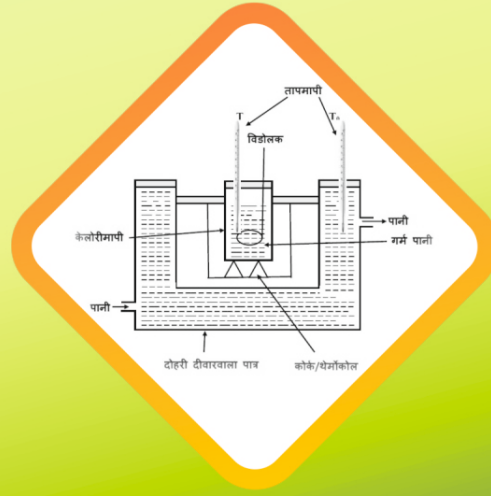


कक्षा
11

प्रायोगिक भौतिक विज्ञान



माध्यमिक शिक्षा बोर्ड राजस्थान, अजमेर

प्रायोगिक भौतिक विज्ञान

(उच्च माध्यमिक (कक्षा-11) भौतिक विज्ञान की प्रायोगिक परीक्षा के लिये माध्यमिक शिक्षा बोर्ड, राजस्थान, अजमेर द्वारा स्वीकृत पाठ्य पुस्तक)



माध्यमिक शिक्षा बोर्ड, राजस्थान, अजमेर

प्रायोगिक भौतिक विज्ञान

(उच्च माध्यमिक (कक्षा-11) भौतिक विज्ञान की प्रायोगिक परीक्षा के लिये माध्यमिक शिक्षा बोर्ड, राजस्थान, अजमेर द्वारा स्वीकृत पाठ्य पुस्तक)

संयोजक : प्रो. मनोहर लाल कालरा
पूर्व कुलपति
कोटा विश्वविद्यालय, कोटा

लेखकगण

डॉ. नारायण लाल हेड़ा
सहायक आचार्य (भौतिक विज्ञान)
कोटा विश्वविद्यालय, कोटा

डॉ. महावीर सिंह यादव
व्याख्याता (भौतिक विज्ञान)
राजर्षि महाविद्यालय, अलवर

दिनेश सिंह शेखावत
प्रधानाचार्य
राजकीय उच्च माध्यमिक विद्यालय,
आष्टीकलां, जयपुर

अनिल कुमार गुप्ता
व्याख्याता (भौतिक विज्ञान)
श्री गोविन्द सिंह गुर्जर राजकीय महाविद्यालय
नसीराबाद, (अजमेर)

रक्षपाल सिंह
प्रधानाचार्य
राजकीय उच्च माध्यमिक विद्यालय, बगड़ी,
सीकर

अनूप सिंह जोधा
व्याख्याता (भौतिक विज्ञान)
शैक्षिक प्रौद्योगिकी विभाग राजस्थान, अजमेर

आमुख

प्रायोगिक भौतिक विज्ञान की यह पुस्तक माध्यमिक शिक्षा बोर्ड, राजस्थान द्वारा प्रस्तावित नवीन पाठ्यक्रमानुसार कक्षा 11 के विद्यार्थियों के लिए लिखी गई है।

विज्ञान के अध्ययन में प्रायोगिक कार्य का विशिष्ट महत्त्व है। भौतिक विज्ञान की सैद्धान्तिक अभिधारणाओं को समझने में प्रायोगिक कार्य एक महत्त्वपूर्ण कड़ी की भूमिका अदा करते हैं। कुछ करते हुए सीखना (Learning by Doing) केवल सैद्धान्तिक ज्ञान से कई गुना बेहतर होता है। प्रयोग करते समय अधिक सूझबूझ, धैर्य, तन्मयता, तीक्ष्ण दृष्टि एवं कौशल की आवश्यकता होती है। अतः प्रायोगिक विज्ञान का अभ्यास एक विद्यार्थी में उपरोक्त एवं अन्य कई गुणों के विकास में भी सहायक सिद्ध होता है।

इस पुस्तक में बोर्ड के नवीन पाठ्यक्रम के अनुसार प्रायोगिक कार्यों को दो भागों में बाँटा गया है – प्रथम भाग में दो अनुभागों में वृहत् प्रयोगों को समाहित किया गया है तथा द्वितीय भाग में दो अनुभागों में विद्यार्थियों द्वारा करणीय क्रियाकलापों का वर्णन है।

पुस्तक को सरल एवं सुबोध भाषा में लिखते हुए प्रत्येक प्रयोग के लिए प्रायोगिक उपकरणों एवं आवश्यक सामग्री आदि का नामांकित चित्रों द्वारा वर्णन किया गया है। सिद्धान्त, प्रेक्षण, गणना, सावधानियाँ आदि प्रयोगों के प्रमुख भागों का सूत्र, सारिणी, आरेख आदि का उपयोग करते हुए विस्तार से वर्णन किया गया है, जिससे एक विद्यार्थी में अपने आप प्रयोग कर सकने की क्षमता का विकास हो सके। प्रत्येक प्रयोग के अन्त में कुछ मौखिक प्रश्न उत्तर सहित दिये गये हैं जो विद्यार्थी की जानकारी को संवर्धित कर उसे परीक्षा की तैयारी करने में सहायक सिद्ध होंगे।

प्रयोगों में तकनीकी शब्दों को हिन्दी भाषा के साथ-साथ यथा सम्भव अंग्रेजी में कोष्ठकों में प्रस्तुत किया गया है। पुस्तक के अन्त में हिन्दी शब्दावली अंग्रेजी के समतुल्य शब्दों के साथ दी गई है।

आशा है, प्रस्तुत पुस्तक विद्यार्थियों में प्रायोगिक भौतिक विज्ञान के प्रति आकर्षण पैदा कर उनके कौशल का विकास करने में सहायक सिद्ध होगी।

पुस्तक में त्रुटियों की उपस्थिति से इन्कार नहीं किया जा सकता। भविष्य के संस्करणों में इनके सुधार हेतु विद्वान अध्यापकों एवं विद्यार्थियों के बहुमूल्य सुझावों का स्वागत है।

संयोजक
लेखक समिति

विषय सूची

प्रयोगों की सूची

अनुभाग (अ)

1.	वर्नियर कैलीपर्स	1
1(i)	वर्नियर कैलीपर्स द्वारा दिये गये नियमित आकार के पिण्ड की विमाएँ मापना एवं उसका घनत्व ज्ञात करना।	3
1(ii)	वर्नियर कैलीपर्स द्वारा दिये गये पात्र का आन्तरिक व्यास एवं गहराई मापकर इसका आयतन ज्ञात करना।	6
2.	स्क्रूगेज अथवा पेंचमापी	9
2(i)	स्क्रूगेज की सहायता से दिये गये तार का व्यास ज्ञात करना।	10
2(ii)	स्क्रूगेज की सहायता से दी गई शीट की मोटाई ज्ञात करना।	12
3.	गोलाईमापी अथवा स्फेरोमीटर : गोलाईमापी की सहायता से दी गई गोलीय सतह की वक्रता त्रिज्या ज्ञात करना।	15
4.	किसी दिये गये पिण्ड का भार सदिशों के समान्तर चतुर्भुज के नियम की सहायता से ज्ञात करना।	21
5.	सरल लोलक की सहायता से गुरुत्वीय त्वरण g का मान ज्ञात करना तथा सेकण्ड लोलक की लम्बाई ज्ञात करना।	23
6.	सीमान्त घर्षण एवं अभिलम्ब प्रतिक्रिया बल के मध्य सम्बन्ध का अध्ययन करना तथा एक क्षैतिज सतह एवं किसी पिण्ड के मध्य घर्षण गुणांक ज्ञात करना।	27
7.	नियमित आकार वाले पिण्ड का जडत्व आघूर्ण दोलन विधि द्वारा ज्ञात करना।	30
8.	एक नत तल के अनुदिश एक रोलर पर पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण के कारण नीचे की ओर लगने वाले बल का मान ज्ञात करना तथा आनत कोण के साथ इसके संबंध का अध्ययन करना।	35
9.	स्प्रिंग पर भार लटका कर उसका बल नियतांक (Force constant) ज्ञात करना।	38

