिये गये जल का प्रारम्भिक ताप θ_1 ज्ञात कर लेते हैं।

(3) अब चित्रानुसार उपकरण को व्यवस्थित करते हैं। दी गयी रबर की नली को कुण्डली बनाकर कैलोरीमापी में भरे जल में इस प्रकार डुबोते हैं कि नली के दोनों सिरे जल से बाहर रहें। नली जिस स्थान पर जल में प्रवेश करे और जिस स्थान पर जल से बाहर आये वहाँ पर सूती धागा बाँधते हैं। नली के एक सिरे को भाप के बॉयलर से जोड़ देते हैं तथा इसके दूसरे सिरे को जल से भरे बीकर में डुबो देते हैं जिससे बाहर निकलने वाली भाप जल में संघनित होती रहे।

(4) अब रबर की नली में भाप की स्थिर धारा प्रवाहित करते हैं और तभी विराम घड़ी चालू कर देते हैं। भाप को तब तक प्रवाहित करते हैं जब तक कि जल का ताप 15 – 20°C तक न बढ़ जाए। इस दौरान जल को विलोडक से लगातार विलोडित करते रहते हैं। विराम घड़ी से भाप प्रवाहित होने का समय t तथा थर्मामीटर से जल का अन्तिम ताप θ_2 ज्ञात कर लेते हैं।

(5) बैरोमीटर की सहायता से वायुमण्डलीय दाब ज्ञात करके भौतिक स्थिरांकों की सारणी से इस दाब के संगत भाप का ताप ज्ञात कर लेते हैं।

(6) मीटर स्केल की सहायता से जल में डुबोई गयी रबर नली की लम्बाई (दोनों धागों के बीच नली की लम्बाई) ज्ञात कर लेते हैं।

(7) चल सूक्ष्मदर्शी की सहायता से रबर की नली की बाह्य तथा आन्तरिक त्रिज्याओं का मान ज्ञात कर लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) विराम घड़ी का अल्पतमांक = ... सेकण्ड

(2) थर्मामीटर का अल्पतमांक = ... °C

(3) **विभिन्न भौतिक राशियों के लिए सारणी**—

क्रमांक	मापी गयी भौतिक राशि	मान
1.	कैलोरीमापी + विलोडक का द्रव्यमान	M = ... ग्राम
2.	कैलोरीमापी + विलोडक + जल का द्रव्यमान	M′ = ... ग्राम
3.	कैलोरीमापी में लिए गये जल का प्रारम्भिक ताप	θ_1 = ... °C
4.	भाप प्रवाहित करने का समय	t = ... सेकण्ड
5.	कैलोरीमापी के जल का अन्तिम ताप	θ_2 = ... °C
6.	कैलोरीमापी के पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा (प्रामाणिक सारणी से)	s = ... कैलोरी/ग्राम °C
7.	वायुमण्डलीय दाब	P = ... सेमी (पारा)
8.	भाप का ताप (प्रामाणिक सारणी से)	$\theta_{भाप}$ = ... °C
9.	जल में डूबी हुई रबर की नली की लम्बाई	l = ... सेमी

(4) चल सूक्ष्मदर्शी का अल्पतमांक = ... सेमी

(5) **नली के आन्तरिक तथा बाह्य त्रिज्याओं के लिए सारणी**—

क्रमांक	पाठ्यांक की दिशा	बायीं ओर का पाठ्यांक		दायीं ओर का पाठ्यांक		आन्तरिक त्रिज्या $r_1 = \frac{1}{2}(b - c)$	बाह्य त्रिज्या $r_2 = \frac{1}{2}(a - d)$
		बाह्य पृष्ठ a (सेमी में)	आन्तरिक पृष्ठ b (सेमी में)	आन्तरिक पृष्ठ c (सेमी में)	बाह्य पृष्ठ d (सेमी में)		
1.	एक दिशा में	...	...	...	...	...	...
2.		...	...	...	...	...	...
3.		...	...	...	...	...	...
1.	लम्बवत् दिशा में	...	...	...	...	...	...
2.		...	...	...	...	...	...
3.		...	...	...	...	...	...
						माध्य r_1 = ... सेमी	माध्य r_2 = ... सेमी

गणना (Calculation)—उपर्युक्त प्रेक्षणों से,

कैलोरीमापी में लिए गये जल का द्रव्यमान $m = M' - M =$ ..... ग्राम

कैलोरीमापी का जल तुल्यांक $W = Ms =$ ..... ग्राम

m व W को ग्राम में तथा प्रेक्षणों से प्राप्त θ_1, θ_2 व $\theta_{भाप}$ के मानों को °C में, l को सेकण्ड में तथा l, r_1 व r_2 के मानों को सेमी में लेकर सूत्र (iv) में रखने पर,

$$K = \frac{2{\cdot}3026 \log_{10}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \times (Ms + m)(\theta_2 - \theta_1)}{2\pi lt\left[\theta_{भाप} - \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)\right]}$$

= ..... कैलोरी/सेकण्ड सेमी °C

परिणाम (Result)—दी गयी रबर (नली के रूप में) का ऊष्मा चालकता गुणांक K = ... कैलोरी सेकण्ड $^{-1}$ सेमी$^{-1}$ °C^{-1}

प्रामाणिक मान K = ... कैलोरी सेकण्ड$^{-1}$ सेमी$^{-1}$ °C^{-1}

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रायोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ..... %.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) रबर की नली की मोटाई एकसमान होनी चाहिए।

(2) कैलोरीमापी अधिक धारिता का होना चाहिए ताकि उसमें रबर की नली की अधिक लम्बाई डुबाई जा सके।

(3) रबर की नली से होकर तब तक भाप प्रवाहित करनी चाहिए जब तक कि कैलोरीमापी के जल का ताप लगभग 10°C न बढ़ जाए।

(4) प्रयोग के दौरान कहीं से भी भाप बाहर लीक नहीं होनी चाहिए अन्यथा नली के बाहर वातावरण का ताप बदल जाएगा।

(5) कैलोरीमापी पूर्णत: कुचालक पदार्थ (रुई या नमदा आदि) से ढका रहना चाहिए ताकि इससे ऊष्मा क्षय न हो।

(6) बॉयलर तथा कैलोरीमापी के बीच लकड़ी का पर्दा रख देना चाहिए ताकि बॉयलर से सीधी ऊष्मा कैलोरीमापी पर न पहुँच पाए।

(7) रबर की नली की आन्तरिक व बाह्य त्रिज्याएँ बहुत यथार्तता से मापनी चाहिए।

(8) कैलोरीमापी के जल में डूबी हुई रबर की नली की लम्बाई सावधानीपूर्वक मापनी चाहिए, नली से बँधे सूती धागे के दोनों छल्ले जल के पृष्ठ से स्पर्श होने चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—दी हुई रबर (नली के रूप में) की ऊष्मा चालकता ज्ञात करना।

प्रश्न 2. प्रयोग में प्रयुक्त रबर की नली कैसी होनी चाहिए ?

उत्तर—रबर की नली लम्बी, खोखली तथा एकसमान मोटाई की दीवार वाली होनी चाहिए।

प्रश्न 3. रबर की नली की मोटाई एक समान क्यों होनी चाहिए ?

उत्तर—जिससे कि नली की दीवारों से होकर चालन द्वारा एकसमान ऊष्मा संचरित हो तथा बाह्य त्रिज्या व आन्तरिक त्रिज्या का अनुपात नली की सम्पूर्ण लम्बाई के लिए नियत रहे।

प्रश्न 4. आप इतनी लम्बी व पतली रबर की नली क्यों लेते हो ?

उत्तर—पतली व लम्बी नली लेने से इसकी दीवारों से होकर प्रवाहित ऊष्मा की मात्रा काफी अधिक होती है, जिसके कारण मापा जा सकने वाला तापान्तर प्राप्त हो जाता है।

प्रश्न 5. आप अपने प्रयोग में अधिक क्षमता वाला कैलोरीमापी क्यों लेते हैं ?

उत्तर—जिससे कि कैलोरीमापी के जल में नली की अधिक-से-अधिक लम्बाई डुबायी जा सके तथा वांछित समय तक भाप प्रवाहित करने पर भी ताप अधिक नहीं बढ़े।

प्रश्न 6. आप अपने प्रयोग में कैलोरीमापी के जल का ताप 20°C से अधिक नहीं बढ़ने देते क्यों ?

उत्तर—क्योंकि जल का ताप कमरे के ताप से 20°C से अधिक बढ़ने पर विकिरण द्वारा ऊष्मा की हानि अधिक होगी जोकि अवांछित है।

प्रश्न 7. क्या इस प्रयोग में होने वाली किसी त्रुटि को आप जानते हो ?

उत्तर—हाँ, इस प्रयोग के सिद्धान्त में यह माना गया है कि नली के बाह्य पृष्ठ का ताप नियत रहता है जबकि प्रायोगिक रूप से इसका ताप धीरे-धीरे बढ़ता है।

प्रश्न 8. क्या यह त्रुटि दूर की जा सकती है ?

उत्तर—रबर की नली के बाह्य पृष्ठ के ताप को, कैलोरीमापी में लिए गये जल के प्रारम्भिक व अन्तिम ताप के औसत मान के बराबर लेकर इस त्रुटि को काफी हद तक दूर किया जा सकता है।

प्रश्न 9. रबर की नली से बाहर निकलने वाली भाप को जल से भरे बीकर में संघनित क्यों करते हैं ?

उत्तर—ऐसा न करने से रबर की नली से निकलने वाली भाप कैलोरीमापी के आस-पास वातावरण में फैल जाएगी तथा उसके ताप को प्रभावित कर देगी।

प्रश्न 10. क्या आप रबर का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात करने की कोई अन्य विधि जानते हो ?

