भाग (ब)

<u>क्रियाकलाप –1</u>

उद्देश्य : – अवस्था परिवर्तन को प्रेक्षित करना तथा पिघले मोम का शीतलन वक्र खींचना।

उपकरण एवं सामग्री : – बीकर, चौड़ी परखनली, मोम, जल, तापमापी, धातु की जाली, बर्नर, स्टैण्ड तथा विरामघड़ी आदि।

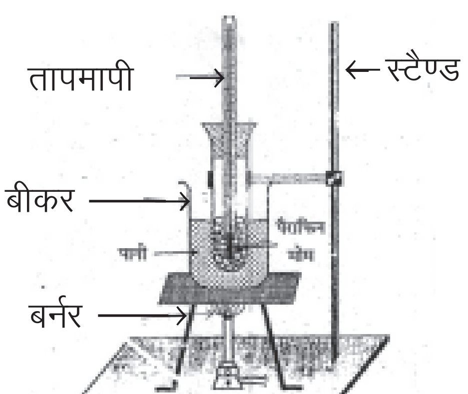
सिद्वांत :– पदार्थ की तीन अवस्थाये होती है –

1. ठोस 2. द्रव 3. गैस

जब ठोस को गर्म करते है तो उसका प्रसार होता है एवं ताप वृद्धि होती है। यदि ठोस को लगातार ऊष्मा देते है तो एक निश्चित ताप (पदार्थ के गलनांक) पर ताप वृद्धि रूक जाती है एवं अवस्था में परिवर्तन होता है।

ठोस अवस्था से द्रव अवस्था में परिवर्तन को गलन कहते हैं। वह नियत ताप जिस पर पदार्थ, ठोस अवस्था से द्रव अवस्था में बदलता है, उसे उस पदार्थ का गलनांक कहते है। पिघलने की क्रिया तात्क्षणिक नहीं है, सम्पूर्ण ठोस, द्रव अवस्था में परिवर्तित होने तक उसका ताप नियत रहता है। ठोस को द्रव में पिघलने मे लगा समय (1) ठोस की प्रकृति (2) ठोस के द्रव्यमान, पर निर्भर करता है।

जब द्रव को ठण्डा किया जाता है तो वह द्रव से ठोस अवस्था में उसी ताप (हिमांक) पर जम जाता है, उस द्रव का ताप तब तक स्थिर रहता है जब तक कि वह पूर्ण रूप से ठोस अवस्था में नहीं बदल जाए।



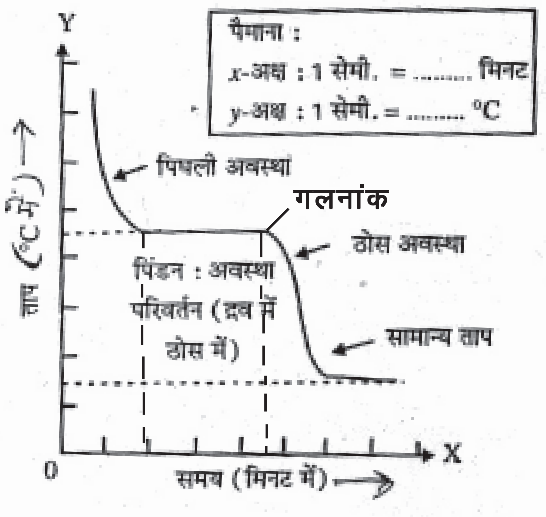
चित्र : मोम को धीरे-धीरे गर्म करने और पिघलने के बाद उसके शीतलन हेतु प्रायोगिक व्यवस्था

विधि –

1. तापमापी का अल्पतमांक व परास नोट करें।
2. विराम घड़ी का अल्पतमांक नोट करें।
3. कमरे का ताप नोट करें।
4. चित्रानुसार बर्नर, तिपाही स्टैण्ड पानी का बीकर, मोम एवं थर्मामीटर सहित परखनली को व्यवस्थित करें।
5. तापमापी को इस प्रकार व्यवस्थित करें कि उसका पाठ्यांक सरलतापूर्वक पढ़ा जा सकें।
6. बीकर में भरे पानी को तब तक गर्म करें जब तक कि सम्पूर्ण मोम पिघल नहीं जायें तथा मोम का गलनांक भी नोंट करें।
7. पिघले मोम को पात्र मे उसके गलनांक से लगभग 20^0C से अधिक ताप तक गर्म करें।
8. बर्नर बंद करें और पानी से भरे पात्र को सावधानीपूर्वक हटा लें।
9. प्रत्येक दो मिनिट बाद ताप नोट करें।
10. X- अक्ष पर समय (मिनिट) तथा Y- अक्ष पर ताप (^{0}C) लेकर ग्राफ खींचे।

11. ग्राफ से (i) मोम का गलनांक ज्ञात करें।

(ii) उस समयान्तराल को नोट करें जिसमें मोम द्रव अवस्था में रहा।



प्रेक्षण –

तापमापी का अल्पतमांक	=	........................^{0}C
तापमापी का परास	=	................^{0}C से .... ^{0}C
कमरे का ताप	=	.... ^{0}C
विराम घड़ी का अल्पतमांक	=	.... सेकण्ड

क्र.सं.	समय (मिनट)	ताप ^0C में
1.	.... मिनट	.... ^0C
2.	.... मिनट	.... ^0C
3.	.... मिनट	.... ^0C
4.	.... मिनट	.... ^0C
5.	.... मिनट	.... ^0C
6.	.... मिनट	.... ^0C
7.	.... मिनट	.... ^0C

परिणाम :– मोम का शीतलन वक्र चित्रानुसार प्राप्त होता है। ग्राफ से स्पष्ट है कि –

(1) प्रारम्भ में तापमान में तेजी से कमी आती है तथा मोम का गलनांक = ... ^0C

(2) मोम द्रव अवस्था में .... सैकेण्ड व ठोस अवस्था .... सैकेण्ड

सावधानियॉ :–

1. मोम से भरी नली को प्रत्यक्ष रूप से गर्म नहीं करनी चाहिए।
2. विराम घड़ी उपकरण से दॉयी और रखी होनी चाहिए जिससे पाठ्यांक लेने में सुविधा होगी।
3. मोम को उसके गलनांक से 20^0C से अधिक ताप नहीं देना चहिए।
4. तापन और शीतलन की प्रक्रिया के समय मोम का ताप प्रत्येक दो मिनट बाद नोट करें।

मौखिक प्रश्न

प्र.1. न्यूटन का शीतलन नियम बताइये।

उ. न्यूटन के शीतलन नियमानुसार ''किसी वस्तु के शीतलन की दर उस वस्तु और वातावरण की वस्तुओं के तापातंर के समानुपाती होती है। जबकि तापान्तर बहुत अधिक न हो।''

प्र.2. शीतलन वक्र से आप क्या समझते है ?

उ. किसी वस्तु के ठण्डा होते समय भिन्न–भिन्न समयों पर उसके ताप को व्यक्त करने वाले ग्राफ

को उस वस्तु का शीतलन वक्र कहते है।

प्र.3. बर्फ के गलनांक पर दाब–वृद्धि का क्या प्रभाव पड़ता है ?