अनुभाग (ब)

1.	दिये गये तार के पदार्थ का सर्ल के उपकरण से यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना।	42
2.	केशिका नली उन्नयन विधि द्वारा पानी का पृष्ठ तनाव ज्ञात करना।	46
3.	न्यूटन के शीतलन के नियम का सत्यापन करना।	52
4(i)	स्वरमापी की सहायता से डोरी के अनुप्रस्थ कम्पन नियम $n \propto \frac{1}{l}$ का सत्यापन करना।	57

4(ii)	स्वरमापी की सहायता से डोरी के अनुप्रस्थ कम्पन नियम $(n \propto \sqrt{T})$ का सत्यापन करना।	60
5.	स्वरमापी की सहायता से किसी स्वरित्र की आवृत्ति ज्ञात करना।	63
6.	अनुनाद नली की सहायता से वायु में ध्वनि का वेग ज्ञात करना (तीन विभिन्न आवृत्ति वाले स्वरित्रों के साथ) तथा आवृत्ति एवं अनुनादित लम्बाई के मध्य ग्राफ खींचना।	67
7.	दिये गये श्यान द्रव में एक गोलाकार पिण्ड का अंतिम वेग मापना एवं द्रव का श्यानता गुणांक ज्ञात करना।	71
8.	नियत ताप पर वायु के प्रतिदर्श के लिए दाब के साथ आयतन में परिवर्तन का अध्ययन करना।	76
9.	मिश्रण विधि से दिये गये (i) ठोस (ii) द्रव की विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात करना।	81

क्रियाकलापों की सूची

अनुभाग (अ)

1.	दिये गये अल्पतमांक की पेपर स्केल का निर्माण करना।	85
2.	आघूर्ण के सिद्धान्त द्वारा मीटर स्केल का प्रयोग करते हुये दिये गये पिण्ड का द्रव्यमान ज्ञात करना।	87
3.	स्केल एवं त्रुटि बार के उचित चयन के द्वारा दिये गये आंकड़ों के समुच्चय के लिये ग्राफ बनाना।	90
4.	चल सूक्ष्मदर्शी द्वारा दी हुई दो समान्तर रेखाओं के मध्य की दूरी ज्ञात करना।	92
5.	प्रक्षेपण कोण के साथ पानी की जेट की परास में परिवर्तन का अध्ययन करना।	94
6.	लघुगुणक के द्वारा दिये गये आंकड़ों से किसी भौतिक राशि के औसत मान व वर्ग माध्य मूल मान में विचलन ज्ञात करना।	96
7.	किसी भौतिक तुला को संमंजित कर दिये गये ठोस का द्रव्यमान ज्ञात करना।	98

अनुभाग (ब)

1.	मोम के लिए अवस्था परिवर्तन का प्रेक्षण करना एवं शीतलन वक्र खींचना।	100
2.	केशिका उन्नयन का प्रेक्षण करते हुये जल के पृष्ठ तनाव पर अपमार्जक के प्रभाव का अध्ययन करना।	103
3.	एक ही राशि को मापने वाले दो विभिन्न अल्पतमांक वाले मापन यंत्रों की सहायता से यथार्थता एवं परिशुद्धता की तुलना करना।	106
4.	एक द्विधात्विक पट्टी पर उष्मा के प्रभाव का प्रेक्षण करना एवं व्याख्या करना।	110
5.	उचित रूप से कसे हुए मीटर स्केल के झुकाव पर भार का अध्ययन करना जब कि भार (i) एक सिरे पर आरोपित हो (ii) ठीक मध्य में आरोपित हो।	113
6.	किसी पात्र में द्रव को गर्म करने पर उसके तल में परिवर्तन को नोटकर प्रेक्षणों की व्याख्या करना।	119
7.	किसी द्रव की ऊष्मा क्षति की दर को प्रभावित करने वाले कारकों का अध्ययन करना।	121

शब्दावली (Glossary)

चल सूक्ष्मदर्शी	Travelling microscope	वक्रता	Curvature
चूड़ी	Thread of screw	त्रुटि	Error
चूड़ी अन्तराल	Pitch of a screw	समान्तरित्र	Collimator
जलपात्र	Water Reservoir	दूरदर्शी	Telescope
झिरी	Slit	दृष्टि दोष	Defect of vision
धागा	Thread	लेंस की क्षमता	Power of lens
धारक	Holder	आँख की समंजन क्षमता	Power of accommodation
पिच्छट त्रुटि	Back lash error	आँख का पर्दा	Retina
मंच (टेबल)	Table	रेखा छिद्र	Slit
मंदगति	Slow motion	वर्ण पट	Spectrum
पेंच	screw	विचलन	Deviation
विस्थापनभास	Parallax	वर्ण	Chromatic
विराम घड़ी	Stop watch	विक्षेपण	Dispersion
विरूपण	Deformation	द्वारक	Aperture
शीतलन	Cooling	दृष्टि रेखा	Line of sight
शून्यांक त्रुटि	End error	उपकरण	Apparatus
संशोधन	Correction	उद्देश्य	Object
संधारित्र	Capacitor	स्तम्भ	Column, Stand
स्तम्भ	Stand, upright	आधिक्य	Excess

कुछ उपयोगी भौतिक राशियों के मान एवं भौतिक नियतांक

- यंग का प्रत्यास्थता गुणांक –
तांबा $(8.5 - 13.2) \times 10^{10}$ न्यूटन/मी²
पीतल $(8.5 - 10.5) \times 10^{10}$ न्यूटन/मी²
लोहा $(10 - 13) \times 10^{10}$ न्यूटन/मी²
स्टील $(10 - 21) \times 10^{10}$ न्यूटन/मी²
- सोडियम प्रकाश के लिये अपवर्तनांक
पानी 1.33 ग्लिसरीन 1.47
क्वार्ट्ज 1.58 क्राउन कांच 1.478 से 1.613 तक
- निर्वात में प्रकाश का वेग $= 3 \times 10^8$ m/s
- सामान्य ताप व दाब पर वायु में ध्वनि का वेग $= 331.1$ m/s
- पानी का पृष्ठ तनाव $= 20$ °C ताप पर 7.2×10^{-2} n/m
30 °C ताप पर 7.116×10^{-2} n/m
- गुरुत्वाकर्षण स्थिरांक $G = 6.67 \times 10^{-11}$ n/m²/kg²
- पृथ्वी की त्रिज्या $R_e = 6.4 \times 10^8$ m
- पृथ्वी का द्रव्यमान $M_e = 6 \times 10^{24}$ kg
- स्टीफन नियतांक $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/m²/°K⁴
परिवर्तन सारिणी
2.54 सेमी = 1 इंच
30.48 सेमी = 1 फुट
453.6 ग्राम = 1 पाउण्ड
1.6693 किमी. = 1 मील
4.546 लीटर = 1 गैलन
 2π रेडियन = 360°
 π (नियतांक) = 3.1416
1°C = 1.8°F

अनुभाग 'A'