उत्तर—हाँ, यदि रबर की चकती दी हो तो रबर का ऊष्मा चालकता गुणांक ली की चकती विधि द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।

नोट—इस प्रयोग से सम्बन्धित अन्य प्रश्नों के लिए प्रयोग संख्या 5 व 9 के प्रश्नोत्तर भी देखें।

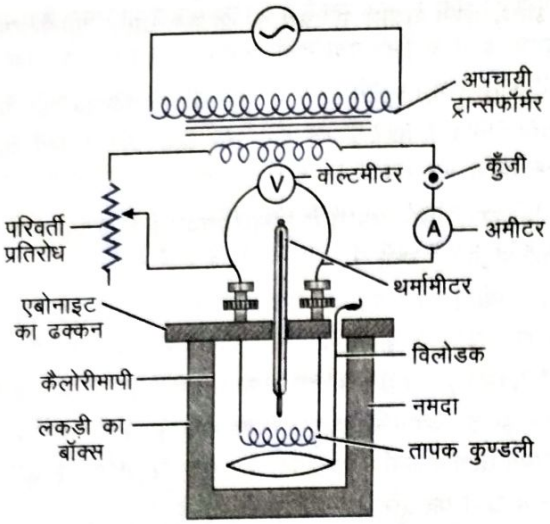
प्रयोग संख्या # 11

उद्देश्य (Object)—*जूल कैलोरीमापी का उपयोग करके ऊष्मा के यान्त्रिक तुल्यांक (J) का निर्धारण करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—जूल कैलोरीमापी, अपचायी ट्रान्सफॉर्मर, परिवर्ती प्रतिरोध, ए.सी. अमीटर, ए.सी. वोल्टमीटर, थर्मामीटर, विराम घड़ी, भौतिक तुला, बाट बाक्स, प्लग कुन्जी तथा संयोजक तार।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 19 में प्रदर्शित है। इसमें ताँबे के एक कैलोरीमापी को लकड़ी के बॉक्स में, चारों ओर से रुई, कार्क आदि कुचालक पदार्थ लगाकर रखा जाता है। बॉक्स के मुँह पर एबोनाइट का ढक्कन लगा होता है, जिसमें दो सम्बन्धन पेच लगे होते हैं तथा दो छिद्र होते हैं, जिसमें से एक छिद्र में थर्मामीटर लगा दिया जाता है व दूसरे छिद्र में विलोडक लगा दिया जाता है। सम्बन्धन पेचों का सम्बन्ध ताँबे के दो मोटे तारों से होता है। इन तारों के बीच नाइक्रोम तार की कुण्डली लगी रहती है। कुण्डली में धारा प्रवाहित करने के लिए एक अपचायी ट्रान्सफॉर्मर, परिवर्ती प्रतिरोध, अमीटर व वोल्टमीटर का उपयोग करके विद्युत परिपथ चित्रानुसार तैयार कर लिया जाता है।

सिद्धान्त (Principle)—जब कुण्डली में धारा प्रवाहित की जाती है, तो उससे ऊष्मा उत्पन्न होती है। यह ऊष्मा कैलोरीमापी में लिये गये जल द्वारा अवशोषित की जाती है जिससे उसका ताप बढ़ता है।



चित्र 19

माना कुण्डली के सिरों पर विभवान्तर V लगाने पर उसमें धारा I प्रवाहित होती है। यदि धारा t समय के लिए प्रवाहित होती है तब कुण्डली से उत्पन्न ऊष्मा

$$H = VIt \text{ जूल}$$

या $$H = \frac{VIt}{J} \text{ कैलोरी} \quad ...(i)$$

जहाँ, J एक नियतांक है जिसे ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक कहते हैं।

यदि कैलोरीमापी में लिये गये जल का ताप, ऊष्मा अवशोषण के कारण उसके प्रारम्भिक ताप θ_1 से बढ़कर θ_2 हो जाता है, तो कैलोरीमापी तथा उसमें लिये गये जल द्वारा अवशोषित ऊष्मा

$$H = (Ms + m)(\theta_2 - \theta_1) \quad ...(ii)$$

जहाँ, M विलोडक सहित कैलोरीमापी का द्रव्यमान, m कैलोरीमापी में लिए गये जल का द्रव्यमान तथा s कैलोरीमापी के पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा है।

यदि ऊष्मा क्षय नगण्य हो, तो

कुण्डली से उत्पन्न ऊष्मा = कैलोरीमापी तथा जल द्वारा अवशोषित ऊष्मा

अत: $$(Ms + m)(\theta_2 - \theta_1) = \frac{VIt}{J} \quad ...(iii)$$

या $$J = \frac{VIt}{(Ms + m)(\theta_2 - \theta_1)} \quad ...(iv)$$

उपर्युक्त सूत्र से ऊष्मा के यांत्रिक तुल्यांक J का मान ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले कैलोरीमापी का विलोडक सहित द्रव्यमान भौतिक तुला की सहायता से ज्ञात कर लेते हैं। अब कैलोरीमापी में इतना जल भरते हैं कि कुण्डली इसमें पूर्णत: डूबी रहे। तत्पश्चात् जल से भरे कैलोरीमापी का विलोडक सहित द्रव्यमान पुन: भौतिक तुला की सहायता से ज्ञात कर लेते हैं। दोनों द्रव्यमानों का अन्तर ज्ञात करके कैलोरीमापी में भरे जल का द्रव्यमान ज्ञात कर लेते हैं।

(2) थर्मामीटर की सहायता से कैलोरीमापी में लिये गये जल का प्रारम्भिक ताप θ_1 ज्ञात कर लेते हैं।

(3) अब चित्रानुसार विद्युत परिपथ तैयार करते हैं तथा कुंजी में प्लग लगाकर परिवर्ती प्रतिरोध की सहायता से परिपथ में विद्युत धारा इस प्रकार समंजित करते हैं कि अमीटर का पाठ 1·5 या 2·0 ऐम्पियर हो तथा साथ ही विराम घड़ी चला देते हैं।

(4) कैलोरीमापी के जल को विलोडक से विलोडित करते रहते हैं तथा परिपथ में तब तक धारा प्रवाहित करते हैं जब तक कि जल का ताप लगभग 5 – 6°C न बढ़ जाए।

(5) जल का ताप 5 – 6°C बढ़ जाने की स्थिति में वोल्टमीटर व अमीटर के पाठ पढ़ लेते हैं। फिर कुंजी में से प्लग निकालते ही जल का अन्तिम ताप θ_2' पढ़ लेते हैं और विराम घड़ी से धारा प्रवाहित करने का समय t ज्ञात कर लेते हैं। धारा प्रवाहित होने के दौरान जल को विलोडित करते रहते हैं तथा परिवर्ती प्रतिरोध की सहायता से वोल्टमीटर व अमीटर के पाठ्यांक स्थिर रखते हैं।

(6) अब कैलोरीमापी के जल को उतने ही समय तक ठण्डा होने देते हैं जितने समय तक धारा प्रवाहित की जाती है। ठण्डा होने के दौरान भी जल को विलोडित करते रहते हैं। थर्मामीटर से ताप θ_2'' पढ़ लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) विराम घड़ी का अल्पतमांक = ... सेकण्ड

(2) थर्मामीटर का अल्पतमांक = ... °C

(3) वोल्टमीटर का अल्पतमांक = ... वोल्ट

(4) अमीटर का अल्पतमांक = ... ऐम्पियर

(5) **विभिन्न भौतिक राशियों के लिए सारणी**—

क्र.	मापी गयी भौतिक राशि	मान
1.	कैलोरीमापी + विलोडक का द्रव्यमान	M = ... ग्राम
2.	कैलोरीमापी + विलोडक + जल का द्रव्यमान	M′ = ... ग्राम
3.	कैलोरीमापी में लिए गये जल का प्रारम्भिक ताप	θ_1 = ... °C
4.	अमीटर का पाठयांक	I = ... ऐम्पियर
5.	वोल्टमीटर का पाठयांक	V = ... वोल्ट
6.	विद्युत धारा प्रवाहित करने का समय	t = ... सेकण्ड
7.	जल का अन्तिम ताप	θ_2' = ... °C
8.	कैलोरीमापी के पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा (प्रामाणिक सारणी से)	s = ... कैलोरी/ग्राम °C
9.	t सेकण्ड तक ठण्डा होने के बाद जल का ताप	θ_2'' = ... °C

गणना (Calculation)—उपर्युक्त प्रेक्षणों से,

कैलोरीमापी में लिए गये जल का द्रव्यमान $m = M' - M$ = ... ग्राम

विकिरण द्वारा ऊष्मा हानि में ताप पतन = $\theta_2' - \theta_2''$ = ... °C

विकिरण संशोधन के बाद जल का अन्तिम ताप

$$\theta_2 = \theta_2' + \frac{\theta_2' - \theta_2''}{2} = ... °C$$

m का मान ग्राम में, θ_2 का मान °C में तथा प्रेक्षणों से प्राप्त V का मान वोल्ट में, I का मान ऐम्पियर में, θ_1 का मान °C में, s का मान कैलोरी/ग्राम °C में तथा t का मान सेकण्ड में लेकर सूत्र (iv) में रखने पर,

$$J = \frac{VIt}{(Ms + m)(\theta_2 - \theta_1)} = ... \text{ जूल/कैलोरी}$$

परिणाम (Result)—प्रयोग से प्राप्त ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक

J = ... जूल/कैलोरी

प्रामाणिक मान J = ... जूल/कैलोरी

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रयोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ..... %.