उ. दाब–वृद्धि से बर्फ का गलनांक घट जाता है और बर्फ अधिक सरलता से पिघलता है।

क्रियाकलाप – 2

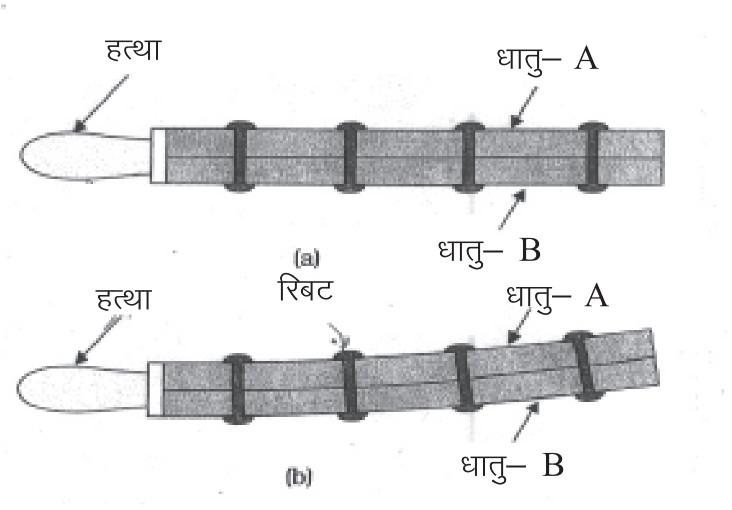
उद्देश्य :– द्विधातुक पट्टिका पर उष्मा के प्रभाव का अध्ययन करना।

उपकरण व अवश्यक सामग्री :– एक लोहे – पीतल की द्विधातुक पट्टिका (लकड़ी के हत्थे सहित) विद्युत हीटर या बर्नर आदि।

युक्ति का वर्णन :– द्विधातुक पट्टिका दो भिन्न धातुओं की परंतु समान आकार की पट्टिकाओं से बनी होती है। ये दोनों धातु की पट्टिकाऐं परस्पर चित्रानुसार रिबिट द्वारा जुड़ी हुई होती है। इनका हत्था लकड़ी का बना होता है जो कि एक सिरे पर द्विधातुक पट्टिका के लगा होता है। द्वि धातुक पट्टिका के लिए ऐसी धातुओं का चयन करते है कि जिनका रेखीय प्रसार गुणांक बहुत अधिक भिन्न हो।

द्वि–धातुक पट्टिका कमरे के ताप पर सीधी होती है। अब द्वि–धातुक पट्टिका को गर्म करते है तो उसकी धातुओं के रेखीय प्रसार भिन्न–भिन्न होने के कारण वह मुड़ जाती है।

सिद्धांत :– किसी छड़ को गर्म करते है तो उसकी लम्बाई में वृद्धि होती है। यदि ताप $t_1{}^0c$ व $t_2{}^0c$ पर छड़ की लम्बाई L_1 व L_2 है तो उसकी लम्बाई वृद्धि $\Delta L = L_2 - L_1$



द्वि धातु पट्टिका (a) सीधी (b) मुडी हुई

गरम करने से लम्बाई में वृद्धि –

1. प्रारम्भिक लम्बाई के समानुपाती होती है। $\Delta L \propto L_1$

2. ताप वृद्धि के समानुपाती होती है। $\Delta L \propto \Delta t$

अतः

$\therefore \Delta L \propto L_1 \Delta t$

यहाॅ $\Delta L = \propto L_1 \Delta t$ यहाॅ $\propto$ धातु का अनुदैर्ध्य प्रसार गुणांक है।

$\Delta L = L_2 - L_1$ तथा $\Delta t = t_2 - t_1$ रखने पर

या $L_2 - L_1 \propto L_1 \Delta t$ ....(1)

या $L_2 = L_1 + \propto L_1 \Delta t$

या $L_2 = L_1 [1 + \propto(t_2 - t_1)]$ ....(2)

$$\propto = \frac{(L_2 - L_1)}{L_1(t_2 - t_1)} \quad ....(3)$$

यदि L_1 = एकांक मात्रक, तथा $(t_2 - t_1) = 1^0C$ हो तो समीकरण (3) से

$$\propto = L_2 - L_1$$

''अतः एकांक लम्बाई की छड़ के ताप में एकांक वृद्धि करने पर उसकी लम्बाई में जो वृद्धि होती है, उसे उस पदार्थ का रैखिक प्रसार गुणांक कहते है।''

रे. प्रसार गुणांक का S.I. पद्धति में मात्रक प्रति केल्विन होता है।

विधि – 1. बर्नर या विद्युत हीटर को चालू करें।

2. द्विधातुक छड़ को क्षैतिज अवस्था में हत्थे से पकड़कर बर्नर/हीटर पर रखे। यह नोट करे कि द्वि–धातुक छड़ की कौन–सी पट्‌टी प्रत्यक्ष रूप से उष्मा के सम्पर्क में है।

3. गर्म होती हुई द्विधातुक पट्‌टिका को प्रेक्षित करें एवं सावधानीपूर्वक नोट करें कि उसका मुक्त सिरा ऊपर या नीचे की ओर मुड़ता है।

4. जिस धातु का रैखिक प्रसार अधिक होगा उसकी सतह उत्तल एवं जिस धातु का रैखिक प्रसार कम है उसकी सतह अवतल होगी।

5. सारणी से दोनों धातुओ के रैखिक प्रसार गुणांक नोट करें, एवं सत्यापित करें कि अधिक रैखिक प्रसार गुणांक वाली धातु की सतह उत्तल एवं कम रैखिक प्रसार गुणांक वाली धातु की सतह अवतल है।

6. द्वि धातुक छड़ को उष्मा के स्त्रोत से हटाकर कमरे के ताप तक ठण्डा होने दो।

7. उपरोक्त पद एक से छः तक द्विधातुक पट्टिका की दूसरी सतह के लिए दोहरायें। एवं धातु की छड़ के मुडने की क्रिया को प्रेक्षित करें।

परिणाम – प्रयोग से स्पष्ट है कि '' दो भिन्न रैखिक प्रसार, गुणांक वाली द्विधातुक छड़ को उष्मा देने पर वह मुड़ जाती है।''

सावधानियाँ – 1. द्वि–धातुक पट्टिका को उच्च ताप पर गर्म किया जाना चाहिए।

2. द्वि–धातुक पट्टी किस ओर मुड़ती है, इसे प्रेक्षित करते रहना चाहिए।

3. दोनों पट्टियाँ परस्पर रिविट द्वारा भली भॉति जुड़ी होनी चाहिए।

4. द्वि–धातुक पट्टिा के प्रत्येक भाग को समान रूप से ऊष्मा देनी चाहिए।

मौखिक प्रश्न

प्र. 1 ऊष्मीय प्रसार को परिभाषित करो।

उ. ऊष्मा के कारण पदार्थ के किसी माप में प्रसार को ऊष्मीय प्रसार कहते है।

प्र.2 ऊष्मा से पदार्थ के प्रसार का क्या कारण है ?

उ. ऊष्मा ऊर्जा से पदार्थ के अणुओं का कम्पन आयाम बढ़ता है अतः पदार्थ में प्रसार होता है।

प्र.3 क्या सभी पदार्थ गर्म करने पर प्रसारित होते है ?

उ. नहीं

प्र.4 ऐसे पदार्थों का उदाहरण दो जो गर्म करने पर सिकुड़ते है?

उ. पानी एवं बिस्मथ (Bi) पानी को 0^0 c से 4^0 c तक गर्म करने पर उसका आयतन सिकुड़ता है। तथा 4^0 c से अधिक गर्म करने पर सामान्य प्रसार होता है।

प्र.5 पानी के असगंत प्रसार का क्या कारण है ?