प्रयोग – 1

वर्नियर कैलीपर्स

किसी भी उपकरण द्वारा मापी जा सकने वाली न्यूनतम माप को उस उपकरण का अल्पतमांक कहते हैं। साधारण मीटर स्केल का अल्पतमांक 0.1 cm होता है। इससे छोटी दूरी के मापन के लिए फ्रान्सिसी गणितज्ञ पियरे वर्नियर ने मुख्य पैमाने के साथ सरकने वाले एक सहायक पैमाने का विकास किया जिसे वर्नियर पैमाना कहते हैं।

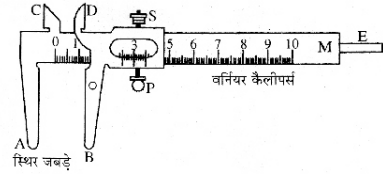
वर्नियर पैमाने के n भागों का मान मुख्य या प्रधान पैमाने के $(n-1)$ भागों के मान के बराबर होता है अर्थात् वर्नियर पैमाने का 1 भाग मुख्य पैमाने के 1 भाग से छोटा होता है। इनके मान में अन्तर को वर्नियर कैलिपर्स का अल्पतमांक कहते हैं।

वर्नियर पैमाने का उपयोग दो जबड़ों वाले कैलीपर्स के साथ करने से वर्नियर कैलीपर्स बनता है। वर्नियर कैलीपर्स का अल्पतमांक साधारणतः 0.01 cm होता है। वर्नियर पैमाने के 10 भागों का मान 9 mm होता है। अतः अल्पतमांक = 1 mm - 0.9 mm = 0.1 mm = 0.01 cm

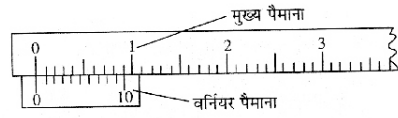
बनावट

वर्नियर कैलीपर्स में दो स्थिर जबड़े A एवं C तथा दो सरकने वाले जबड़े B एवं D होते हैं। स्थिर जबड़े मुख्य पैमाने से तथा सरकने वाले वर्नियर पैमाने से जुड़े होते हैं। सरकने वाले जबड़े से धातु की एक पत्ती E जुड़ी रहती है। जितनी दूरी तक जबड़ा आगे सरकता है, उतनी ही पत्ती बाहर निकलती है।

जबड़े A एवं B बाह्य व्यास, C एवं D आन्तरिक व्यास तथा पत्ती E गहराई के मापन में प्रयुक्त होती है। स्थिर जबड़े के साथ जुड़ा मुख्य पैमाना सेंटीमीटर में अंकित होता है। सरकने वाले जबड़े के साथ एक खिड़कीनुमा संरचना जुड़ी होती है, जिस पर वर्नियर स्केल अंकित होती है। खिड़की से मुख्य पैमाना दिखाई देता है। पेच S जबड़े को कसने में प्रयुक्त होता है।



चित्र 1.1: वर्नियर कैलीपर्स

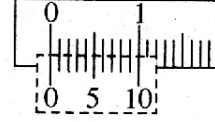


चित्र 1.2: मुख्य एवं वर्नियर पैमाना

$$\text{वर्नियर कैलीपर्स का अल्पतमांक} = \frac{\text{मुख्य पैमाने के एक भाग का मान}}{\text{वर्नियर पैमाने पर कुल भागों की संख्या}} = \frac{S}{N}$$

शून्यांक त्रुटि

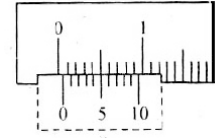
उपकरण के उपयोग से अथवा बनावट में दोष से उपकरण में शून्यांक त्रुटि आ जाती है। जब जबड़े सम्पर्क में हो एवं वर्नियर पैमाने का शून्य मुख्य पैमाने के शून्य से सम्पाती हो तो शून्यांक त्रुटि नहीं होती।



धनात्मक शून्यांक त्रुटि

जब वर्नियर पैमाने पर शून्य मुख्य पैमाने के शून्य के दाईं ओर हो अर्थात् धनात्मक दिशा में हो तो त्रुटि धनात्मक होती है।

त्रुटि का मान = वर्नियर संपातित चिह्न \times अल्पतमांक

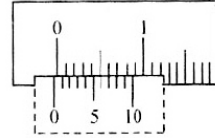


ऋणात्मक शून्यांक त्रुटि

जबड़े सटे होने की स्थिति में वर्नियर पैमाने का शून्य प्रधान पैमाने के शून्य से बाईं ओर अर्थात् ऋणात्मक दिशा में होने पर त्रुटि ऋणात्मक होती है।

त्रुटि का मान = वर्नियर संपातित चिह्न \times अल्पतमांक

प्रेक्षित पाठ्यांक से शून्यांक त्रुटि को चिन्ह सहित घटाने पर संशोधित मान प्राप्त होता है।



अतः संशोधित मान = प्रेक्षित मान - (\pm शून्यांक संशोधन)

प्रयोग – 1(i)

उद्देश्य

वर्नियर कैलीपर्स द्वारा दिये गये नियमित आकार के पिण्ड की विमाएँ मापना एवं उसका घनत्व ज्ञात करना।

उपकरण

वर्नियर कैलीपर्स, दिया गया आयताकार/बेलनाकार पिण्ड।

सिद्धान्त

(i) वर्नियर कैलीपर्स का अल्पतमांक

$$= \frac{\text{प्रधान पैमाने के एक भाग का मान}}{\text{वर्नियर पैमाने पर कुल भागों की संख्या}} = \frac{S}{N}$$

(ii) कुल पाठ्यांक = प्रधान पैमाने का पाठ्यांक + वर्नियर संपातित चिन्ह \times अल्पतमांक

(iii) शुद्ध पाठ्यांक = कुल पाठ्यांक – (शून्यांक त्रुटि चिन्ह सहित)

(iv) किसी आयताकार पिण्ड का आयतन $V = L \times B \times H$

यहाँ $L =$ लम्बाई, $B =$ चौड़ाई तथा $H =$ ऊँचाई

(v) बेलनाकार पिण्ड का आयतन $V = \pi r^2 l = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 l = \frac{\pi D^2 l}{4}$

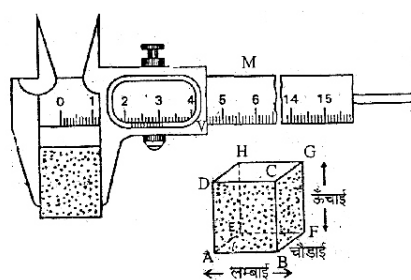
$r =$ बेलन की त्रिज्या, $l =$ बेलन की लम्बाई, $D =$ बेलन का व्यास

(vi) पिण्ड के पदार्थ का घनत्व $d = \frac{M}{V}$

$M =$ पिण्ड का द्रव्यमान, $V =$ पिण्ड का आयतन

विधि

1. वर्नियर कैलीपर्स के प्रधान पैमाने के एक भाग का मान तथा वर्नियर पैमाने पर कुल भागों की संख्या ज्ञात कर अल्पतमांक ज्ञात करते हैं।
2. जबड़ों को सटाकर शून्यांक त्रुटि ज्ञात करते हैं तथा चिन्ह सहित लिखते हैं।
3. जबड़ों A व B के मध्य पिण्ड को इस प्रकार रखते हैं कि भुजाएं A व B पिण्ड को स्पर्श करती है।
4. इस अवस्था में प्रधान पैमाने का पाठ्यांक ज्ञात करते हैं। वर्नियर पैमाने के शून्य से पहले प्रधान पैमाने पर अंकित मान ही प्रधान पैमाने का पाठ्यांक होता है। इसे मात्रक सहित लिखते हैं।
5. वर्नियर पैमाने के दस भागों में से उस भाग को चुनते हैं, जो प्रधान पैमाने के किसी भाग से संपाती हो। इस भाग को अल्पतमांक से गुणा करने पर वर्नियर पाठ्यांक प्राप्त होता है।
6. वर्नियर कैलीपर्स के जबड़ों को सटाकर रखते हैं तथा शून्यांक त्रुटि ज्ञात करते हैं। शून्यांक त्रुटि को चिन्ह सहित अंकित करते हैं।
7. पिण्ड आयताकार हो तो पिण्ड के लिए L, B एवं H का मान ज्ञात कर लिख लेते हैं।