सावधानियाँ (Precautions)—(1) प्रेक्षण लेते समय कुण्डली में प्रवाहित धारा का मान नियत रहना चाहिए।

(2) कुण्डली में धारा प्रवाहित होने के दौरान, जल को विलोडक द्वारा लगातार विलोडित करते रहना चाहिए।

(3) कुण्डली कैलोरीमापी के जल में पूर्णत: डूबी रहनी चाहिए तथा यह कैलोरीमापी की दीवार या तल से स्पर्श नहीं करनी चाहिए।

(4) थर्मामीटर सुग्राही होना चाहिए तथा इसका बल्ब जल में इस प्रकार डूबा रहना चाहिए कि वह कुण्डली व कैलोरीमापी की दीवार को स्पर्श न करे।

(5) जल का ताप 5 – 6°C से अधिक नहीं बढ़ने देना चाहिए, अन्यथा वाष्पन से जल का द्रव्यमान बदल जाएगा।

(6) कैलोरीमापी का बाह्य पृष्ठ चमकीला होना चाहिए जिससे विकिरण द्वारा ऊष्मा की हानि न हो पाए। चालन द्वारा ऊष्मा की हानि को रोकने के लिए लकड़ी के बॉक्स में रखे कैलोरीमापी के चारों ओर कुचालक पदार्थ जैसे रूई आदि भरी होनी चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर– जूल कैलोरीमापी का उपयोग करके ऊष्मा के यान्त्रिक तुल्यांक का निर्धारण करना।

प्रश्न 2. आपका प्रयोग विद्युत धारा के किस प्रभाव पर आधारित है ?

उत्तर– यह प्रयोग विद्युत धारा के ऊष्मीय प्रभाव पर आधारित है।

प्रश्न 3. विद्युत धारा के ऊष्मीय प्रभाव से आप क्या समझते हो ?

उत्तर– जब किसी चालक तार से होकर विद्युत धारा प्रवाहित होती है, तो तार गर्म हो जाता है। इस घटना को ही धारा का ऊष्मीय प्रभाव कहते हैं।

प्रश्न 4. आपका प्रयोग किस भौतिक राशि के संरक्षण सिद्धान्त पर आधारित है ?

उत्तर– यह प्रयोग ऊर्जा संरक्षण के सिद्धान्त पर आधारित है।

प्रश्न 5. इस प्रयोग में तापक कुण्डली नाइक्रोम की बनी होती है। क्यों ?

उत्तर– क्योंकि नाइक्रोम की प्रतिरोधकता तथा गलनांक दोनों उच्च होते हैं।

प्रश्न 6. कैलोरीमापी के बाहरी पृष्ठ को चमकीला क्यों रखते हैं ?

उत्तर– जिससे कि विकिरण द्वारा ऊष्मा की हानि न हो पाए क्योंकि इस प्रयोग में हम मानते हैं कि धारा प्रवाहित होने के कारण तापक कुण्डली से उत्पन्न ऊष्मा पूरी तरह से कैलोरीमापी तथा उसमें भरे पानी द्वारा अवशोषित कर ली जाती है।

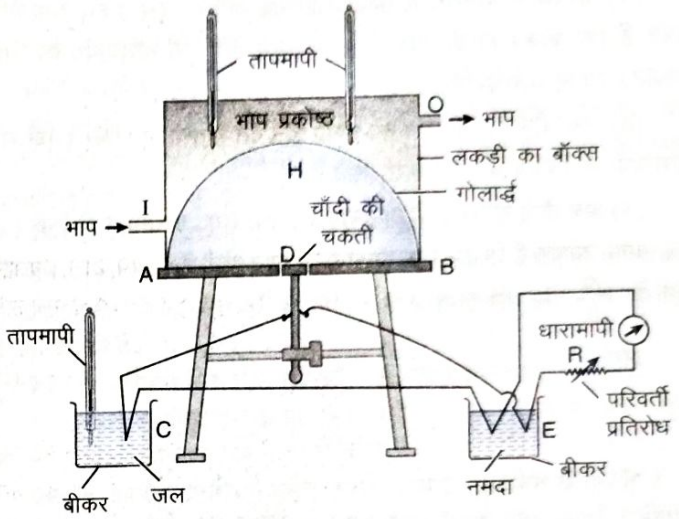
नोट– *इस प्रयोग से सम्बन्धित अन्य प्रश्नों के लिए प्रयोग संख्या* 1 *के प्रश्नोत्तर भी देखें।*

प्रयोग संख्या # 12

उद्देश्य (Object)– *तापयुग्म द्वारा स्टीफन नियतांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)– स्टीफन का उपकरण, तीन थर्मामीटर, सुग्राही धारामापी, विराम घड़ी, सिल्वर-कॉन्सटेण्टन तापयुग्म, ताँबे का फ्लाक्स (बॉयलर), ऊष्मक (हीटर), दो बीकर तथा परिवर्ती प्रतिरोध।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)– प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 20 में प्रदर्शित है। इसमें धातु का एक खोखला गोलार्द्ध H होता है जिसके अन्दर की सतह पर कालिख पुती होती है। यह लकड़ी के एक बॉक्स में रखा रहता है जिसके ऊपर टिन का पत्तर चढ़ा रहता है। यह भाप प्रकोष्ठ का कार्य करता है। इसका आधार AB लकड़ी का होता है जिसके केन्द्र पर एक छिद्र होता है। इस छिद्र में, चाँदी की एक छोटी चकती D को जिसकी ऊपरी सतह पर कालिख पुती हुई होती है, लगा सकते हैं व छिद्र से हटा भी सकते हैं। भाप प्रकोष्ठ में भाप प्रवेश करने के लिए एक नली (निवेशिका) I व भाप बाहर निकालने के लिए निकास नली O लगी रहती है। लकड़ी के बॉक्स (भाप प्रकोष्ठ) में दो थर्मामीटर लगाने के लिए दो छेद होते हैं। सिल्वर-कॉन्सटेण्टन तापयुग्म की एक सन्धि, चाँदी की चकती D के निचले तल से जुड़ी होती है तथा दूसरी सन्धि जल से भरे बीकर में (या जल के बीकर में रखी तेल से भरी परखनली में) डूबी होती है। परिपथ में धारा मापन के लिए एक धारामापी जुड़ा होता है।



चित्र 20

सिद्धान्त (Principle)– जब गोलार्द्ध H को भाप द्वारा गर्म किया जाता है तो उसकी अन्दर की सतह कृष्णिका उत्सर्जक की तरह व्यवहार करती है तथा चाँदी की चकती D गोलार्द्ध द्वारा उत्सर्जित विकिरण को अवशोषित करती है जिससे उसका ताप लगातार बढ़ता है।

माना गोलार्द्ध H का स्थायी परम ताप T तथा चकती D का उस पर विकिरण पड़ने से ठीक पहले, परमताप T_0 है। यदि E चकती के एकांक क्षेत्रफल द्वारा प्रति सेकण्ड अवशोषित विकिरण ऊर्जा तथा E_0 चकती के एकांक क्षेत्रफल द्वारा उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा है, तो स्टीफन के नियमानुसार,

$$E = \sigma T^4$$

तथा $$E_0 = \sigma T_0^4$$

जहाँ σ स्टीफन का नियतांक है।

यदि चकती का क्षेत्रफल A सेमी^{2} है, तो चकती द्वारा प्रति सेकण्ड अवशोषित कुल ऊर्जा

$$= (E - E_0) A$$

$$= \sigma (T^4 - T_0^4) A \quad ...(i)$$

यदि m चकती का द्रव्यमान, s इसकी विशिष्ट ऊष्मा तथा $\frac{dT}{dt}$ ताप T पर इसके ताप की वृद्धि दर हो, तो चकती द्वारा प्रति सेकण्ड प्राप्त ऊर्जा

$$= ms \frac{dT}{dt} \quad ...(ii)$$

समीकरण (i) व (ii) से

$$ms \frac{dT}{dt} = \sigma(T^4 - T_0^4) A$$

या $$\sigma = \frac{ms}{A\ (T^4 - T_0^4)} \left(\frac{dT}{dt}\right) \quad ...(iii)$$

उपर्युक्त सूत्र से स्टीफन नियतांक ज्ञात किया जा सकता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—यह प्रयोग दो भागों में किया जाता है—

(A) तापयुग्म का अंशांकन—

(1) भाप प्रकोष्ठ में भाप प्रवाहित करने से पहले, चाँदी की चकती को उसके उपयुक्त स्थान पर चित्रानुसार (चित्र 20) समायोजित करते हैं। चकती ठण्डी सन्धि की तरह कार्य करती है।

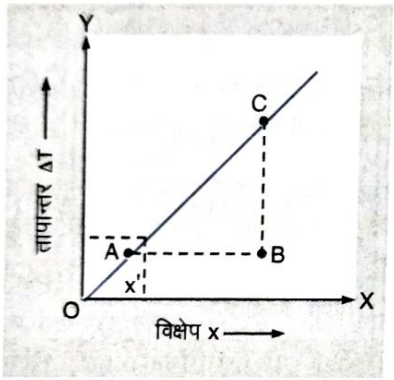
(2) अब जल से भरे बीकर C को उपयुक्त ताप लगभग 70°C तक गर्म करते हैं। इससे धारामापी में धारा बहने लगती है।

(3) परिपथ में प्रतिरोध R को, आवश्यक होने पर इस प्रकार समायोजित करते हैं कि बीकर C के जल के अधिकतम ताप पर धारामापी का विक्षेप (स्पॉट) स्केल से बाहर न जाए।

(4) अब बीकर C के जल को ठण्डा होने देते हैं तथा ताप और इसके संगत धारामापी के विक्षेप को नोट करते जाते हैं।

(5) अब दोनों सन्धियों के तापान्तर ΔT तथा संगत धारामापी के विक्षेप x में एक ग्राफ खींचते हैं जिसमें एक सरल रेखा प्राप्त होती है (चित्र 21) इस सरल रेखा से $\frac{dT}{dx}$ का मान प्राप्त करते हैं।

अर्थात् $$\frac{dT}{dx} = \frac{BC}{AB} \quad ...(iv)$$



चित्र 21

(B) T, T_0 तथा $\frac{dT}{dt}$ का मापन—

(1) अब भाप प्रकोष्ठ के छिद्र से चाँदी की चकती D को हटा देते हैं तथा बीकर C के जल को बदल देते हैं, जिससे जल में डूबी सन्धि का ताप कमरे के ताप के बराबर हो जाए। यह सन्धि अब ठण्डी सन्धि का कार्य करती है।