उ. 0^0 c के पानी में बर्फ की कुछ क्रिस्टलीय सरंचना शेष रहती है जो अधिक स्थान घेरती है। गर्म करने पर यह क्रिस्टलीय संरचना टूटती है अणु निकट आते है एवं आयतन में कमी होती है। 4^0 c पर सभी क्रिस्टलीय संरचना टूट जाती है।

प्र.6 रेखीय प्रसार किसे कहते है ?

उ. ऊष्मा देने पर लम्बाई में वृद्धि (प्रसार) को रेखीय प्रसार कहते है।

प्र.7 रेखीय प्रसार गुणांक किसे कहते है ?

उ. एकांक लम्बाई की छड़ का ताप में एकांक मात्रक से वृद्धि के कारण लम्बाई में वृद्धि उस पदार्थ के रेखीय प्रसार गुणांक के बराबर होती है।

प्र.8 द्वि धातुक ताप स्थायी किसे कहते है? इसका उपयोग कहां करते है?

उ. दो बहुत भिन्न रेखीय प्रसार वाली धातुओं की पत्तियों को रिबिट करके बनाई गई युक्ति को द्वि धातुक ताप स्थायी कहते है। इसका उपयोग गीजर, स्वचालित विद्युत प्रेस, तथा ताप नियंत्रक उपकरणों में किया जाता है।

क्रियाकलाप – 3

उद्देश्य :– किसी पात्र में द्रव को गर्म करने पर उसके तल में परिवर्तन को नोट कर प्रेक्षणों की व्याख्या करना।

उपकरण एवं सामग्री : – एक गोल पेंदे का फ्लास्क (500 ml का), एक पतली केशिका नली (20 सेमी. लम्बी व 2 मिमी. आन्तरिक व्यास की) रबर कार्क जिसमें केशिका लगाई जा सके, ग्लिसरीन, गर्म जल (द्रोणिका में), फ्लास्क को लगाने के लिए स्टैण्ड, ग्राफ पेपर, तापमापी आदि।

सिद्वान्त : – द्रव को पात्र में रखते है। जब द्रव को गर्म करते है तो पात्र भी गर्म होगा। इससे द्रव व पात्र का प्रसार होगा। अतः द्रवों में आभासी प्रसार देखने को मिलता है। अर्थात् –

द्रव का आभासी प्रसार = द्रव का प्रसार – पात्र का प्रसार

द्रव का वास्तविक प्रसार = द्रव का आभासी प्रसार + पात्र का प्रसार, इससे स्पष्ट है कि द्रवों में दो प्रकार का प्रसार होता है –

(1) वास्तविक प्रसार (2) आभासी प्रसार

प्रयोगिक कार्य विधि : –

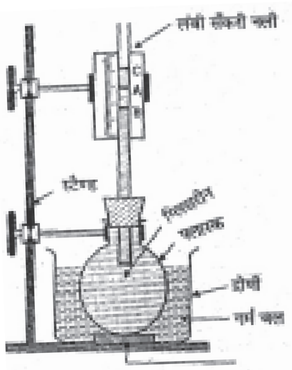
(1) चित्रानुसार उपकरणों को व्यवस्थित करे। फ्लास्क को ग्लिसरीन से भर देते है इस फ्लास्क के मुँह पर मजबूती से कसा जा सकने वाला रबर कार्क लगाते है। इस रबर कार्क के छिद्र में पतली केशनली लगाते है। केशनली में ग्लिसरीन का प्रारम्भिक तल A ग्राफ पेपर पर चिन्हित करते है।

(2) एक द्रोणी (पात्र) में गर्म जल भरे इस पात्र में ग्लिसरीन से भरे फ्लास्क को चित्रानुसार रखकर स्टैण्ड पर कस देते है।

प्रेक्षण : –
1. केशिका नली में ग्लिसरीन का प्रारम्भिक तल A पर हैं।
2. कोशिका नली में ग्लिसरीन का तल पहले नीचे गिर कर B पर आ जाता है और फिर ऊपर उठकर स्थिति C पर आ जाता है जो प्रारम्भिक स्थिति A से ऊपर है।

परिणाम एवं व्याख्या :–

प्रयोग से स्पष्ट है कि द्रव का वास्तविक प्रसार, द्रव के आभासी प्रसार से अधिक होता है। गर्म करने पर



चित्र : द्रव (ग्लिसरीन) का प्रसार

द्रव का तल पहले नीचे (A से B तक) गिरता है तथा बाद में यह ऊँचा (B से C तक) उठता है। इसका कारण यह है कि, प्रारम्भ में यह ऊष्मा काँच के फ्लास्क को प्राप्त होती है तथा काँच के फ्लास्क का प्रसार होता है जिससे द्रव का तल नीचे गिरता है। इसके पश्चात् ऊष्मा द्रव को प्राप्त होती है जिससे, द्रव का प्रसार होता है तथा द्रव का तल ऊँचा उठता है। BC = द्रव का वास्तविक प्रसार, AC = द्रव का आभासी प्रसार

द्रव का वास्तविक प्रसार = द्रव का आभासी प्रसार + उसके पात्र का प्रसार

या $BC = AC + AB$

सावधानियाँ : –

1. द्रव का क्वथनांक अधिक होना चाहिये अन्यथा यह शीघ्रता से वाष्प में परिवर्तित होने लगता है जिससे वास्तविक प्रसार ज्ञात नही हो पाता है।

2. केशिका नली पतली एवं सँकरी होनी चाहिए।

मौखिक प्रश्न

प्र.1. द्रव को गर्म करने पर क्या द्रव का ही प्रसार होता है ?

उ. द्रव को गर्म करने पर द्रव के प्रसार के साथ–साथ पात्र का भी प्रसार होता है।

प्र.2. द्रव के वास्तविक प्रसार एवं आभासी प्रसार से संबंध बताइये।

उ. द्रव का वास्तविक प्रसार = द्रव का आभासी प्रसार + पात्र का प्रसार

प्र.3. केशिका नली में ग्लिसरीन का तल पहले नीचे क्यो गिरता है ?

उ. पहले फ्लास्क ही गर्म जल के सम्पर्क में आता है जिससे फ्लास्क में प्रसार होने के कारण नली में ग्लिसरीन का तल पहले नीचे गिरता है।

प्र.4. जल के क्वथनांक पर दाब – वृद्धि का क्या प्रभाव पड़ता है।

उ. दाब–वृद्धि के कारण जल का क्वथनांक बढ़ जाता है।

प्र.5. क्या इस प्रयोग में गोल पेंदे में फ्लास्क के स्थान अन्य कोई भी पात्र तथा ग्लिसरीन के स्थान पर पानी ले सकते है ?