चित्र 1.3

8. वर्नियर कैलीपर्स द्वारा L , B एवं H का मान ज्ञात कर सारणीबद्ध करते हैं।
 9. यदि पिण्ड बेलनाकार है तो व्यास तथा लम्बाई का पाठ्यांक अलग-अलग लेकर सारणीबद्ध करते हैं।

प्रेक्षण

(i) वर्नियर का अल्पतमांक (L.C.) = $\frac{S}{N}$

$$L.C. = \frac{1}{10} \text{ mm} = 0.1 \text{ mm}$$

या $L.C. = \frac{0.1}{10} \text{ cm} = 0.01 \text{ cm}$

(ii) शून्यांक त्रुटि = $\pm \dots\dots\dots \text{ cm}$

(iii) दिये गये पिण्ड का ज्ञात द्रव्यमान = $\dots\dots\dots \text{ Kg.}$

माप	क्र.सं.	प्रधान पैमाने का पाठ्यांक (M) cm	वर्नियर पैमाने का संपातित चिन्ह (n)	वर्नियर पाठ्यांक $V=n \times L.C.$ cm	कुल पाठ्यांक $M + V$ cm	माध्य संशोधित मान
लम्बाई	1	—	l_1	$L = \frac{l_1+l_2+l_3}{3}$
	2	.....	—	.....	l_2
	3	.....	—	.....	l_3
चौड़ाई	1	—	b_1	$B = \frac{b_1+b_2+b_3}{3}$
	2	.....	—	.....	b_2
	3	.....	—	.....	b_3
ऊँचाई	1	—	h_1	$H = \frac{h_1+h_2+h_3}{3}$
	2	.....	—	.....	h_2
	3	.....	—	.....	h_3
व्यास	1	—	d_1	$D = \frac{d_1+d_2+d_3}{3}$
	2	.....	—	.....	d_2
	3	.....	—	.....	d_3

गणना

लम्बाई, चौड़ाई, ऊँचाई, व्यास के लिए अलग-अलग पाठ्यांकों के संशोधित मानों का माध्य ज्ञात करें।

$$L = \frac{l_1+l_2+l_3}{3}$$

$$B = \frac{b_1+b_2+b_3}{3}$$

$$H = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$$

$$D = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$$

आयतन $V = L \times B \times H = \dots\dots\dots \text{m}^3$

अथवा $V = \frac{\pi D^2 l}{4} = \dots\dots\dots \text{m}^3$

घनत्व $d = \frac{M}{V} = \dots\dots\dots \text{Kg/ m}^3$

परिणाम

दिये गये पिण्ड की लम्बाई $L = \dots\dots\dots \text{m}$, चौड़ाई $B = \dots\dots\dots \text{m}$, ऊँचाई $H = \dots\dots\dots \text{m}$, व्यास $= \dots\dots\dots \text{m}$, आयतन $V = \dots\dots\dots \text{m}^3$ एवं पिण्ड के पदार्थ का घनत्व $d = \dots\dots\dots \text{Kg/m}^3$ प्राप्त होता है।

सावधानियाँ

1. वर्नियर पैमाने के संपातित चिन्ह को पढ़ते समय सावधानी रखनी चाहिए।
2. पाठ्यांक लेते समय दृष्टि पैमाने के लम्बवत् होनी चाहिए।
3. जबड़ों को अधिक नहीं कसना चाहिए।
4. आयताकार पिण्ड की विभिन्न मापों जैसे L, B एवं H को पिण्ड पर अंकित करें ताकि मापन में त्रुटि न हो।

प्रयोग – 1(ii)

उद्देश्य

वर्नियर कैलीपर्स द्वारा दिये गये पात्र का आन्तरिक व्यास एवं गहराई मापकर इसका आयतन ज्ञात करना।

उपकरण

वर्नियर कैलीपर्स, दिया गया खोखला बेलनाकार पात्र/केलोरीमापी।

सिद्धान्त

(i) वर्नियर कैलीपर्स का अल्पतमांक

$$= \frac{\text{प्रधान पैमाने के एक भाग का मान}}{\text{वर्नियर पैमाने पर कुल भागों की संख्या}} = \frac{S}{N}$$

(ii) कुल पाठ्यांक = प्रधान पैमाने का पाठ्यांक + (वर्नियर संपातित चिन्ह × अल्पतमांक)

(iii) शुद्ध पाठ्यांक = कुल पाठ्यांक – (शून्यांक त्रुटि चिन्ह सहित)

(iv) खोखले बेलनाकार पात्र का आयतन

$$V = \pi r^2 h = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 h = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

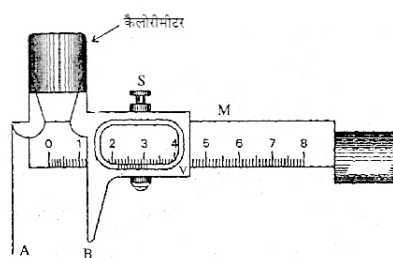
यहाँ V = आयतन, D = आन्तरिक व्यास, h = गहराई

विधि

1. चित्रानुसार वर्नियर कैलीपर्स की पत्ती E को पैदे से स्पर्श करते हुए वर्नियर कैलीपर्स के प्रधान पैमाने एवं वर्नियर पैमाने का पाठ्यांक लें तथा भिन्न-भिन्न स्थानों पर लिए गए पाठ्यांकों को सारणीबद्ध करें एवं गहराई h ज्ञात करें।
2. आन्तरिक व्यास ज्ञात करने वाले जबड़ों को पात्र के अन्दर रखते हुए वर्नियर कैलीपर्स के जबड़ों को फैलावें, जब जबड़े दोनों तरफ स्पर्श करें तब प्रमुख पैमाने तथा वर्नियर पैमाने के पाठ्यांक लें एवं सारणीबद्ध करें।

प्रेक्षण

- (i) वर्नियर कैलीपर्स का अल्पतमांक (L.C.) = 0.01 cm
- (ii) शून्यांक त्रुटि = \pm cm



चित्र 1.4

माप	क्र.सं.	प्रधान पैमाने का पाठ्यांक (M) cm	वर्नियर पैमाने का संपातित चिन्ह (n)	वर्नियर पाठ्यांक $V=n \times L.C.$ cm	कुल पाठ्यांक $M + V$ cm	माध्य संशोधित मान cm
गहराई	1	—	$h_1=.....$	$h = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$
	2	.....	—	.....	$h_2=.....$
	3	.....	—	.....	$h_3=.....$
व्यास	1	—	$d_1=.....$	$D = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$
	2	.....	—	.....	$d_2=.....$
	3	.....	—	.....	$d_3=.....$

गणना

माध्य गहराई $h = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$

माध्य आंतरिक व्यास $D = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$

पात्र का आयतन $V = \frac{\pi D^2 h}{4}$ में मान रखकर आयतन ज्ञात करते हैं।

परिणाम

दिये गये पात्र के लिए गहराई $h = \dots\dots\dots$ मी., आंतरिक व्यास $D = \dots\dots\dots$ cm = $\dots\dots\dots$ मी. तथा आयतन $V = \dots\dots\dots$ cm³ = $\dots\dots\dots$ m³ प्राप्त होता है।