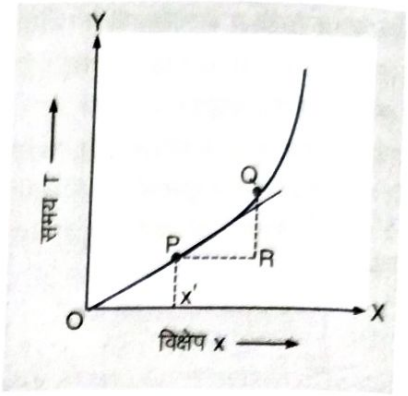
(2) भाप प्रकोष्ठ में भाप प्रवाहित करते हैं तथा दोनों थर्मामीटर के पाठ्यांक तब तक देखते जाते हैं जब तक कि वह स्थिर न हो जाए। जब दोनों थर्मामीटर के पाठ्यांक स्थिर हो जाते हैं तब उसका माध्य लेते हैं। यह माध्य मान गोलार्द्ध H का स्थायी तापमान होता है।

(3) अब थर्मामीटर की सहायता से बीकर C के जल का ताप पढ़ लेते हैं। तत्पश्चात् चाँदी की चकती को पुनः छिद्र में समायोजित करते हैं तथा विराम घड़ी प्रारम्भ कर देते हैं। चकती, गोलार्द्ध H से आने वाली ऊष्मा के कारण गर्म होना शुरू हो जाती है तथा यह गर्म सन्धि का कार्य करने लगती है।

(4) अब धारामापी का विक्षेप (स्पॉट का स्केल पर विक्षेप), कुछ सेकण्डों (माना 10 या 15 सेकण्ड) के अन्तर से नोट करते जाते हैं।

(5) अब धारामापी के विक्षेप x तथा इसके संगत समय t में एक ग्राफ खींचते हैं (चित्र 22)। वक्र के बिन्दु P (जहाँ वक्र सीधी रेखा में परिवर्तित होता है) पर एक स्पर्श रेखा खींचते हैं। प्रयोग के प्रथम भाग (A) में dx के उसी मान के तुल्य, dt का मान स्पर्श रेखा से प्राप्त करके $\frac{dx}{dt}$ का मान प्राप्त करते हैं। अर्थात्

$$\frac{dx}{dt} = \frac{QR}{PR} \quad ...(v)$$



चित्र 22

(6) अब समी. (iv) व (v) से $\frac{dT}{dt}$ का निर्धारण करते हैं,

$$\frac{dT}{dt} = \frac{dT}{dx} \times \frac{dx}{dt} = \frac{BC}{AB} \times \frac{QR}{PR}$$

(7) अब चित्र 22 में बिन्दु P के संगत विक्षेप x' का मान ज्ञात करते हैं तथा ग्राफ (चित्र 21) से इस मान (x') के लिए दोनों सन्धियों का तापान्तर प्राप्त करते हैं। इस तापान्तर को चकती के प्रारम्भिक ताप में जोड़कर उसमें 273 जोड़ते हैं जिससे ताप T_0 प्राप्त होता है।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) चाँदी की चकती का द्रव्यमान m = ... ग्राम = ... किग्रा

(2) चकती के पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा s = ... कैलोरी/ग्राम °C
= ..... जूल/किग्रा °C

(3) चकती के अनुप्रस्थ परिच्छेद का क्षेत्रफल A = ... सेमी^{2}
= ..... मीटर^2

(4) **दोनों सन्धियों के तापान्तर तथा उसके संगत धारामापी के विक्षेप के लिए सारणी—**

कमरे का ताप = ... °C

क्रमांक	गर्म सन्धि का तापमान (°C में)	ठण्डी सन्धि का तापमान (°C में)	तापान्तर ΔT (°C में)	धारामापी का विक्षेप x
1.	...	...	...	...
2.	...	...	...	...
3.	...	...	...	...
4.	...	...	...	...
5.	...	...	...	...
6.	...	...	...	...
7.	...	...	...	...
8.	...	...	...	...

(5) गोलार्द्ध H का स्थायी ताप T = ... °C = ... °K

(6) समय के साथ धारामापी के विक्षेप के लिए सारणी–

क्रमांक	समय t (सेकण्ड में)	धारामापी का विक्षेप x	क्रमांक	समय t (सेकण्ड में)	धारामापी का विक्षेप x
1.	...	...	6.	...	...
2.	...	...	7.	...	...
3.	...	...	8.	...	...
4.	...	...	9.	...	...
5.	...	...	10.	...	...

गणना (Calculations)–(i) प्रयोग के पहले भाग में प्रेक्षणों से प्राप्त दोनों सन्धियों के तापान्तर को Y-अक्ष पर तथा इसके संगत धारामापी के विक्षेप को X-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचते हैं, जो चित्र 21 की भाँति एक सरल रेखा प्राप्त है। इस ग्राफ से सरल रेखा की प्रवणता

$$\frac{dT}{dx} = \frac{BC}{AB} = \ldots$$

(ii) प्रयोग के दूसरे भाग में प्रेक्षणों से प्राप्त समय t को Y-अक्ष पर तथा इसके संगत धारामापी के विक्षेप x को X-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचते हैं, जो चित्र 22 की भाँति एक वक्र प्राप्त होता है। वक्र के बिन्दु P जहाँ वक्र सीधी रेखा में परिवर्तित होता है, पर एक स्पर्श रेखा खींचते हैं। dx के उसी मान के लिए जो चित्र 21 में प्रवणता ज्ञात करने के लिए लिया गया हो, के लिए dt का मान इस ग्राफ से प्राप्त करते हैं। अत:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{QR}{PR} = \ldots$$

(iii) अब $$\frac{dT}{dt} = \frac{dT}{dx} \times \frac{dx}{dt} = \ldots$$

(iv) वक्र (चित्र 22) पर बिन्दु P के संगत धारामापी के विक्षेप x' को ज्ञात करते हैं तथा इसके संगत दो सन्धियों के तापान्तर को अंशांकन ग्राफ (चित्र 21) से ज्ञात करते हैं। अत: चाँदी की चकती का बिन्दु P के संगत ताप

$T_0 = (T + \Delta T)^\circ C = [(\ldots) + 273]\ ^\circ K$

m का मान किग्रा, s का मान जूल/किग्रा °C, A का मान मीटर^2, T व T_0 के मान °K तथा $\frac{dT}{dt}$ का मान °C / सेकण्ड में लेकर सूत्र (iii) में रखने पर,

$$\sigma = \frac{ms}{A(T^4 - T_0^4)} \left(\frac{dT}{dt}\right) = \ldots \text{ जूल/मीटर}^2 \text{ सेकण्ड } K^4$$

परिणाम (Result)–प्रयोग से प्राप्त स्टीफन नियतांक $\sigma = \ldots$ जूल/मीटर^2 सेकण्ड K^4

प्रामाणिक मान $\sigma = \ldots$ जूल/मीटर^2 सेकण्ड K^4

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रयोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

$= \ldots \%$.

सावधानियाँ (Precautions)–

(1) धारामापी तथा थर्मामीटर सुग्राही होने चाहिए।

(2) बॉयलर, गोलार्द्ध H से अधिक दूरी पर रखना चाहिए।

(3) चाँदी की चकती को भाप प्रकोष्ठ के आधार में बने छिद्र में तभी समायोजित करना चाहिए जब भाप प्रकोष्ठ का ताप स्थायी हो जाए।

(4) थर्मामीटर तथा धारामापी को इस प्रकार सटे हुए स्थानों पर रखना चाहिए कि दोनों के पाठ्यांक एक साथ लिये जा सकें।

(5) गोलार्द्ध H का स्थायी तापमान भाप प्रकोष्ठ में लगे तापमापियों की सहायता से सुनिश्चित कर लेना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर–तापयुग्म द्वारा स्टीफन नियतांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. स्टीफन नियतांक क्या है ?

उत्तर–यदि किसी कृष्णिका जिसका परमताप T हो, के एकांक पृष्ठ क्षेत्रफल से प्रति सेकण्ड विकिरत होने वाली ऊर्जा E है, तो स्टीफन के नियमानुसार,

$$E = \sigma T^4$$

जहाँ σ स्टीफन नियतांक है।

प्रश्न 3. आदर्श कृष्णिका से आप क्या समझते हो ?

उत्तर–वह वस्तु जो अपने ऊपर आपतित होने वाले सम्पूर्ण विकिरण (चाहे उनकी तरंगदैर्ध्य कुछ भी हो) का पूर्णत: अवशोषण कर लेती है, आदर्श कृष्णिका कहलाती है।

प्रश्न 4. आपके प्रयोग में आदर्श कृष्णिका क्या है ?

उत्तर–इस प्रयोग में गोलार्द्ध H की अन्दर की सतह तथा चाँदी की चकती की ऊपरी सतह जो कालिख की हुई होती है, लगभग आदर्श कृष्णिका की तरह व्यवहार करती हैं।

प्रश्न 5. स्टीफन नियतांक का भौतिक महत्व बताइए।

उत्तर–स्टीफन नियतांक के ज्ञान का उपयोग हम बड़ी वस्तुओं; जैसे–सूर्य, ग्रहों तथा उपग्रहों का ताप ज्ञात करने में करते हैं।

प्रश्न 6. आपके प्रयोग में कौन ऊर्जा (ऊष्मा) उत्सर्जित करता है ?

उत्तर–इस प्रयोग में गोलार्द्ध H की अन्दर की सतह ऊर्जा (ऊष्मा) उत्सर्जित करती है।

प्रश्न 7. इस प्रयोग में कौन-सी वस्तु ऊष्मा (ऊर्जा) अवशोषित करती है?

उत्तर–इस प्रयोग में चाँदी की चकती की कालिख की हुई सतह ऊष्मा (ऊर्जा) का अवशोषण करती है।

प्रश्न 8. आप चकती चाँदी की बनी हुई क्यों लेते हैं ?