उ. इस प्रयोग में फ्लास्क के स्थान पर अन्य पात्र एवं ग्लिसरीन के स्थान पर पानी भी ले सकते है।

क्रियाकलाप – 4

उदेद्श्य :– केशनली की सहायता से द्रव के पृष्ठ तनाव पर अपमार्जक (detergent) के प्रभाव का अध्ययन करना।

उपकरण एवं सामग्री :– केशनली, अपमार्जक (ठोस या द्रव) प्लास्टिक स्केल (15 / 30 सेमी.), रबर बैण्ड, स्टैण्ड (क्लेंप सहित), पानी।

सिद्वान्त :– वह पदार्थ जो चिकनाई (ग्रीस, धूल आदि) को किसी सतह से मुक्त कराने के लिए उपयोग में लाते है उसे अपमार्जक कहते है। जब पानी में अपमार्जक मिलाते है तो उसका पृष्ठ तनाव कम हो जाता है। इस तथ्य को केशिका उन्नयन विधि से प्रेक्षित कर सकते है।

जब किसी केशनली को जल में डुबोया जाता है तो जल केशनली में ऊपर चढ़ जाता है। केशनली में चढ़े जल स्तम्भ की h ऊचाई

$$h = \frac{2S\cos\theta}{rdg}$$

यहाॅ S = जल का पृष्ठ तनाव

r = केशनली की आन्तरिक त्रिज्या

g = गुरूत्वीय त्वरण

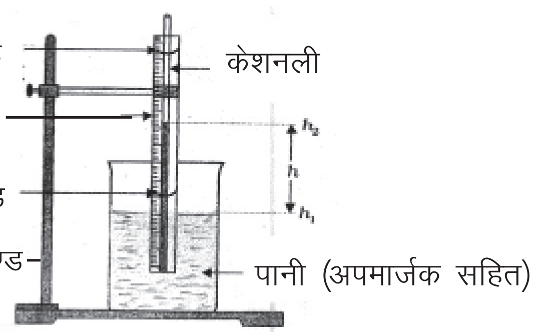
θ = कॉच – जल का स्पर्श कोण

आसुत जल का काँच के लिए $\theta = 8^0$

$\therefore \cos 8^0 \approx 1$

$$\therefore S = \frac{hrdg}{2}$$

अतः किसी निश्चित केशनली के लिए $S \propto h$ अर्थात् जल का पृष्ठ तनाव केशनली में जल स्तम्भ की ऊँचाई के समानुपाती होता है। अब यदि जल में अपमार्जक मिलाते है तो केशनली में जल का स्तम्भ गिर जाता है। जल में अपमार्जक की सान्द्रता बढ़ाते है तो जल स्तम्भ की ऊँचाई ओर कम हो जाती है अर्थात् पृष्ठ तनाव कम हो जाता है।



विधि : –

1. काँच की केशनली को साफ धोकर, सुखाकर स्टैण्ड में ऊर्ध्वाधर कस देते है।
2. काँच के साफ बीकर में जल भर कर उसे केशनली के नीचे रख देते है।
3. एक प्लास्टिक स्केल को रबर बैण्ड की सहायता से केशनली के समान्तर इस प्रकार व्यवस्थित करते है कि उसका नीचे का सिरा जल की सतह में चित्रानुसार डूब जाए।
4. बीकर में जल की सतह का पाठ्यांक h_1 व केशनली में जल की सतह का पाठ्यांक h_2 नोट करें।

   $\therefore$ केशनली में जल स्तम्भ की ऊँचाई $h = h_2 - h_1$

5. केशनली को अन्दर व बाहर से साफ धोकर सुखाते है। पुनः केशनली को स्टैण्ड पर कस देते है एवं रबर बैण्ड की सहायता से प्लास्टिक स्केल केशनली के समान्तर लगा देते है।

6. बीकर में अल्पमात्रा में अपमार्जक मिलाकर प्रयोग दोहरावें एवं जल स्तम्भ की ऊँचाई h' नोट करें। अपमार्जक की मात्रा बढ़ाते है एवं पाठ्यांक (जल स्तम्भ की ऊँचाई) नोट करते हैं।

प्रेक्षण – 1. शुद्ध जल के जल स्तम्भ की ऊँचाई h = ... सेमी

2. अपमार्जक (detergent) विलयन स्तम्भ की ऊँचाई h' = ... सेमी

3. अधिक अपमार्जक मिलाने के बाद विलयन स्तम्भ की ऊँचाई h" = ... सेमी

परिणाम – प्रेक्षण से स्पष्ट है कि h > h' अर्थात जल में अपमार्जक मिलाने पर केशनली में घोल (विलयन) की ऊँचाई में कमी आती है तथा अपमार्जक की सान्द्रता बढ़ाने पर यह ऊँचाई और कम हो जाती है।

सावधानियाँ –

1. केशनली का आन्तरिक व्यास समान होना चाहिये।
2. केशनली को प्रयोग में लेने से पूर्व अच्छी तरह साफ कर लेना चाहिये।
3. जल या विलयन में केशनली ऊर्ध्व रहनी चाहिए।
4. केशनली के दोनों सिरे खुले रहने चाहिये।

संभावित त्रुटि – 1. विलयन व केशनली की अशुद्धि पूर्णतया नही हटा सकते है।

2. केशनली के दोनों सिरे खुले न हो।

मौखिक प्रश्न

प्र.1. द्रव के पृष्ठ तनाव से आप क्या समझते है?

उ. द्रव का मुक्त पृष्ठ एक खींची हुई रबर की झिल्ली के समान व्यवहार करता है जिसकी प्रवृति सदैव अपने क्षेत्रफल को कम करने की होती है। इस प्रकार द्रव का मुक्त पृष्ठ तनाव की स्थिति में रहता है। द्रव के इस गुण को ''पृष्ठ तनाव'' कहते है।

प्र.2. पृष्ठ तनाव की परिभाषा क्या है ?

उ. द्रव के पृष्ठ पर खींची गई एकांक लम्बाई की काल्पनिक रेखा, पर रेखा के लम्बवत पृष्ठ के अनुदिश लगने वाले बल को पृष्ठ तनाव कहते है।

प्र.3. पृष्ठ तनाव का मात्रक क्या है ?

उ. न्यूटन/मीटर $= \frac{\text{जूल}}{\text{मी}^2}$

प्र.4. संसजक बल क्या है ?

उ. दो समान अणुओं के मध्य लगने वाला अन्तराणविक बल।

प्र.5. आसंजक बल क्या है?

उ. दो असमान प्रकार के अणुओं के मध्य लगने वाला अन्तराणविक बल।

प्र.6. आणविक परास क्या होती है।

उ. एक अणु अपने चारों ओर के अणुओं पर जितनी दूरी तक आकर्षण बल लगाता है, आणविक परास कहलाती है।

प्र.7. पृष्ठ ऊर्जा किसे कहते है।

उ. द्रव के पृष्ठ का क्षेत्रफल बढ़ने के लिए कार्य करना पड़ता है। यह कार्य पृष्ठ में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। एकांक क्षेत्रफल की इस ऊर्जा को पृष्ठ ऊर्जा कहते है।

प्र.8. जल का नव चन्द्रक अवतल क्यो होता है?