सावधानियाँ

- वर्नियर कैलीपर्स के उपयोग से पूर्व यह निश्चित करें कि जबड़ा सरलता से सरके। आवश्यकता हो तो स्नेहक (तेल) लगावें।
- उपयोग से पूर्व अल्पतमांक एवं शून्यांक त्रुटि अवश्य ज्ञात करें।
- जबड़ों को स्थिर/ढीला करने के लिए पेच S का उपयोग करें परन्तु इसे अत्यधिक नहीं कसें।
- पात्र को घुमाकर कई लम्बवत् दिशाओं/स्थानों पर पाठ्यांक लें।

मौखिक प्रश्न

- इस उपकरण को वर्नियर कैलीपर्स क्यों कहते हैं?
- वर्नियर कैलीपर्स के मुख्य भाग बताइये।
- अल्पतमांक किसे कहते हैं?
- स्केल और वर्नियर कैलीपर्स में से कौन यथार्थता से नापता है?
- क्या हम कागज की मोटाई वर्नियर कैलीपर्स से ज्ञात कर सकते हैं?
- वर्नियर कैलीपर्स में ऊपर के जबड़े किस काम आते हैं?
- कौनसा वर्नियर कैलीपर्स अधिक सुग्राही होता है— कम अल्पतमांक वाला अथवा अधिक अल्पतमांक वाला?
- उन यंत्रों के नाम बताओं जिनमें वर्नियर स्केल का प्रयोग होता है?
- क्या कोण मापन में भी वर्नियर स्केल का प्रयोग होता है?

10. वर्नियर कैलीपर्स का कौनसा हिस्सा वर्नियर स्केल कहलाता है?
11. वर्नियर कैलीपर्स में पत्ती का क्या कार्य है?
12. शून्यांक त्रुटि धनात्मक एवं ऋणात्मक कब होती है?
13. शून्यांक त्रुटि का उपयोग कैसे करते हैं?

उत्तरमाला

1. क्योंकि वर्नियर पैमाने का विकास पियरे वर्नियर ने किया था।
2. (i) प्रधान पैमाना, (ii) वर्नियर पैमाना।
3. उपकरण द्वारा ज्ञात किया जा सकने वाला न्यूनतम पाठ्यांक
4. वर्नियर कैलीपर्स।
5. नहीं
6. आंतरिक व्यास ज्ञात करने के लिए।
7. कम अल्पतमांक वाला।
8. चलायमान सूक्ष्मदर्शी, स्पेक्ट्रोमीटर, फोर्टिन बैरोमीटर।
9. हाँ, सेक्सटेंट एवं स्पेक्ट्रोमीटर में।
10. 10 भागों वाला सरकने वाला पैमाना।
11. गहराई ज्ञात करने में।
12. जब वर्नियर का शून्य प्रधान पैमाने के शून्य के बायीं ओर हो तो त्रुटि ऋणात्मक तथा दायीं ओर हो तो त्रुटि धनात्मक होती है।
13. प्रेक्षित पाठ्यांक में से चिन्ह सहित घटाकर।

प्रयोग – 2

स्क्रूगेज अथवा पेंचमापी

पेचमापी पेच के सिद्धान्त पर कार्य करता है। पेच में चूड़ियाँ कटी होती हैं। पेच की किन्हीं दो चूड़ियों के मध्य की दूरी समान होती है। पेच को इसके ढिबरी नट में वामावर्त अथवा दक्षिणावर्त घूमाकर आगे या पीछे सरकाया जा सकता है। पेच को पूरा एक चक्कर घुमाने पर यह दो क्रमागत चूड़ियों के मध्य दूरी के बराबर विस्थापित होता है। इस दूरी को पेच का चूड़ी अन्तराल कहते हैं।

पेचमापी में 'U' आकृति के धातु के फ्रेम के सिरे D से एक रेखिक पैमाना जुड़ा रहता है। इसे प्रधान पैमाना कहते हैं। अधिकांशतः रेखिक पैमाने का एक छोटा भाग 1 mm का होता है। बेलन C के एक सिरे पर वृत्ताकार पैमाना होता है जिस पर 100 बराबर भाग अंकित होते हैं। बेलन C को रेचट R द्वारा घुमाया जा सकता है। बेलन C को घुमाने पर यह प्रधान पैमाने पर आगे या पीछे विस्थापित होता है एवं इसके साथ जुड़ा हुआ पेच S भी आगे या पीछे विस्थापित होता है।

जब पेच S का सिरा A घुण्डी B को स्पर्श करे तो प्रधान पैमाने व वृत्ताकार पैमाने के शून्य चिन्ह संपातित होने चाहिए। सिरे A व B के स्पर्श करने पर यदि प्रधान व वृत्ताकार पैमाने के शून्य संपातित होते हैं तो शून्यांक त्रुटि नहीं है तथा यदि संपातित नहीं हो तो शून्यांक त्रुटि होती है।

यदि वृत्ताकार पैमाने का पाठ्यांक रेखीय पैमाने पर शून्य से अधिक या धनात्मक हो तो त्रुटि धनात्मक होती है एवं वृत्ताकार पैमाने पर पाठ्यांक शून्य से कम या ऋणात्मक हो तो शून्यांक त्रुटि ऋणात्मक होती है।

अल्पतमांक

पेचमापी द्वारा नापी जाने वाली अल्पतम दूरी को अल्पतमांक कहते हैं।

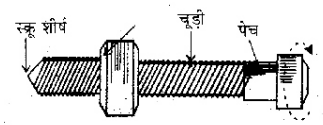
$$\text{अल्पतमांक} = \frac{\text{चूड़ी अन्तराल}}{\text{वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या}}$$

प्रधान पैमाने का पाठ्यांक

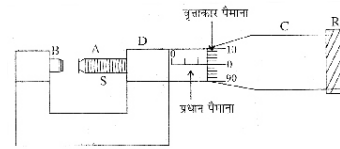
प्रधान पैमाने का जो चिन्ह वृत्ताकार पैमाने के किनारे के निकटतम होता है, प्रधान पैमाने का पाठ्यांक होता है। इसे मात्रक सहित लिखा जाता है।

वृत्ताकार पैमाने का पाठ्यांक

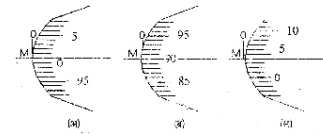
वृत्ताकार पैमाने का जो विभाग प्रधान पैमाने की क्षैतिज रेखा से संपातित होता है इसका पाठ्यांक देता है। इसे केवल भागों की संख्या में लिखा जाता है। भागों की संख्या को अल्पतमांक से गुणा करने पर वृत्ताकार पैमाने का पाठ्यांक प्राप्त होता है।



चित्र 2.1



चित्र 2.2



चित्र 2.3

प्रयोग – 2(i)

उद्देश्य

स्क्रूगेज की सहायता से दिये गये तार का व्यास ज्ञात करना।

उपकरण

स्क्रूगेज, एक पतला तार, मीटर पैमाना।

सिद्धान्त

(i) चूड़ी अन्तराल

पेच को एक पूरा चक्कर लगाने पर वृत्ताकार पैमाना प्रधान पैमाने पर जितना आगे या पीछे सरकता है, उसे चूड़ी अन्तराल कहते हैं।

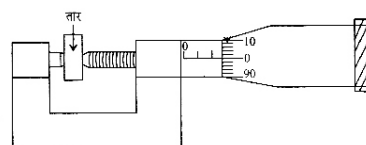
$$(ii) \text{ अल्पतमांक} = \frac{\text{चूड़ी अन्तराल}}{\text{वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या}}$$

$$(iii) \text{ कुल पाठ्यांक} = \text{प्रधान पैमाने का पाठ्यांक} + (\text{संपातित चिन्ह} \times \text{अल्पतमांक})$$

$$(iv) \text{ शुद्ध पाठ्यांक} = \text{कुल पाठ्यांक} - (\text{शून्यांक त्रुटि चिन्ह सहित})$$