उत्तर–क्योंकि चाँदी की विशिष्ट ऊष्मा बहुत कम तथा इसकी चालकता बहुत अधिक होती है।

प्रश्न 9. चकती को खोखले गोलार्द्ध के केन्द्र पर क्यों रखते हैं ?

उत्तर–क्योंकि गोलार्द्ध से विकिरण की किरणें लम्बवत् उत्सर्जित होती हैं तथा इसके केन्द्र पर पहुँचती है जहाँ इन्हें अवशोषित करने के लिए चकती लगायी जाती है।

प्रश्न 10. प्रकोष्ठ (गोलार्द्ध) का ताप स्थिर क्यों रखना चाहिए ?

उत्तर–जिससे एक छिद्र वाला यह प्रकोष्ठ, कृष्णिका विकिरण के स्रोत की तरह कार्य कर सके।

प्रयोग संख्या # 13

उद्देश्य (Object)–*काले एवं सफेद पांसे का उपयोग कर सांख्यिकीय वितरण (बाइनोमियल वितरण) का अध्ययन करना एवं मानक विचलन ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)–कुछ एक समान पांसे (10 या 20) जिनमें प्रत्येक पांसे के आधे फलक काले रंग तथा आधे फलक सफेद रंग के हों, एक प्लास्टिक का मग या गिलास तथा एक ट्रे।

उपकरण का वर्णन (Description of the Apparatus)–प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण एकसमान 10 या 20 पांसे, एक प्लास्टिक मग या गिलास तथा एक ट्रे होते हैं। पांसे एकसमान होते हैं तथा प्रत्येक पांसे के आधे फलक काले रंग तथा आधे फलक सफेद रंग के होते हैं। पलास्टिक मग या गिलास अन्दर से

चिकना तथा इतना बड़ा होता है कि उसमें इन पांसों को डालकर अच्छी तरह से हिलाया जा सकता है। ट्रे चिकनी व साफ-सुथरी होती है तथा इतनी बड़ी होती है कि 10 या 20 पांसे इसमें उछालने पर, पांसे इसी के अन्दर रहते हैं।

सिद्धान्त (Principle)—पांसे के आधे फलक काले तथा आधे फलक सफेद हैं, जब इस पांसे को उछाला जाता है, तो या तो सफेद रंग का फलक ऊपर आता है या काले रंग का फलक ऊपर आता है। सामान्यत: सफेद रंग के फलक या काले रंग के फलक के ऊपर आने की सम्भावना बराबर होती है। प्रयोगों में पाया गया है कि यदि एक पांसे को बहुत अधिक बार उछाला जाए तो लगभग आधी बार काले रंग का फलक ऊपर आता है तथा आधी बार सफेद रंग का फलक ऊपर आता है। अत: सफेद रंग का फलक (या काले रंग का फलक) ऊपर आने की प्रायिकता

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

तथा ऊपर न आने की प्रायिकता

$$q = 1 - p = \frac{1}{2} \qquad (\because p + q = 1)$$

यह सिद्धान्त समानपूर्व प्रायिकता का सिद्धान्त (Principle of equal a priori probability) कहलाता है।

यदि n एकसमान पांसे एकसाथ उछाले जाएँ तो संयोग जिसमें r पांसों के सफेद रंग के फलक ऊपर हों तथा $(n - r)$ पासों के काले रंग के फलक ऊपर हों के आने की प्रायिकता होती है,

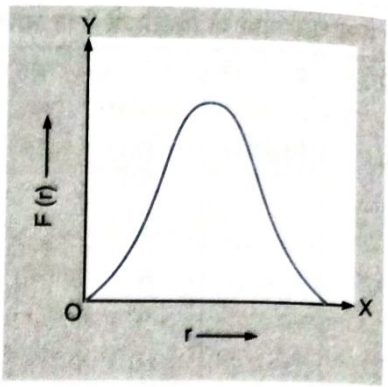
$$P(r) = \frac{n!}{r!\,(n-r)!} \times (p)^r\,(q)^{n-r} = \frac{n!}{r!\,(n-r)!} \times \frac{1}{2^n} \quad ...(i)$$

$$\left(\because p = \frac{1}{2} \text{ तथा } q = \frac{1}{2}\right)$$

यह फलन बाइनोमियल वितरण फलन कहलाता है। यदि n एकसमान पांसों को एकसाथ N बार उछाला जाए तो संयोग जिसमें r पांसों का सफेद रंग वाला फलक ऊपर आता है तथा $(n - r)$ पासों का काले रंग वाला फलक ऊपर आता है, की पुनरावृत्ति (बारम्बारता) जिसे सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारता कहते हैं, होती है

$$F(r) = N \times P(r) \quad ...(ii)$$

यह बारम्बारता संयोग की वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता $f(r)$ से काफी मिलान करती है। यदि पांसों की संख्या अधिक रखी जाए तथा यह मिलान उछालों की संख्या N के बढ़ने पर और अच्छा होता है। जब $F(r)$ को Y-अक्ष पर तथा r को X-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचा जाता है तो यह चित्र 23 की भाँति प्राप्त



चित्र 23

होता है। इस सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारता $F(r)$ का r के साथ वितरण जोकि बाइनोमियल वितरण होता है, का मानक विचलन होता है,

$$\sigma = \sqrt{npq} = \sqrt{\frac{n}{4}} \qquad ...(iii) \left(\because p = \frac{1}{2} \text{ तथा } q = \frac{1}{2}\right)$$

जहाँ n उछाले गये पांसों की संख्या है।

तथा r के साथ वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता $f(r)$ के वितरण का मानक विचलन निम्नलिखित सूत्र से ज्ञात किया जाता है—

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\Sigma fr^2 - \left(\frac{\Sigma fr}{N}\right)^2} \qquad ...(iv)$$

जहाँ N उछालों की संख्या है।

उछालों की संख्या अधिक से अधिक रखने पर यह मानक विचलन, सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारता वितरण के मानक विचलन से काफी मिलान करता है तथा उछालों की संख्या बढ़ाने पर यह मिलान अच्छा होता जाता है।

प्रयोग विधि (Procedure)—(1) सबसे पहले ट्रे मेज पर रखते हैं तथा सुनिश्चित करते हैं कि यह साफ हो तथा इसमें धूल के कण न हों।

(2) अब 10 या 20 एकसमान पांसे जिनमें प्रत्येक पांसे के आधे फलक सफेद व आधे फलक काले हों, लेते हैं तथा इनको एक-साथ प्लास्टिक के मग या गिलास में रखते हैं। इनको अच्छी तरह हिलाकर ट्रे में उछालते हैं।

(3) अब उन पांसों की संख्या जिनका सफेद रंग का फलक ऊपर होता है, को नोट कर लेते हैं।

(4) प्रक्रिया को अधिक से अधिक बार (जैसे 200 बार या अधिक) दुहराते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) **उछालों के लिए सारणी—**

उछालों की कुल संख्या N = ...

उछाल का क्रमांक	1	2	3	4	5	6	7	8	...	...	...	...	...
पांसों की संख्या जिनका सफेद रंग का फलक ऊपर है (r)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

(2) **बारम्बारता F व f के लिए सारणी—**

लिए गये पांसों की संख्या n = ...

पांसों की संख्या जिनका सफेद रंग का फलक ऊपर है (r)	प्रायिकता $P(r) = \frac{n!}{r!\,(n-r)!} \times \frac{1}{2^n}$	सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारत $F(r) = N \times P(r)$	वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता (f)	fr	fr^2
0					
1					
2					
...					

.					
.					
.					
.					
.					
			$\Sigma f = N$	$\Sigma fr = ...$	$\Sigma fr^2 = ...$

गणना तथा ग्राफ (Calculations and Groaph)—(i) एक ही ग्राफ पेपर पर, सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारता $F(r)$ तथा वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता को Y-अक्ष पर तथा r को X-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचते हैं, जो चित्र 23 की भाँति प्राप्त होता है।

(ii) सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारता वितरण का मानक विचलन,

$$\sigma = \sqrt{\frac{n}{4}} = ...$$

(iii) वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता वितरण का मानक विचलन (प्रेक्षण सारणी से N, Σfr तथा Σfr^2 का मान समीकरण (iv) में रखने पर),

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\Sigma fr^2 - \left(\frac{\Sigma fr}{N}\right)^2} = ...$$

नोट : *प्रयोग को n व N के मान बदल-बदल कर दुहराएँ तथा प्रत्येक स्थिति में बारम्बारता वितरण वक्र खींचे व मानक विचलन ज्ञात करें।*

परिणाम (Result)—वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता वितरण के लिए खींचा गया वक्र, सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारता वितरण के लिए खिंचे वक्र से मिलान करता है तथा वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता वितरण का मानक विचलन $\sigma = ...$.

निष्कर्ष (Conclusion)—जब उछाले गये पांसों की संख्या अधिक होती है तब विभिन्न संयोगों की वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता, सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारता से काफी मिलान करती है तथा यह मिलान उछालों की संख्या N के बढ़ने पर और अच्छा होता है।

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) ट्रे चिकनी और साफ होनी चाहिए।

(2) मग या गिलास अन्दर से पूरी तरह चिकना होना चाहिए।

(3) पांसे एकसमान व इनके फलक साफ होने चाहिए।

(4) मग या गिलास में लिए गये पांसों को उछालने से पूर्व ठीक से हिला लेना चाहिए।

(5) उछालों की संख्या अधिक से अधिक रखनी चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—काले एवं सफेद पांसे का उपयोग कर सांख्यिकीय वितरण (बाइनोमियल वितरण) का अध्ययन करना एवं मानक विचलन ज्ञात करना।

प्रश्न 2. प्रायिकता से आप क्या समझते हैं ?