उ. कांच एवं जल के अणुओं के बीच आसंजक बल, जल के अणुओं के मध्य ससंजक बल से अधिक होता है इस कारण नवचन्द्रक अवतल होता है।

क्रियाकलाप – 5

उद्‌देश्य :– किसी द्रव की ऊष्मा क्षति की दर को प्रभावित करने वाले कारको का अध्ययन करना।

उपकरण एवं सामग्री :– ढ़क्कन युक्त एक जैसे दो ऊष्मामापी A व B तथा तीसरा ऊष्मामापी C जिसका आन्तरिक व्यास A व B का लगभग दुगुना हो, दो तापमापी, विराम घड़ी, बर्नर पानी को गर्म करने के लिए बड़ा पात्र, स्टैण्ड आदि।

सिद्वान्त : – गर्म वस्तु को ठण्डे वातावरण में रखते है तो उससे ऊष्मा की क्षति होने की दर

$$\frac{dQ}{dt} = ms\frac{d\theta}{dt} \text{ होगी} \qquad (\Delta Q = ms\Delta\theta)$$

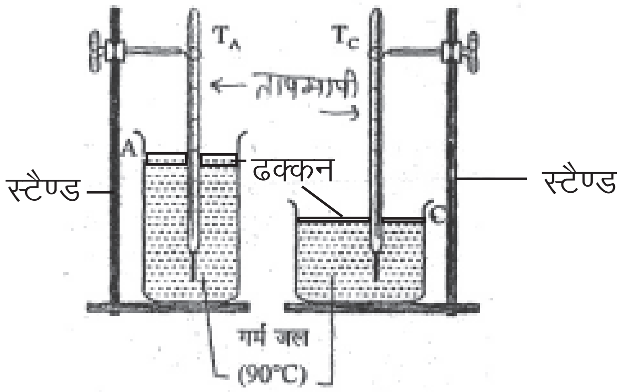
यहॉ m वस्तु का द्रव्यमान, s = वस्तु की विशिष्ट ऊष्माधारिता, $\Delta\theta$ तापान्तर तथा ΔQ ऊष्मा की मात्रा

अतः स्पष्ट है कि ऊष्मा क्षति की दर निम्न कारकों पर निर्भर करती है –

1. ऊष्मा उत्सर्जन करने वाली सतह (मुक्त पृष्ठ) के क्षेत्रफल पर ।

2. ऊष्मा उत्सर्जन करने वाली वस्तु के मुक्त पृष्ठ की भौतिक प्रकृति।

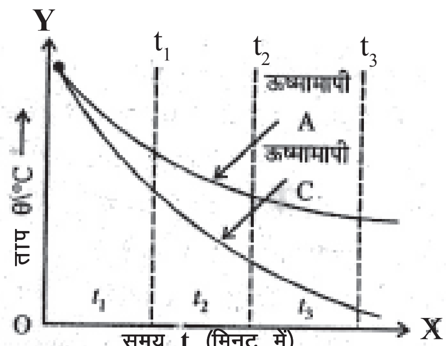
3. ऊष्मा उत्सर्जन करने वाली वस्तु व आसपास के वातावरण के तापान्तर, पर।



चित्र : ऊष्मा के उत्सर्जन पर मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल के प्रभाव का अध्ययन

विधि – (i) ऊष्मा क्षति की दर वस्तु के मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल पर निर्भर करती है –

1. दो समान तापमापी लेकर प्रत्येक का अल्पतमांक ज्ञात कर नोट करे व कमरे का ताप नोट करे।
2. ऊष्मामापी A व C प्रत्येक में 100 मिली. गर्म पानी (लगभग 80^0C पर) ले एवं चित्रानुसार उपकरण व्यवस्थित करें। दोनों तापमापी को गर्म जल मे डुबोए एवं ऊष्मामापी के ढ़क्कन बंद कर प्रत्येक एक मिनट बाद ताप नोट करें एवं बाद में प्रत्येक दो मिनट बाद नोट करें (कमरे के ताप से $15 - 20^0C$ ताप ऊपर तक)।
3. ऊष्मामापी A व C के ताप θ व समय (मिनट में) ग्राफ खीचते है। ग्राफ के ढाल से स्पष्ट है कि ऊष्मा क्षति की दर ऊष्मा उत्सर्जन करने वाली वस्तु के मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल के समानुपाती होती है।



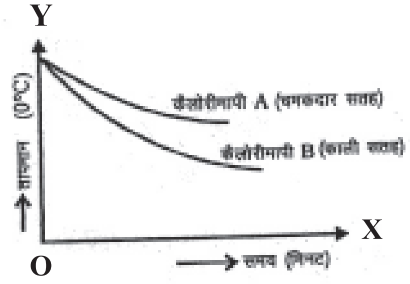
चित्र : ऊष्मामापी C और A में ठंडा हो रहे जल का शीतलन वक्र. ऊष्मामापी A की तुलना में ऊष्मामापी C में रखे जल के मुक्त पृष्ठ का क्षेत्रफल अधिक है।

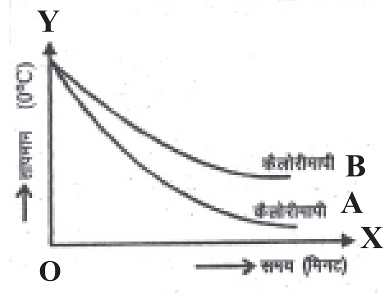
(ii) ऊष्मा क्षति की दर वस्तु के मुक्त पृष्ठ की भौतिक प्रकृति पर निर्भर करती है –

(1) दो समान ऊष्मामापी A व B लेते है जिसमें A की बाहरी सतह चमकीली व B की बाहरी सतह काली है।

(2) दोनों ऊष्मामापी A व B में समान मात्रा एवं ताप (लगभग 80^0C) का पानी डालकर तापमापी व्यवस्थित करते है। प्रत्येक एक मिनट बाद दोनों तापमापी से ताप नोट कर शीतलन वक्र बनाते है।

(3) ग्राफ से स्पष्ट है कि काले पृष्ठ तल से ऊष्मा की क्षति अधिक तेजी से होती है।





(iii). ऊष्मा क्षति की दर ऊष्मा उत्सर्जन कर रही वस्तु और आस पास की वस्तुओं के तापांतर पर निर्भर करती है –

(1) दो ऊष्मामापी (समान) A और B लेते है। ऊष्मामापी A में 90^0C ताप पर, B में 60^0C ताप पर 100 मिली जल डालते है। इनमें क्रमशः तापमापी T_A व T_B ऊर्ध्वाधर डुबाकर स्टैण्ड से इस प्रकार कस देते है कि दोनों तापमापी के बल्ब जल में पूर्णतः डूबे हो।

(2) दोनों का ताप प्रत्येक एक मिनट में नोट करते है और बाद में प्रत्येक दो मिनट में नोट करे। समय व ताप में शीतलन वक्र खीचते है।

(3) ग्राफ से स्पष्ट है कि ऊष्मामापी A के जल की शीतलन दर ऊष्मामापी B के जल की शीतलन दर से अधिक है। अतः स्पष्ट है कि वस्तु के ऊष्माक्षति की दर वस्तु व आस–पास के वातावरण के तापन्तर पर निर्भर करती है।

प्रत्येक ग्राफ पर स्पर्श रेखा खीचकर उस का ढाल ज्ञात कर शीतलन की दर ज्ञात करते है।

प्रेक्षण –

1. तापमापी की अल्पमांक = ...^0C

2. कमरे का ताप = ...^0C

सारणी – 1 (ऊष्मा क्षति पर मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल का प्रभाव)

क्र.सं.	उष्मामापी A		उष्मामापी C	
	समय	ताप (θ_A)	समय	ताप (θ_c)
1.	.... मिनट	..............^0C	.... मिनट	..............^0C
2.	.... मिनट	..............^0C	.... मिनट	..............^0C
3.	.... मिनट	..............^0C	.... मिनट	..............^0C
–				
–				
–				
15.	.... मिनट	..............^0C	.... मिनट	..............^0C

सारणी – 2 (ऊष्मा क्षति पर मुक्त पृष्ठ की भौतिक प्रकृति का प्रभाव)