विधि

सर्वप्रथम दोनों जबड़ों को रेचट की सहायता से मिला देते हैं, फिर देखते हैं कि मुख्य पैमाने का शून्य और वृत्ताकार पैमाने का शून्य एक सीध में हैं या नहीं। यदि सीधी रेखा में है तो कोई त्रुटि नहीं है। यदि सीधी रेखा में नहीं है तो त्रुटि है और इसे पढ़कर नोट कर लेते हैं और कुल पाठ्यांक में से नियमानुसार इस शून्यांक त्रुटि को चिन्ह सहित घटा देते हैं।



चित्र 2.4

अब तार को दोनों जबड़ों के बीच रखते हैं और रेचट को इतना घुमाते हैं कि तार A व B के मध्य कस जाये। रेचट की टिक टिक आवाज आते ही इसे घुमाना बंद कर देते हैं। अब प्रधान पैमाने का पाठ्यांक और वृत्ताकार पैमाने का संपातित चिन्ह पढ़ लेते हैं। प्रधान पैमाने की पहली रेखा को शून्य मानते हैं। प्रधान पैमाना मिलीमीटर में अंकित होता है और वृत्ताकार पैमाने पर 100 विभाग होते हैं। यह किसी में भी अंकित नहीं होते हैं। पाठ्यांक को cm में पढ़ते हैं। इस प्रकार तार के भिन्न-भिन्न स्थानों पर पाठ्यांक पढ़ लेते हैं।

प्रेक्षण

$$(i) \text{ प्रधान पैमाने के एक विभाग का मान (चूड़ी अन्तराल)} = 1 \text{ mm}$$

$$(ii) \text{ वृत्ताकार पैमाने पर कुल विभागों की संख्या} = 100$$

$$(iii) \text{ अल्पतमांक} = \frac{\text{चूड़ी अन्तराल}}{\text{वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या}}$$

$$\begin{aligned} \text{L.C.} &= \frac{1}{100} \text{ mm} \\ &= 0.01 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= \frac{0.01}{10} \text{ cm}$$

$$= 0.001 \text{ cm}$$

शून्यांक त्रुटि = \pm cm

क्र.सं.	प्रधान पैमाने का पाठ्यांक (M) cm	वृत्ताकार पैमाने का संपातित चिन्ह (n)	$V=n \times L.C.$ व्यास cm	कुल पाठ्यांक M + V cm	माध्य व्यास (D) cm	संशोधित व्यास (D) cm
1	—	$D_1=$		
2	—	$D_2=$.....	.....	.....
3	—	$D_3=$		
4	—	$D_4=$		
5	—	$D_5=$		

गणना

माध्य व्यास $\bar{D} = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5}$ cm

या $\bar{D} =$ cm

तार का संशोधित व्यास $D = \bar{D} - (\pm \text{शून्यांक त्रुटि})$

परिणाम

स्क्रूगेज की सहायता से दिये गये तार का व्यास $D =$ cm प्राप्त होता है।

सावधानियाँ

1. शून्यांक त्रुटि ध्यानपूर्वक पढ़नी चाहिए।
2. तार को रेचट से ही कसना चाहिए ताकि अधिक दबाव से व्यास प्रभावित न हो।
3. पेच को एक ही दिशा में घुमाना चाहिए जिससे पिच्छट त्रुटि न आये।
4. आँख को पैमाने के लम्बरूप रखते हुए पाठ्यांक लेना चाहिए ताकि लम्बन त्रुटि न हो।
5. तार के भिन्न-भिन्न स्थानों पर पाठ्यांक लेना चाहिए।

प्रयोग – 2(ii)

उद्देश्य

स्क्रूगेज की सहायता से दी गई शीट की मोटाई ज्ञात करना।

उपकरण

स्क्रूगेज, दी गई शीट।

सिद्धान्त

(i) चूड़ी अन्तराल

पेच को एक पूरा चक्कर लगाने पर वृत्ताकार पैमाने पर जितना आगे या पीछे सरकता है, उसे चूड़ी अन्तराल कहते हैं।

(ii) अल्पतमांक = $\frac{\text{चूड़ी अन्तराल}}{\text{वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या}}$

(iii) कुल पाठ्यांक = प्रधान पैमाने का पाठ्यांक + (संपातित चिन्ह \times अल्पतमांक)

कुल पाठ्यांक ही शीट की प्रेक्षित मोटाई है।

(iv) संशोधित मोटाई = शीट की प्रेक्षित मोटाई $-(\pm$ शून्यांक त्रुटि)

विधि

दोनों जबड़ों को मिलाकर देखते हैं कि वृत्ताकार पैमाने का शून्य और प्रधान पैमाने का शून्य सीधी रेखा में है या नहीं। यदि सीधी रेखा में है तो कोई त्रुटि नहीं है और यदि सीधी रेखा में नहीं है तो त्रुटि है, जिसे शून्यांक त्रुटि कहते हैं, इसे पढ़कर नोट कर लेते हैं और इसे कुल पाठ्यांक में से नियमानुसार घटा देते हैं।

अब स्क्रूगेज का अल्पतमांक ज्ञात कर लेते हैं। अब

जिस शीट की मोटाई ज्ञात करनी है उस शीट को

दोनों जबड़ों के बीच में इस प्रकार रखते हैं कि शीट न तो अधिक कसी रहे और न ही अधिक ढीली रहे।

अब मुख्य पैमाने का पाठ्यांक पढ़ लेते हैं और वृत्ताकार पैमाने का संपातित चिन्ह पढ़ लेते हैं। इस प्रकार

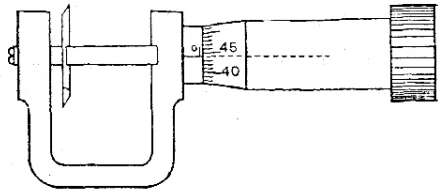
भिन्न-भिन्न स्थानों पर पाठ्यांक पढ़ लेते हैं और माध्यमान लेकर शीट की मोटाई ज्ञात कर लेते हैं।

चूड़ी अन्तराल = 1 mm

वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या = 100

अतः अल्पतमांक

$$\begin{aligned} \text{L.C.} &= \frac{1}{100} \text{ mm} \\ &= 0.01 \text{ mm} \end{aligned}$$



चित्र 2.5

$$= \frac{0.01}{10} \text{ cm}$$

$$= 0.001 \text{ cm}$$

शून्यांक त्रुटि = \pm cm

क्र.सं.	प्रधान पैमाने का पाठ्यांक (M) cm	वृत्ताकार पैमाने का संपातित चिन्ह (n)	$V=n \times L.C.$ cm	कुल पाठ्यांक M + V cm	माध्य मोटाई (\bar{t}) cm	शीट की संशोधित मोटाई (t) cm
1	—	$t_1=$		
2	—	$t_2=$.....	.....	.....
3	—	$t_3=$		
4	—	$t_4=$		
5	—	$t_5=$		

गणना

शीट की प्रेक्षित माध्य मोटाई $\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5}$ cm

या $\bar{t} =$ cm

शीट की संशोधित मोटाई $t = \bar{t} - (\pm \text{शून्यांक त्रुटि})$

परिणाम

स्क्रूगेज की सहायता से दी गई शीट की मोटाई $t =$ cm प्राप्त होती है।

सावधानियाँ

1. शून्यांक त्रुटि ध्यानपूर्वक पढ़नी चाहिए।
2. शीट को रेचट से ही कसना चाहिए ताकि अधिक दबाव से मोटाई प्रभावित न हो।
3. पेच को एक ही दिशा में घुमाना चाहिए जिससे पिच्छट त्रुटि न आये।
4. आँख को पैमाने के लम्बरूप रखते हुए पाठ्यांक लेना चाहिए ताकि लम्बन त्रुटि न हो।
5. शीट के भिन्न-भिन्न स्थानों पर पाठ्यांक लेना चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. चूड़ी अन्तराल किसे कहते हैं?
2. चूड़ी अन्तराल किस प्रकार ज्ञात करते हैं?
3. अल्पतमांक से क्या तात्पर्य है?
4. स्क्रूगेज से न्यूनतम कितनी दूरी नाप सकते हैं।
5. क्या स्क्रूगेज से बाल की मोटाई नाप सकते हैं?
6. पिच्छट त्रुटि किसे कहते हैं?