उत्तर—किसी घटना के घटित होने की प्रायिकता उस घटना के घटित होने के अनुकूल प्रकारों की संख्या तथा समान रूप से घटित होने वाले कुल प्रकारों की संख्या के अनुपात के बराबर होती है।

प्रश्न 3. आपके प्रयोग में किस संयोग की प्रायिकता सबसे अधिक होती है ?

उत्तर—उस संयोग की जिसमें आधे पांसों का सफेद रंग वाला फलक ऊपर तथा आधे पांसों का काले रंग वाला फलक ऊपर आता है।

प्रश्न 4. आपके प्रयोग में किस संयोग की प्रायिकता सबसे कम होती है ?

उत्तर—उस संयोग की जिसमें सभी पांसों के ऊपरी फलक सफेद या काले होते हैं।

प्रश्न 5. आप अपने प्रयोग में उछालों की संख्या अधिक क्यों रखते हैं ?

उत्तर—क्योंकि उछालों की संख्या अधिक रखने पर किसी संयोग के लिए वास्तविक प्रेक्षित बारम्बारता का सैद्धान्तिक अपेक्षित बारम्बारता से विचलन कम होता है।

प्रश्न 6. क्या आप अपने प्रयोग में पांसों की जगह सिक्के ले सकते हैं ?

उत्तर—हाँ, लेकिन सिक्के के हैड एवं टेल की तुलना में पांसे के सफेद एवं काले फलक को देखना आसान होता है।

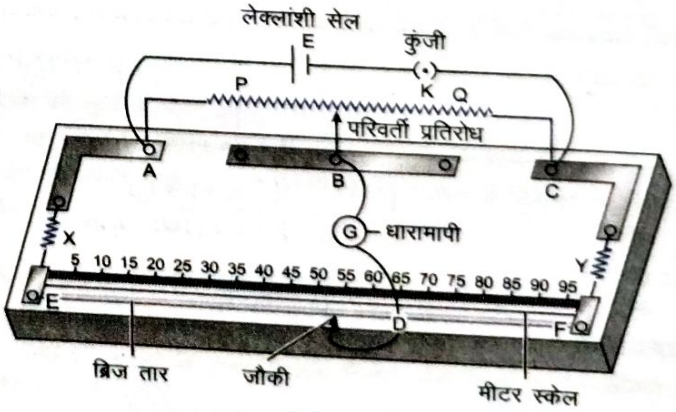
प्रयोग संख्या # 14

उद्देश्य (Object)—*कैरी-फॉस्टर सेतु का उपयोग कर दिए गए प्रतिरोध का तापीय गुणांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—कैरी-फॉस्टर ब्रिज, प्लैटिनम प्रतिरोध तापमापी, दशमलव-प्रतिरोध बॉक्स, ऊर्ध्वाधर स्टैण्ड, लेक्लांशी सेल, धारामापी, कुंजी, ऊष्मक (हीटर), बीकर, पारे का तापमापी परिवर्ती प्रतिरोध तथा संयोजक तार।

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—

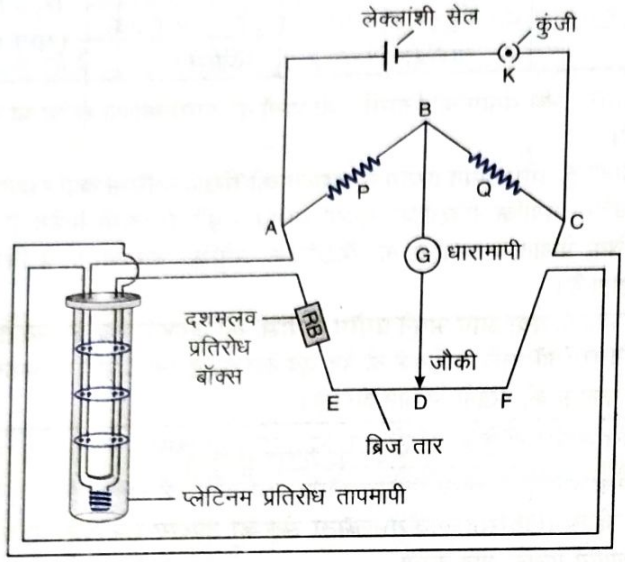
(1) कैरी-फॉस्टर ब्रिज—कैरी-फॉस्टर ब्रिज चित्र 24 में प्रदर्शित है जिसमें एक 1 मीटर लम्बा, एकसमान अनुप्रस्थ परिच्छेद का मैंगनिन या कान्सटेण्टन का तार EF तनी हुई अवस्था में एक मीटर स्केल के सहारे लगा रहता है। यह तार दोनों सिरों पर पीतल की मोटी पत्तियों से जुड़ा रहता है। इन दोनों पत्तियों के अतिरिक्त चित्रानुसार एक लम्बी पीतल की पत्ती स्केल के समान्तर तथा दो L आकार की पत्तियाँ किनारों पर लगी रहती हैं। इन पत्तियों के बीच में चार खाली स्थान होते हैं। चित्रानुसार इन खाली स्थानों में प्रतिरोध लगा दिये जाते हैं तथा एक लेक्लांशी सेल L आकार की पत्तियों से जोड़ दिया जाता है व एक धारामापी जिसका एक सिरा स्केल के समान्तर लगी पीतल की पत्ती पर बिन्दु B से जोड़ दिया जाता है और दूसरा सिरा जौकी से जोड़ दिया जाता है। जौकी को ब्रिज पर इधर-उधर चलाया जा सकता है।



चित्र 24

(2) प्लेटिनम प्रतिरोध

प्रयोग में कैरी-फॉस्टर ब्रिज में प्रतिरोध X के स्थान पर प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्रतिकारी तारों को उनके साथ श्रेणीक्रम में दशमलव प्रतिरोध बॉक्स जोड़कर, जोड़ दिया जाता है तथा प्रतिरोध Y के स्थान पर प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के संयोजक तारों को जोड़ दिया जाता है (चित्र 25)।



चित्र 25

सिद्धान्त (Principle)—कैरी-फॉस्टर ब्रिज, ह्वीटस्टोन ब्रिज के सिद्धान्त पर कार्य करता है। चित्र 25 में यदि जौकी को ब्रिज तार पर बिन्दु D पर सम्पर्क करने से ब्रिज सन्तुलित अवस्था (धारामापी में विक्षेप शून्य होता है) में होता है, तो

$$\frac{P}{Q} = \frac{\text{A व D के बीच का प्रतिरोध}}{\text{D व C के बीच का प्रतिरोध}}$$

माना ब्रिज के तार की एकांक लम्बाई का प्रतिरोध ρ, प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्रतिकारी तारों का प्रतिरोध r, बायीं ओर की ब्रिज के तार से जुड़ी एवं L आकार की पत्तियों का कुल प्रतिरोध α है तथा ब्रिज के सन्तुलन की अवस्था में प्रतिरोध बॉक्स से निकाला गया प्रतिरोध X व ब्रिज के तार पर बायें से, सन्तुलन बिन्दु की दूरी l_1 है। तब

A व D के बीच का प्रतिरोध $= X + \alpha + r + l_1\rho$

अब माना प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के प्लेटिनम तार का प्रतिरोध R, इसको सम्बन्धक पेचों से जोड़ने वाले संयोजक तारों का प्रतिरोध r तथा दायीं ओर की ब्रिज के तार से जुड़ी व L आकार की पत्तियों का कुल प्रतिरोध β है। तब

D व C के बीच का प्रतिरोध $= R + \beta + r + (100 - l_1)\,\rho$

अतः
$$\frac{P}{Q} = \frac{X + \alpha + r + l_1\rho}{R + \beta + r + (100 - l_1)\rho} \quad ...(i)$$

अब प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के संयोजक तारों को बायीं ओर तथा प्रतिकारी तारों व प्रतिरोध बॉक्स को दायीं ओर जोड़ने पर यदि ब्रिज के सन्तुलन की स्थिति में ब्रिज के तार पर, बायें से सन्तुलन बिन्दु की दूरी l_2 है। तब

$$\frac{P}{Q} = \frac{R + \alpha + r + l_2\rho}{X + \beta + r + (100 - l_2)\rho} \quad ...(ii)$$

समी. (i) व (ii) से,

$$\frac{X + \alpha + r + l_1\rho}{R + \beta + r + (100 - l_1)\rho} = \frac{R + \alpha + r + l_2\rho}{X + \beta + r + (100 - l_2)\rho}$$

दोनों ओर 1 जोड़ने पर,

$$\frac{X + \alpha + 2r + R + \beta + 100\rho}{R + \beta + r + (100 - l_1)\rho} = \frac{R + \alpha + 2r + X + \beta + 100\rho}{X + \beta + r + (100 - l_2)\rho}$$

$$\Rightarrow \qquad R = X - (l_2 - l_1)\,\rho \qquad ...(iii)$$

यदि $\qquad l_2 - l_1 = 0 \quad$ तो $R = X$

अब यदि कमरे के ताप t_1 पर प्लेटिनम तार का प्रतिरोध R_1 तथा अन्य उच्च ताप t_2 पर R_2 हो, तो प्लेटिनम का ताप गुणांक

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1} \text{ प्रति °C}$$

उपर्युक्त सूत्र से प्रतिरोध ताप गुणांक α की गणना की जा सकती है।

प्रयोग विधि (Procedure)—

(1) सबसे पहले चित्रानुसार परिपथ तैयार करते हैं जिसके लिए प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के संयोजक तारों तथा प्रतिकारी तारों को उनके साथ दशमलव प्रतिरोध बॉक्स को श्रेणीक्रम में जोड़कर, यथास्थानों पर जोड़ते हैं। (चित्र 25)। परिवर्ती प्रतिरोध के दोनों निचले सिरों को A व C के बीच जोड़ते हैं व इसके परिवर्ती सिरे को B से जोड़कर इसे ठीक बीचोंबीच में समंजित करते हैं जिससे प्रतिरोध P व Q लगभग समान हो जाएँ (चित्र 24)। अब लेक्लांशी सेल को A व C के बीच जोड़ते हैं तथा धारामापी के एक सिरे को B से जोड़ते हैं व दूसरे सिरे को जौकी से जोड़ देते हैं।