क्र.सं.	उष्मामापी A बाहरी चमकीली सतह		उष्मामापी B बाहरी सतह काली	
	समय	ताप (θ_A)	समय	ताप (θ_B)
1.	.... मिनट	..............^0C	.... मिनट	..............^0C
2.	.... मिनट	..............^0C	.... मिनट	..............^0C
3.	.... मिनट	..............^0C	.... मिनट	..............^0C
-				
-				
-				
15.	.... मिनट	..............^0C	.... मिनट	..............^0C

सारणी – 3 (ऊष्मा क्षति पर वस्तु और वातावरण का तापातंर का प्रभाव)

क्र.सं.	उष्मामापी A उच्च ताप पर		उष्मामापी B कम ताप पर	
	समय	ताप (θ_A)	समय	ताप (θ_B)
1.	.... मिनट	...............^{0}C	.... मिनट	...............^{0}C
2.	.... मिनट	...............^{0}C	.... मिनट	...............^{0}C
3.	.... मिनट	...............^{0}C	.... मिनट	...............^{0}C
-				
-				
-				
15.	.... मिनट	...............^{0}C	.... मिनट	...............^{0}C

परिणाम – अतः स्पष्ट है कि जल के मुक्त पृष्ठ से ऊष्मा क्षति की दर –

1. मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल में वृद्धि होने पर बढ़ती है।
2. पृष्ठ तल को काला कर देने पर बढ़ती है।
3. आस–पास के वातावरण से विकिरक पृष्ठ तल का ताप अधिक होने पर बढ़ती है।

सावधानियाँ –

1. प्रयोग के समय ऊष्मामापी में जल को हिलाना नहीं चाहिए।
2. शीतलन वक्र खींचते समय ध्यान रखना चाहिए कि वक्र सभी बिन्दुओं से होकर गुजरे तथा खींचा गया वक्र बड़ा तथा स्पष्ट हो।
3. स्पर्श रेखाएँ सावधानी पूर्वक खींचनी चाहिए तथा वक्र की प्रवणता का निर्धारण शुद्धता पूर्वक किया जाना चाहिए।

मौखिक प्रश्न –

प्र.1. किसी तप्त वस्तु से ऊष्मा हानि की दर किन–किन बातों पर निर्भर करती हैं ?

उ. वस्तु से ऊष्मा हानि की दर उसके पृष्ठ के क्षेत्रफल, प्रकृति तथा वस्तु तथा समीपवर्ती माध्यम के तापान्तर पर निर्भर करती है।

प्र.2. किसी तप्त द्रव की ऊष्मा हानि की दर तथा ठण्डा होने की दर में क्या अंतर है?

उ. तापगिरने की दर को ठण्डा होने की दर कहते है। एकांक समय में ऊष्मीय ऊर्जा में कमी आने की दर को ऊष्मा हानि की दर कहते है।

प्र.3. आदर्श कृष्णिका से आप क्या समझते हो?

उ. वह वस्तु जो अपने तल पर आपतित सम्पूर्ण विकिरण को पूर्णतः अवशोषण कर लेती है, आदर्श कृष्णिका कहलाती है।

प्र.4. स्टीफन का नियम क्या है ?

उ. किसी कृष्ण पृष्ठ के एकांक क्षेत्रफल से प्रतिसेकण्ड विकिरित होने वाली ऊष्मा की दर उस वस्तु के परमताप के चतुर्थ घात के समानुपाती होती है। अर्थात् – $E \propto T^4$ या $E = \sigma\ T^4$

प्र.5. प्रिवोस्ट का ऊष्मा विनिमेय सिद्धान्त क्या है ?

उ. प्रत्येक वस्तु प्रत्येक ताप पर विकिरण उत्सर्जित व अवशोषित करती है अर्थात् वस्तु तथा वातावरण के मध्य हर समय विकिरण का आदान–प्रदान होता रहता है। अधिक ताप पर उत्सर्जन की दर बढ़ जाती है। यदि वस्तु का ताप वातावरण से अधिक होता है तो उसके द्वारा कुल ऊष्मा की हानि होती है। वस्तु का ताप वातावरण से कम होने पर उसके द्वारा कुल ऊष्मा अवशोषित होती है।

क्रियाकलाप – 6

उद्देश्य –

उचित रूप से कसे हुए मीटर स्केल के झुकाव पर भार का अध्ययन करना जबकि भार (i) एक सिरे पर आरोपित हो (ii) ठीक मध्य में आरोपित हो।

(i) भार मीटर पैमाने के एक सिरे पर आरोपित है तो उसका झुकाव (अवनमन)

उपकरण –

दो मीटर स्केल (कैंटी लीवर के रूप में), कसने के लिए क्लैम्प, हैंगर सहित बाँट (10,20 व 50 ग्राम के), धागा, आलपिन, सेलो टेप आदि।

सिद्धान्त –

कैंटीलीवर (मीटर स्केल) जिसकी लम्बाई l है जो एक सिरे पर शिकंजे से कसा हुआ है तथा दूसरे मुक्त सिरे पर भार (बल) द्वारा भारित है तो अवनमन

$$y = \frac{Mg\, l^3}{3Y\frac{(bd^3)}{12}}$$

या $$y = \frac{4Mg\, l^3}{Ybd^3}$$

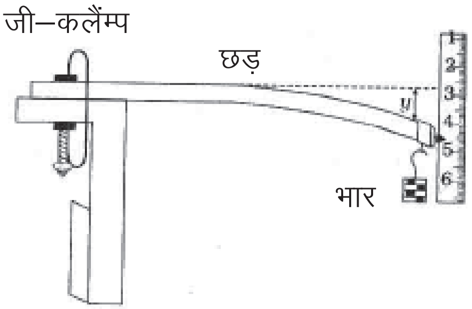
यहाँ l = समकोणीय कैंटीलीवर की लम्बाई

b = समकोणीय कैंटीलीवर की चौड़ाई

d = समकोणीय कैंटीलीवर की मोटाई

Y = छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक है।

कैंटीलीवर के अवनमन पर भार के प्रभाव का अध्ययन करने के लिए यह आवश्यक है कि एक सिरा शिकंजे से कसे तथा दूसरे सिरे पर भार लटकाएं। मीटर पैमाने के मुक्त सिरे पर निलम्बित भार में परिवर्तन के मान व अवनमन परिवर्तन के माध्य रैखिक सम्बंध होता है।



विधि –

1. क्लैंप का प्रयोग करके मीटर पैमाने को प्रायोगिक मेज के किनारे से मजबूती से इस प्रकार कसते है कि पैमाने की लम्बाई चौड़ाई क्षैतिज तल में हो और लगभग 90 सेमी लम्बाई बाहर निकली हुई हो। स्टैंड पर दूसरे मीटर पैमाने को ऊर्ध्व कसे जिससे अवनमन ज्ञात कर सके।
2. ऊर्ध्वाधर मीटर पैमाने का अल्पतमांक नोट करते है। क्षैतिज मीटर पैमाने के दूसरे मुक्त सिरे पर धागे का एक पाश कस कर बाँधते है और पाश के नीचे एक आलपिन लगाते है तथा आलपिन को सेलो टेप की सहायता से स्थिर कर देते है जिससे वह संकेतक के रूप में कार्य करने लगे। कैंटीलीवर के रूप में प्रयुक्त मीटर पैमाने पर कोई भार न होने की स्थिति में संकेतक द्वारा प्रदर्शित पाठ्यांक नोट करते है।
3. कैंटीलीवर के सिरे पर अवनमन उत्पन्न करने के लिए 50 ग्राम का एक हैंगर लटकाते है जिस पर खाँचेदार बांट रखे जा सके। यदि बांट रखने पर बहुत अधिक अवनमन हो जाता है तो छोटे मान के बांट अर्थात् 20 ग्राम या 10 ग्राम के बांट प्रयोग में लाते है।