7. पेच को एक दिशा में ही क्यों घुमाना चाहिए?
8. पाठ्यांक तार के भिन्न-भिन्न स्थानों पर क्यों लेते हैं?
9. साधारणतया स्क्रूगेज का अल्पतमांक कितना होता है?
10. रेचट की क्या उपयोगिता है?
11. स्क्रूगेज किस धातु का बना होता है?
12. शून्यांक त्रुटि किस कारण उत्पन्न होती है?
13. शून्यांक त्रुटि कितने प्रकार की होती है?
14. बैकलेस त्रुटि क्या होती है?
15. बैकलेस त्रुटि को कम कैसे किया जा सकता है?
16. पाठ्यांक लेते समय आँख को प्रधान पैमाने के ठीक सामने क्यों रखना चाहिए?

उत्तरमाला

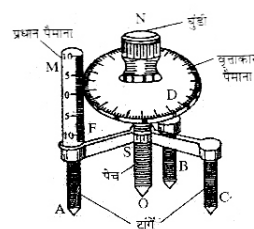
1. पेच की दो चूड़ियों के मध्य अन्तराल को।
2. वृत्ताकार पैमाने को एक पूरा चक्कर घुमाने पर यह प्रधान पैमाने पर जितना आगे या पीछे सरकता है, वह चूड़ी अन्तराल होता है।
3. किसी उपकरण के द्वारा नापा जाने वाला न्यूनतम मान
4. अल्पतमांक के बराबर
5. नहीं, क्योंकि बाल की मोटाई अल्पतमांक से कम होती है।
6. पेच को आगे या पीछे घुमाने पर पेच के नट पर फिसलने के कारण उत्पन्न त्रुटि पिच्छट त्रुटि कहलाती है।
7. पिच्छट त्रुटि दूर करने के लिए
8. तार का शुद्ध व्यास करने के लिए
9. 0.01 mm अथवा 0.001 cm
10. यह तार को अनावश्यक दबाव से बचाता है।
11. गनमेटल का।
12. उपकरण के निर्माण एवं अधिक प्रयोग में लेने पर चूड़ियों के क्षतिग्रस्त होने के कारण।
13. दो प्रकार की—(i) धनात्मक एवं (ii) ऋणात्मक शून्यांक त्रुटि
14. यदि हम अचानक पेचमापी के घुमाने की दिशा को उल्टा कर दें तो वृत्तीय पैमाने पर उसकी रीडिंग कम हो जाती है, यह बैकलेस त्रुटि कहलाती है।
15. पेचमापी को केवल एक ही दिशा में घुमाकर
16. लम्बन द्वारा उत्पन्न त्रुटि को दूर करने के लिए।

प्रयोग – 3

गोलाईमापी अथवा स्फेरोमीटर

गोलाईमापी पेच के सिद्धान्त पर कार्य करता है। यह मुख्यतः गोलीय तलों की वक्रता त्रिज्या को नापने में काम आता है। इसलिए इसे गोलाईमापी कहते हैं। इसकी सहायता से हम पतली प्लेटों की मोटाई भी ज्ञात कर सकते हैं।

गोलाईमापी में धातु का त्रिभुजाकार फ्रेम F तीन समान लम्बाई की टांगों A, B व C पर टिका होता है। तीनों टांगों के निचले सिरे नुकीले होते हैं एवं एक समबाहु त्रिभुज के तीनों शीर्षों पर स्थित रहते हैं तथा एक ही समतल में होते हैं। त्रिभुजाकार ढाँचे के केन्द्र पर एक चूड़ीदार छिद्र होता है जिसमें से केन्द्रीय पेच OS गुजरता है। पेच का निचला सिरा नुकीला होता है। पेच को घुण्डी N द्वारा घुमाकर ऊपर नीचे चलाया जा सकता है। पेच को तीनों पैरों A, B, C द्वारा बने समबाहु त्रिभुज के समतल तक ले जाने पर पेच का नुकीला सिरा त्रिभुज के केन्द्र पर रहता है।



चित्र 3.1

पेच OS की किन्हीं दो चूड़ियों के मध्य की दूरी सभी जगह समान होती है। पेच के ऊपरी सिरे पर एक गोल चकती लगी होती है। जिसकी परिधि 100 बराबर भागों में अंशांकित रहती है। इसे वृत्ताकार पैमाना कहते हैं।

फ्रेम की टांग A पर एक ऊर्ध्वाधर पत्ती M केन्द्रीय पेच OS के समान्तर लगी होती है। जिस पर mm से पैमाना अंशांकित रहता है, इसे प्रधान पैमाना कहते हैं। पैमाना M चकती D के अतिनिकट रहता है परन्तु इसको स्पर्श नहीं करता है। पैमाना M पेच OS द्वारा चली गई ऊर्ध्वाकार दूरी को नापता है। प्रधान पैमाने का शून्य पैमाने के मध्य में रहता है।

चूड़ी अन्तराल

वृत्ताकार चकती के एक पूरा चक्कर लगाने में पेच या चकती प्रधान पैमाने पर जितना ऊपर-नीचे खिसकती है, वह स्फेरोमीटर का चूड़ी अन्तराल कहलाता है। वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या

$$\text{इसलिए चूड़ी अन्तराल} = \frac{\text{चकती द्वारा प्रधान पैमाने पर चली गई दूरी}}{\text{चकती द्वारा लगाये गये चक्करों की संख्या}}$$

अधिकांशतः प्रधान पैमाना mm में अंशांकित रहता है एवं वृत्ताकार पैमाने पर 100 बराबर भाग होते हैं। वृत्ताकार पैमाने के एक चक्कर में पेच 1 mm दूरी से विस्थापित होता है। इसलिए यहाँ पर चूड़ी अन्तराल 1 mm होता है।

अल्पतमांक

वृत्ताकार पैमाने के एक भाग को घुमाने पर पेच OS द्वारा चली गई दूरी अल्पतमांक कहलाती है। यदि 100 भाग या पूरा चक्कर घुमाने पर वृत्ताकार चकती का अपने चूड़ी अन्तराल के बराबर प्रधान पैमाने पर रेखीय विस्थापन होता है, तो

$$\text{अल्पतमांक} = \frac{\text{चूड़ी अन्तराल}}{\text{वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या}}$$

सामान्यतः गोलाईमापी का अल्पतमांक 0.01 mm या 0.001 cm होता है।

प्रयोग – 3

उद्देश्य

गोलाईमापी की सहायता से दी गई गोलीय सतह की वक्रता त्रिज्या ज्ञात करना।

उपकरण

गोलाईमापी, वाच ग्लास या उत्तल लेंस या अवतल लेंस, स्केल, पेंसिल, समतल कोंच की प्लेट।