(2) अब कमरे के ताप t_1 पर प्लेटिनम के तार का प्रतिरोध R_1 ज्ञात करने के लिए प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी को कमरे के ताप पर रखे जल के बर्तन में रख देते हैं तथा कुछ समय के लिए प्रतीक्षा करते हैं ताकि प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी का प्लेटिनम तार जल का ताप ग्रहण कर ले। जल का ताप (कमरे का ताप) पारे के तापमापी द्वारा ज्ञात कर लेते हैं। इसके बाद प्रतिरोध बॉक्स से कुछ प्रतिरोध निकालते हैं तथा ब्रिज तार पर जौकी को चलाकर धारामापी में शून्य विक्षेप की स्थिति ज्ञात करते हैं। इस स्थिति के संगत बायें सिरे से जौकी तक की ब्रिज तार की लम्बाई l_1 नोट कर लेते हैं।

(3) तत्पश्चात् प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के संयोजक तारों को बायीं ओर तथा प्रतिकारी तारों व प्रतिरोध बॉक्स को दायीं ओर लगाते हैं। अब प्रतिरोध बॉक्स से निकाले गये उसी प्रतिरोध जो पहली स्थिति में है, के लिए ब्रिज तार पर जौकी चलाकर धारामापी में शून्य विक्षेप की स्थिति ज्ञात करते हैं। इस स्थिति के संगत बायें सिरे से जौकी तक की ब्रिज तार की लम्बाई l_2 नोट कर लेते हैं।

(4) अब प्रतिरोध बॉक्स में से निकाले गये प्रतिरोध का मान परिवर्तित करते जाते हैं तथा प्रत्येक मान के लिए l_1 व l_2 के मान नोट करते जाते हैं।

(5) अब प्लेटिनम के तार का किसी उच्च ताप t_2 पर प्रतिरोध R_2 ज्ञात करने के लिए प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी को उबलते हुए जल के बर्तन में रखते हैं तथा कुछ समय के लिए प्रतीक्षा करते हैं ताकि प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी का प्लेटिनम तार उबलते जल का ताप ग्रहण कर ले। पारे के तापमापी द्वारा उबलते हुए जल का ताप नोट कर लेते हैं तथा इसके संगत प्लेटिनम तार का प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए विधि (2), (3) तथा (4) की पुनरावृत्ति करके प्रतिरोध बॉक्स में से निकाले गये प्रतिरोध के प्रत्येक मान के लिए l_1' व l_2' के मान नोट करते जाते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) कमरे के ताप t_1 पर प्लैटिनम तार का प्रतिरोध R_1 ज्ञात करने के लिए सारणी—

कमरे का ताप t_1 = ... °C

क्रमांक	प्रतिरोध बॉक्स में से निकाला गया प्रतिरोध X (ओम में)	धारामापी में शून्य विक्षेप की स्थिति में बायें सिरे से जौकी तक ब्रिज तार की लम्बाई		$(l_2 - l_1)$ (सेमी में)
		जब प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के संयोजक तार दायीं ओर हैं, l_1 (सेमी में)	जब प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी के संयोजक तार बायीं ओर हैं, l_2 (सेमी में)	
1.	...	...	...	...
2.	...	...	...	...
3.	...	...	...	...
4.	...	...	...	...
5.	...	...	...	...
6.	...	...	...	...
7.	...	...	...	...

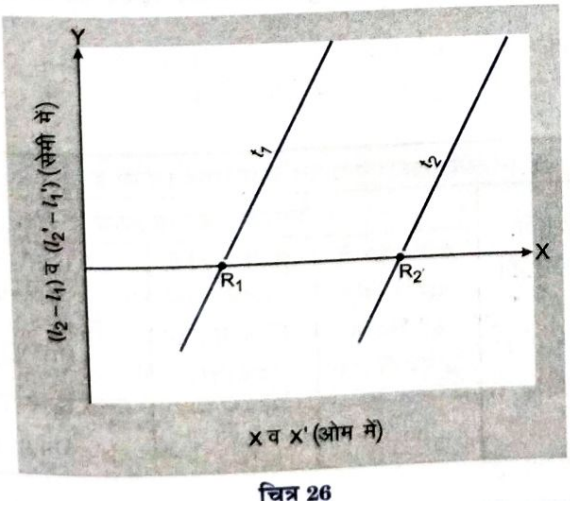
(2) उबलते जल का ताप t_2 पर प्लेटिनम तार का प्रतिरोध R_2 ज्ञात करने के लिए सारणी—

उबलते जल का ताप t_2 = ...°C

क्रमांक	प्रतिरोध बॉक्स में से निकाला गया प्रतिरोध X' (ओम में)	धारामापी में शून्य विक्षेप की स्थिति में बायें सिरे से जौकी तक ब्रिज तार की लम्बाई		$(l_2' - l_1')$ (सेमी में)
		जब प्लेटिनम प्रतिरोधी तापमापी के संयोजक तार दायीं ओर है, l_1' (सेमी में)	जब प्लेटिनम प्रतिरोधी तापमापी के संयोजक तार बायीं ओर है, l_2' (सेमी में)	
1.	...	...	...	...
2.	...	...	...	...
3.	...	...	...	...
4.	...	...	...	...
5.	...	...	...	...
6.	...	...	...	...
7.	...	...	...	...

गणना (Calculations)—प्रेक्षणों से प्राप्त $(l_2 - l_1)$ व $(l_2' - l_1')$ को Y-अक्ष पर तथा प्रतिरोध X व X' को X-अक्ष पर लेकर एक ही ग्राफ पेपर पर ग्राफ खींचते हैं जो चित्र 26 की भाँति दो सरल रेखाओं में प्राप्त होता है। इस ग्राफ से $(l_2 - l_1)$ के शून्य मान के संगत प्रतिरोध X का मान व $(l_2' - l_1')$ के शून्य मान के संगत प्रतिरोध X' का मान ज्ञात कर लेते हैं जो क्रमशः ताप t_1°C पर प्लेटिनम के तार का प्रतिरोध R_1 व ताप t_2°C पर प्लेटिनम के तार का प्रतिरोध R_2 के बराबर होते हैं। अब R_1 व R_2 के ज्ञात मानों को ओम में तथा t_1 व t_2 को °C में लेकर समीकरण (iv) में रखने पर,

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1} = \text{... प्रति °C}$$



चित्र 26

परिणाम (Result)—प्लेटिनम का प्रतिरोध ताप गुणांक α = ... प्रति °C

प्रामाणिक मान α = ... प्रति °C

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रयोगात्मक मान} \sim \text{प्रामाणिक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

$$= \text{..... \%.}$$

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) परिपथ बनाने में ताँबे के मोटे तारों का उपयोग करना चाहिए व इनके सिरों को रेगमाल पेपर से साफ करके परिपथ के सम्बन्धनों को टाइट रखना चाहिए।

(2) ब्रिज की सुग्राहिता अधिक रखने के लिए इसकी चारों भुजाओं का प्रतिरोध लगभग समान होना चाहिए।

(3) परिपथ में धारा अधिक समय तक नहीं बहनी चाहिए इसके लिए सेल परिपथ की कुंजी में प्लग प्रेक्षण लेते समय ही लगाना चाहिए।

(4) दशमलव प्रतिरोध बॉक्स से ऐसे प्रतिरोध को निकालना चाहिए कि शून्य विक्षेप की स्थिति ब्रिज तार के मध्य में रहे ताकि ब्रिज की सुग्राहिता अधिकतम रहे।

(5) जौकी को ब्रिज तार पर रगड़कर नहीं चलाना चाहिए बल्कि उसे ब्रिज तार से हल्के से स्पर्श कराकर ही सन्तुलन बिन्दु ज्ञात करना चाहिए।

(6) प्रारम्भ में धारामापी में शून्य विक्षेप को समंजित करते समय धारामापी के साथ शण्ट का उपयोग करना चाहिए, लेकिन शून्य विक्षेप की स्थिति के पास शण्ट हटा देना चाहिए।

(7) ब्रिज तार पर जौकी लगाने से पूर्व सेल का परिपथ उसमें लगी कुंजी में प्लग लगाकर पूर्ण कर लेना चाहिए।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—कैरी-फॉस्टर सेतु का उपयोग कर दिए गये प्रतिरोध का तापीय गुणांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. कैरी-फॉस्टर ब्रिज किस सिद्धान्त पर कार्य करता है ?

उत्तर—यह ब्रिज ह्वीटस्टोन ब्रिज के सिद्धान्त पर कार्य करता है।

प्रश्न 3. इस ब्रिज का तार किस पदार्थ का बना होता है ?

उत्तर—इस ब्रिज का तार कान्सेटण्टन अथवा मैगनिन का होता है।

प्रश्न 4. तार को कान्सेटण्टन अथवा मैगनिन का क्यों लिया जाता है ?

उत्तर—क्योंकि इसका विशिष्ट प्रतिरोध अधिक तथा प्रतिरोध ताप गुणांक कम होता है।

प्रश्न 5. इस ब्रिज की सुग्राहिता कब अधिकतम होती है ?