4. ऊर्ध्वाधर पैमाने पर संकेतक का पाठ्यांक लेते है और प्रेक्षण नोट करते है। हैंगर पर 50–50 ग्राम के बाट रखते हैं और प्रत्येक बार बाट रखने के बाद संकेतक का कम्पन रूक जाने पर उसका ऊर्ध्व पैमाने पर पाठ्यांक नोट करते है।

इस प्रकार भार में वृद्धि करते हुए 6–7 प्रेक्षण लेते है। अब धीरे से एक –एक करके हैंगर पर से खाँचेदार बाट हटाते है और प्रत्येक बार बॉट हटाने पर संकेतक के स्थिर हो जाने पर उसका ऊर्ध्व पैमाने पर पाठ्यांक नोट करते हैं।

5. अवनमन (y) तथा आरोपित भार में ग्राफ खींचते है।

प्रेक्षण –

कैंटीलीवर की लम्बाई l = ... सेमी

कैंटीलीवर की चौड़ाई b = ... सेमी

कैंटीलीवर की मोटाई d = ... सेमी

क्र. सं.	स्केल पर भार	पैमाने के मुक्त सिरे का पाठ्यांक			अवनमन $y = l - l_0$
		l_1 जब भार वृद्धि करते है	भार घटाते समय l_2	माध्य $l = \frac{l_1 + l_2}{2}$	
1	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी
2	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी
3	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी
4	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी
5	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी
6	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी

गणना– अवनमन (y) तथा आरोपित भार में खींचते हैं जो कि एक सरल रेखा प्राप्त होती है। (चित्रानुसार)

कैंटीलीवर का बिना भार के पाठ्यांक (प्रा.स्थिति) l_0 = ... सेमी

परिणाम –

अवनमन तथा आरोपित भार के मध्य ग्राफ एक सरल रेखा प्राप्त होती है इससे सिद्ध होता है कि $y \propto M$ होगा।

सावधानियाँ –

1. प्रारम्भ में बिना भार लटकाये प्रेक्षण लेना चाहिए क्योंकि मीटर पैमाने के स्वयं के भार से भी अवनमन हो सकता है।
2. छड़ (पैमाने) को प्रत्यास्थता सीमा से अधिक भारित नहीं करना चाहिए।
3. पाठ्यांक के समय छड़ में कोई कम्पन गति नहीं होनी चाहिए।
4. बांटो को हटाते समय पाठ्यांक दोहराने चाहिए।
5. पाठ्यांक नोट करते समय दृष्टि संकेतक पिन व ऊर्ध्व पैमाने के लम्बवत होनी चाहिए।
6. मीटर पैमाने को क्लेपं द्वारा दृढ़तापूर्वक कसना चाहिए।

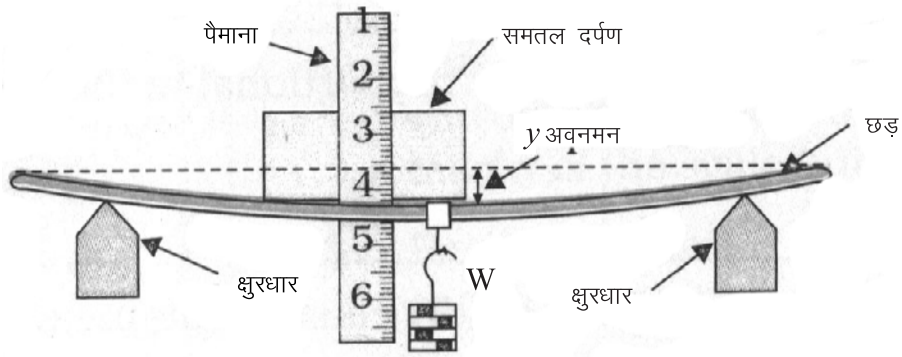
(ii) मीटर पैमाने का झुकाव (अवनमन) जबकि भार उसके मध्य में आरोपित हो –

उपकरण –

मीटर पैमाना, मीटर पैमाने को टिकाने के लिए दो तीक्ष्ण क्षुरधार, हैंगर, धागा, खाँचेदार 200 ग्राम के बांट, समतल दर्पण, अन्यमीटर पैमाना व उसे कसने के लिए स्टैण्ड, संकेतक व प्लेस्टिसिन आदि।

युक्ति का वर्णन –

चित्रानुसार एक मीटर पैमाने को दो तीक्ष्ण क्षुरधारों पर इस प्रकार व्यवस्थित है कि इनके दोनों ओर मीटर पैमाना समान रूप बाहर निकला हो तथा मीटर पैमाने का मध्य बिन्दु (50 सेमी) इनके मध्य में हो। मध्य बिन्दु से संकेतक मोम से लगा देते है। इस मध्य बिन्दु से हैंगर लटका देते है। एक मीटर पैमाना स्टैण्ड पर उर्ध्व कस देते है व संकेतक के पास रख देते है जिससे पाठ्यांक नोट कर सके। ऊर्ध्व स्केल पर समतल दर्पण की पट्टिका लगा देते है।



छड़ के मध्य हैंगर द्वारा भार स्थापित करने पर अवनमन

सिद्धांत –

जब L लम्बाई, b चौड़ाई व d मोटाई की छड़ (मीटर पैमाना) को क्षुरधार पर टिका कर मध्य में हैंगर से बांट W (भार) लटकाते है तो उसमें उत्पन्न अवनमन

$$y = \frac{Wl^3}{4bd^3Y}$$

$$y \propto W$$

यहाँ $W = Mg$

M = हैंगर व बांट का द्रव्यमान

Y = छड़ का प्रत्यास्थता गुणांक

l = क्षुरधारों के बीच की दूरी

विधि –

1. मीटर पैमाने (छड़) की लम्बाई, चौड़ाई और मोटाई माप लेते है तथा मीटर व पैमाने को दो क्षुरधार पर इस प्रकार टिकाते है कि 10 सेमी भाग दोनो और बाहर निकला हो।
2. छड़ के मध्य में एक धागे का पाश बांध कर उससे हैंगर से लटका देते है। निश्चित करते है कि धागा दण्ड से मजबूती से बंधा हो और खिसके नही।
3. छड़ के रूप में प्रयुक्त क्षैतिज मीटर स्केल के पीछे एक अन्य मीटर स्केल को स्टैण्ड पर ऊर्ध्वाधर कस कर व्यवस्थित करते है।
4. छड़ के रूप में प्रयुक्त मीटर पैमाने के पीछे एक समतल दर्पण पट्टिका को एक तिपाई पर प्लैस्टिन की सहायता से लगाते है। यदि कोई लम्बन (Parallax) त्रुटि हो तो उसे दूर कर लेते है।

5. पाश से हैंगर लटका कर पाठ्यांक नोट करते है। हैंगर पर क्रमिक रूप से 200–200 ग्राम के खाचेदार बांट लटका कर संकेतक से पाठ्यांक नोट करते है। इस प्रकार 7 – 8 प्रेक्षण नोट करते है।
6. अब इन बांटो को हटाते है एवं पुनः पाठ्यांक नोट करते है।
7. अवनमन (y) तथा भार (W=Mg) के मध्य ग्राफ खींचते है। यह ग्राफ एक सरल रेखा प्राप्त होती है।