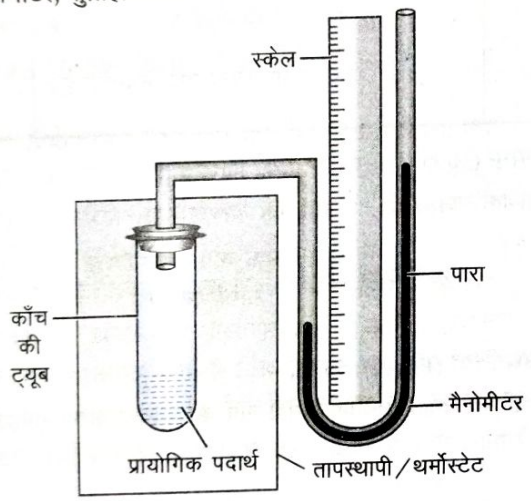
उत्तर—जब ब्रिज की चारों भुजाओं (चारों खाली स्थान) में लगे प्रतिरोध लगभग समान कोटि के होते हैं।

नोट—*इस प्रयोग से सम्बन्धित अन्य प्रश्नों के लिए प्रयोग संख्या 3 के प्रश्नोत्तर देखें।*

प्रयोग संख्या # 15

उद्देश्य (Object)—*गैस/वाष्प का क्रान्तिक नियतांक ज्ञात करना।*

आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)—एक कठोर काँच की ट्यूब, मैनोमीटर, सुग्राही तापस्थापी/थर्मोस्टेट तथा फोर्टिन बैरोमीटर।



चित्र 27

उपकरण का वर्णन (Description of Apparatus)—प्रयोग में प्रयुक्त उपकरण चित्र 27 में प्रदर्शित है। इसमें कठोर काँच की एक ट्यूब जिसमें प्रायोगिक पदार्थ लिया जाता है, तापस्थापी/थर्मोस्टेट में रखी रहती है जिससे कि ट्यूब को एक निश्चित ताप पर रखा जा सके। एक नली द्वारा यह ट्यूब मैनोमीटर से जुड़ी रहती है जिसकी भुजाओं में पारा भरा रहता हैं।

सिद्धान्त (Principle)—किसी पदार्थ की गैसीय अवस्था उसके क्रान्तिक ताप से नीचे के ताप पर वाष्प तथा उसके क्रान्तिक ताप से ऊपर के ताप पर गैस कहलाती है। वाष्प को द्रवित किया जा सकता है लेकिन गैस को द्रवित नहीं किया जा सकता चाहे उस पर कितना भी अधिक दाब क्यों न आरोपित किया जाए। अत: जब पदार्थ (द्रवित गैस) का ताप धीरे-धीरे बढ़ाया जाता है, तो वह एक ताप (क्रान्तिक ताप के निकट) पर एकदम वाष्प में बदल जाता है तथा जब ताप धीरे-धीरे घटाया जाता है तो वह एक ताप (क्रान्तिक ताप के निकट) पर पुन: द्रव में बदल जाता है। इन दोनों तापों का मध्यमान ही गैस/वाष्प के लिए क्रान्तिक ताप T_c होता है तथा इस ताप के संगत वाष्प का दाब क्रान्तिक दाब P_c कहलाता है।

अब यदि 1 मोल वाष्प का क्रान्तिक आयतन V_c हो, तो

$$\frac{RT_c}{P_cV_c} = \frac{8}{3}$$

अत: क्रान्तिक आयतन $V_c = \frac{3RT_c}{8P_c}$

जहाँ R सार्वत्रिक गैस नियतांक है।

प्रयोग विधि (Procedure)—(1) सबसे पहले काँच की ट्यूब को साफ करके इसमें प्रायोगिक पदार्थ (द्रवित गैस) की पर्याप्त मात्रा लेते हैं तथा उपकरण को चित्रानुसार व्यवस्थित कर लेते हैं।

(2) अब तापस्थापी/थर्मोस्टेट द्वारा ट्यूब के ताप को धीरे-धीरे बढ़ाते हैं तथा वह ताप जिस पर द्रवित गैस एकदम वाष्प में परिवर्तित हो जाती है को पढ़कर नोट कर लेते हैं। इस ताप T_1 के संगत मैनोमीटर की दोनों भुजाओं में पारे के तल की स्थितियों को पढ़कर, उनके अन्तर h_1 को ज्ञात कर लेते हैं।

(3) अब तापस्थापी/थर्मोस्टेट द्वारा ट्यूब के ताप को धीरे-धीरे घटाते हैं तथा वह ताप जिस पर वाष्प पुन: द्रव में परिवर्तित हो जाती है को पढ़कर नोट कर लेते हैं। इस ताप T_2 के संगत मैनोमीटर की दोनों भुजाओं में पारे के तल की स्थितियों को पढ़कर, उनके अन्तर h_2 को ज्ञात कर लेते हैं।

(4) प्रयोग को तीन-चार बार दुहराते हैं।

(5) फोर्टिन बैरोमीटर द्वारा वायुमण्डलीय दाब पढ़कर नोट कर लेते हैं।

प्रेक्षण (Observations)—

(1) T_1 व h_1 तथा T_2 व h_2 के लिए सारणी—

तापमापी का अल्पतमांक = ... °C

क्रमांक	जब द्रवित गैस एकदम वाष्प में परिवर्तित होती है				जब वाष्प पुन: द्रव में परिवर्तित होती है			
	तापस्थापी/थर्मोस्टेट का ताप T_1 (°C में)	मैनोमीटर का पाठ्यांक			तापस्थापी/थर्मोस्टेट का ताप T_2 (°C में)	मैनोमीटर का पाठ्यांक		
		एक भुजा में पारे के तल की स्थिति a (सेमी में)	दूसरी भुजा में पारे के तल की स्थिति b (सेमी में)	अन्तर $h_1 = a \sim b$ (सेमी में)		एक भुजा में पारे के तल की स्थिति a' (सेमी में)	दूसरी भुजा में पारे के तल की स्थिति b' (सेमी में)	अन्तर $h_2 = a' \sim b'$ (सेमी में)
1.	...	...	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...	...	...

3.	...	...	...	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...	...	...	...
	माध्य T_1 = ... °C			**माध्य** h_1 = ... सेमी	**माध्य** T_2 = ... °C			**माध्य** h_2 = ... सेमी

(2) वायुमण्डलीय दाब H = ... सेमी (पारा)

(3) सार्वत्रिक गैस नियतांक R = ... जूल/मोल

(प्रामाणिक सारणी से)

गणना (Calculations)—प्रेक्षणों से,

(i) गैस/वाष्प का क्रान्तिक ताप, $T_c = \frac{T_1 + T_2}{2}$ = ... °C = ... °K

(ii) क्रान्तिक दाब, $P_c = H + \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right)$ = ... सेमी (पारा)

= ... न्यूटन/मीटर^2

(iii) क्रान्तिक आयतन, $V_c = \frac{3RT_c}{8P_c}$ = ... मीटर^3/मोल

परिणाम (Result)—दिये गये पदार्थ (द्रवित गैस) ... का

क्रान्तिक ताप, T_c = ... °C = ... °K

क्रान्तिक दाब, P_c = ... न्यूटन/मीटर^2

क्रान्तिक आयतन, V_c = ... मीटर^3/मोल

प्रामाणिक मान—

क्रान्तिक ताप, T_c = ... °C = ... °K

क्रान्तिक दाब, P_c = ... न्यूटन/मीटर^2

क्रान्तिक आयतन, V_c = ... मीटर^3/मोल

$$\% \text{ त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} \sim \text{प्रयोगात्मक मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

= ... %.

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) काँच की ट्यूब में प्रायोगिक पदार्थ की मात्रा पर्याप्त रूप में लेनी चाहिए ताकि द्रवित गैस का वाष्प में तथा वाष्प का द्रव में परिवर्तित होना ठीक से देखा जा सके।

(2) तापस्थापी/थर्मोस्टेट काफी सुग्राही होना चाहिए क्योंकि ताप में छोटे से परिवर्तित से आयतन में बहुत बड़ा परिवर्तन हो जाता है।

(3) क्रान्तिक ताप के नजदीक, ट्यूब का ताप बहुत धीरे-धीरे बढ़ाना या घटाना चाहिए।

(4) मैनोमीटर की भुजाएँ लम्बी होनी चाहिए क्योंकि क्रान्तिक दाब वायुमण्डलीय दाब की तुलना में बहुत अधिक होता है।

मौखिक प्रश्नोत्तर

प्रश्न 1. आपके प्रयोग का उद्देश्य क्या है ?

उत्तर—गैस/वाष्प का क्रान्तिक नियतांक ज्ञात करना।

प्रश्न 2. किसी पदार्थ के क्रान्तिक ताप से आप क्या समझते हो ?

उत्तर—किसी पदार्थ की गैसीय अवस्था का वह उच्चतम ताप जिस पर गैस को केवल दाब द्वारा ही द्रवित किया जा सकता है, क्रान्तिक ताप कहलाता है।

प्रश्न 3. क्रान्तिक दाब क्या होता है ?

उत्तर—किसी पदार्थ की गैसीय अवस्था को उसके क्रान्तिक ताप पर द्रवित करने के लिए उस पर डाला गया दाब क्रान्तिक दाब कहलाता है।

प्रश्न 4. क्रान्तिक आयतन क्या होता है ?

उत्तर—किसी पदार्थ की 1 मोल गैसीय अवस्था का उसके क्रान्तिक ताप व दाब पर आयतन, क्रान्तिक आयतन कहलाता है।

प्रश्न 5. तीनों क्रान्तिक नियतांक T_c, P_c तथा V_c में क्या सम्बन्ध होता है ?

उत्तर— $\frac{RT_c}{P_cV_c} = \frac{8}{3}$, जहाँ R सार्वत्रिक गैस नियतांक है।

प्रश्न 6. क्या इस प्रयोग से क्रान्तिक आयतन का मान ठीक-ठीक ज्ञात किया जा सकता है ?

उत्तर—नहीं, इस प्रयोग से क्रान्तिक आयतन का लगभग मान ज्ञात किया जा सकता है।

प्रश्न 7. यहाँ पर मैनोमीटर में पारा क्यों उपयोग करते हैं ?

उत्तर—क्योंकि क्रान्तिक दाब वायुमण्डलीय दाब से बहुत अधिक होता है। अत: अधिक घनत्व वाला द्रव उपयोग करने से मैनोमीटर की भुजाओं को बहुत अधिक लम्बा लेने की आवश्यकता नहीं होती है।