प्रेक्षण –

मीटर स्केल (छड़) की चौड़ाई b = ... सेमी

मीटर स्केल (छड़) की मोटाई d = ...सेमी

क्षुरधारों के बीच की दूरी l = ... सेमी

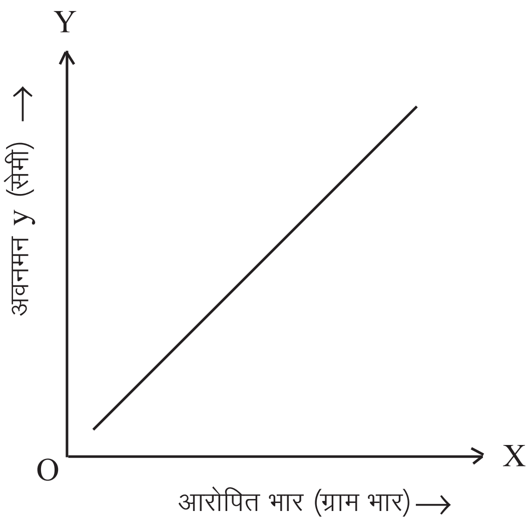
....

मीटर पैमाने पर आरोपित विभिन्न भारों के साथ उत्पन्न अवनमन के लिये सारिणी

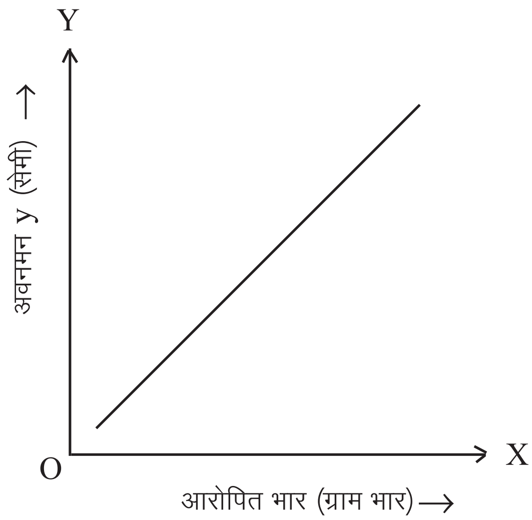
क्र. सं.	भार	पैमाने के मध्य बिन्दु का पाठ्यांक			भार से अवनमन (y)	अवनमन प्रति इकाई द्रव्यमान $\left(\frac{y}{m}\right)$	माध्य $\frac{y}{m}$
		भार वृद्धि के समय	भार घटाते समय	माध्य			
1	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी / ग्राम	.... सेमी / ग्राम
2	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी / ग्राम	
3	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी / ग्राम	
----	....	....	....	....	....	....	
----	....	....	....	....	....	....	
8	.... ग्राम भार	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी	.... सेमी / ग्राम	

ग्राफ –

अवनमन तथा लटकाये गये भार में ग्राफ खींचते है जो कि चित्रानुसार एक सरल रेखा होता है।



(a) जब भार छड़ के सिरे पर आरोपित हो



(b) जब भार छड़ के मध्य में आरोपित हो

परिणाम –

ग्राफ से स्पष्ट है कि छड़ का अवनमन उस पर लटकाये गये भार के समानुपाती होता है। अर्थात् अवनमन में वृद्धि भार मे वृद्धि के समानुपाती होती है।

सावधानियाँ–

1. मीटर पैमाना क्षुर धार पर स्थित होना चाहिए।
2. बांटो को धीरे–धीरे रखना या हटाना चाहिए।
3. लटकाया गया भार प्रत्यास्थता सीमा के अंदर होना चाहिए।
4. मीटर स्केल के पाठ्यांक नोट करते समय दर्पण पट्टी का उपयोग करना चाहिए जिससे लम्बन दोष के कारण उत्पन्न त्रुटि को दूर किया जा सके।

संभावित त्रुटि –

1. संभव है कि लटकाए गए बांट मानकरूप से सही नहीं है।
2. संभव है कि प्रयुक्त मीटर स्केल की सम्पूर्ण लम्बाई में मोटाई और घनत्व एक समान न हो।
3. संभव है कि पाठ्यांक नोट करते समय दृष्टि लम्बवत् न हो।

मौखिक प्रश्न –

प्र.1. क्या दंड में कुछ ऐसे तंतु भी होते है जो न तो विस्तारित होते है और न ही संपीडित?

उ. हॉ दण्ड में कुछ ऐसे तंतु भी होते है जो अपरिवर्तित रहते है या जिनमें कोई विकृति उत्पन्न नहीं होती है।

प्र.2. वे धरन मे कहाँ अवस्थित होते है?

उ. वे उदासीन संस्तर या उदासीन सतह में अवस्थित होते है।

प्र.3. कैंटीलीवर के रूप में प्रयुक्त दण्ड की ज्यामितीय आकृति क्या है?

उ. कैंटीलीवर के रूप में समकोणीय दंड का प्रयोग किया जाता है।

प्र.4. प्रयुक्त समकोणीय दंड के ज्यामितीय जड़त्व आघूर्ण को किस व्यंजक द्वारा व्यक्त किया जाता है?

उ. समकोणीय दण्ड के लिए

$$Ig = \frac{bd^3}{12}$$

यहॉ b = दण्ड की चौडाई

d = दण्ड की मोटाई

प्र.5. उदासीन संस्तर के संदर्भ में दो प्रकार के तंतु जिनमें से एक विस्तारित और दूसरा संकुचित होता है, कहाँ अवस्थित होते है?

उ. ये दोनों प्रकार के तंतु उदासीन संस्तर के दोनों ओर अवस्थित होते हैं विस्तारित होने वाले तंतु मुड़ी हुई धरन के बाहर की ओर तथा संकुचित होने वाले तंतु मुडी हुई धरन के भीतर की ओर अवस्थित होते है।

प्र.6. मुड़ी हुई धरन के अनुदिश वक्रता में किस प्रकार परिवर्तन होता है?

उ. वक्रता मध्य में न्यूनतम होती है और दोनों सिरों की ओर बढ़ती जाती है।

प्र.7. मुडी हुई धरन के अनुदिश R (वक्रता त्रिज्या) किस प्रकार परिवर्तित होती है?

उ. वक्रता त्रिज्या R धरन के मध्य में अधिकतम होती है और दोनों सिरो की ओर कम होती जाती है।

प्र.8. यदि आप समकोणीय दंड के स्थान पर बेलनाकार दण्ड प्रयोग में लाएँ तो I का क्या मान होगा?

उ. वृताकार अनुप्रस्थ परिच्छेद के दंड अर्थात् बेलनाकार दंड के संबंध में

$$Ig = \frac{\pi r^4}{4}$$

r = त्रिज्या

प्र.9. धरन के अनुप्रस्थ परिच्छेद के ज्यामितीय जडत्व आधूर्ण से आप क्या समझते है?

उ. यह जड़त्व आधूर्ण के सदृश एक राशि है, किंतु इसमें केवल यह अतंर होता है कि इसमें द्रव्यमान के स्थान पर धरन के अनुप्रस्थ परिच्छेद के क्षेत्रफल का प्रयोग किया जाता है।