सिद्धान्त

1. गोलाईमापी का चूड़ी अन्तराल = पेच OS द्वारा चकती D के पूरे एक चक्कर में प्रधान पैमाने पर चली गई दूरी
2. अल्पतमांक = $\frac{\text{चूड़ी अन्तराल}}{\text{वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या}}$
3. कुल पाठ्यांक = प्रधान पैमाने का पाठ्यांक + वृत्ताकार पैमाने का संपातित चिन्ह \times अल्पतमांक।
4. गोलीय सतह की वक्रता त्रिज्या

यहाँ R = गोलीय सतह की वक्रता त्रिज्या

a = गोलाईमापी के किन्हीं दो स्थिर पैरों के बीच की दूरी

h = गोलीय धरातल की समतल धरातल से ऊँचाई अथवा गहराई

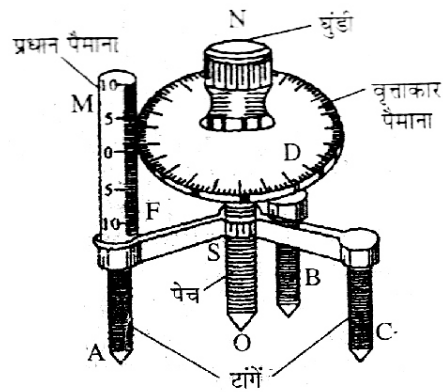
विधि

सर्वप्रथम हम चूड़ी अन्तराल ज्ञात करते हैं। वृत्ताकार पैमाने को एक पूरा चक्कर लगाने पर यह प्रधान पैमाने के एक विभाग की माप से ऊपर या नीचे सरकता है। यही चूड़ी अन्तराल है। इसका मान अधिकांशतः 1 mm होता है। वृत्ताकार पैमाने पर 100 खाने होते हैं। इस प्रकार अल्पतमांक ज्ञात कर लेते हैं। इस प्रयोग में शून्यांक त्रुटि ज्ञात नहीं करते हैं क्योंकि ऊँचाई या गहराई का मान ज्ञात करने के लिए दो पाठ्यांकों का अन्तर लेते हैं जिससे शून्यांक त्रुटि दोनों पाठ्यांकों में होने के कारण समाप्त हो जाती है। इसलिये शून्यांक त्रुटि ज्ञात करने की आवश्यकता नहीं है।

अब गोलाईमापी को कोंची के कागज के ऊपर रखकर दबा देते हैं जिससे तीनों टाँगों के निशान बन जाते हैं।

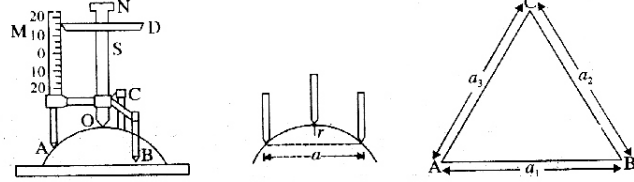
उन पर पेंसिल से गोला बना देते हैं, इन्हें पेंसिल से मिला

देते हैं जिससे एक त्रिभुज का निर्माण हो जाता है। इसकी तीनों भुजाओं को स्केल से नापकर माध्यमान ले लेते हैं जो a का मान है। हालांकि यह एक समबाहु त्रिभुज बनाता है जिसकी प्रत्येक भुजा बराबर होती है और कोण भी, इसलिए प्रत्येक कोण का मान 60° होता है।



चित्र 3.2

प्रधान पैमाना mm में अंकित होता है। इसके मध्य में शून्य का निशान होता है। इसके ऊपर 5 खाने तथा नीचे 5 खाने होते हैं। यदि नीचे के प्रथम खाने को शून्य मानें तो प्रधान पैमाने पर 10 खाने हुये अर्थात् कुल पाठ्यांक 10 mm है। यदि शून्य बीच में



चित्र 3.3

मानेंगे तो इसके ऊपर का पाठ्यांक धनात्मक होगा और नीचे का पाठ्यांक ऋणात्मक होगा। यदि सबसे नीचे के खाने को शून्य मानकर पाठ्यांक पढ़े तो सुविधा रहेगी।

अब गोलाईमापी को समतल पट्टिका के ऊपर रखते हैं तथा घुण्डी N को इतना घुमाते हैं कि गुरुत्व केन्द्र वाली टाँग जो तीनों टाँगों के मध्य है अर्थात् चारों टाँगों पट्टिका को स्पर्श करें तो कोई भी टाँग ऊपर-नीचे नहीं होनी चाहिए। पट्टिका से इनके प्रतिबिम्ब भी बनते हैं उनसे और साफ दिखाई देगा। ऐसी स्थिति में प्रधान पैमाने का पाठ्यांक और वृत्ताकार पैमाने का संपातित चिन्ह पढ़ लेते हैं। इस प्रकार भिन्न-भिन्न स्थानों पर पाठ्यांक ज्ञात करके उनका माध्यमान ज्ञात कर लेते हैं जो h_1 है।

अब समतल पट्टिका के ऊपर वॉच ग्लास रखकर उसके ऊपर गोलाईमापी इस प्रकार रखते हैं कि गोलाईमापी की तीनों टाँगों और गुरुत्व केन्द्र वाली टाँग स्पर्श करें फिर पहले की भाँति पाठ्यांक पढ़ लेते हैं। इस प्रकार भिन्न-भिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न पाठ्यांक पढ़कर माध्यमान ज्ञात कर लेते हैं जो h_2 है। h_2 में से h_1 घटा देते हैं तो गहराई h प्राप्त हो जाती है।

प्रेक्षण

भुजा a के लिये—

भुजा AB की लम्बाई = cm

भुजा BC की लम्बाई = cm

भुजा CA की लम्बाई = cm

चूड़ी अन्तराल = 1 mm

वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या = 100

अतः अल्पतमांक = $\frac{\text{चूड़ी अन्तराल}}{\text{वृत्ताकार पैमाने पर विभागों की कुल संख्या}}$

$$\text{L.C.} = \frac{1}{100} \text{ mm}$$

$$= 0.01 \text{ mm}$$

$$= \frac{0.01}{10} \text{ cm}$$

$$= 0.001 \text{ cm}$$

माप	क्र.सं.	प्रधान पैमाने का पाठ्यांक (M) cm	वृत्ताकार पैमाने का संपातित चिन्ह (n)	वृत्ताकार पैमाने का पाठ्यांक $V=n \times L.C.$ cm	कुल पाठ्यांक M + V cm	माध्य cm
समतल पट्टिका	1	—	$h_1' = \dots\dots\dots$	$h_1 = \dots\dots\dots$
	2	.....	—	.....	$h_1'' = \dots\dots\dots$
	3	.....	—	.....	$h_1''' = \dots\dots\dots$
वॉच ग्लास	1	—	$h_2' = \dots\dots\dots$	$h_2 = \dots\dots\dots$
	2	.....	—	.....	$h_2'' = \dots\dots\dots$
	3	.....	—	.....	$h_2''' = \dots\dots\dots$

गणना

$$a = \frac{AB + BC + CA}{3}$$

या $a = \dots\dots\dots$ cm

$$h_1 = \frac{h_1' + h_1'' + h_1'''}{3}$$

या $h_1 = \dots\dots\dots$ cm

$$h_2 = \frac{h_2' + h_2'' + h_2'''}{3}$$

या $h_2 = \dots\dots\dots$ cm

$$h = h_2 - h_1$$

या $h = \dots\dots\dots$ cm

अब सूत्र $R = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2}$

में मान रखकर वॉच ग्लास की वक्रता त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।

परिणाम

दी गई गोलाकार सतह की वक्रता त्रिज्या $R = \dots\dots$ cm प्राप्त होती है।

सावधानियाँ

1. पेच को एक ही दिशा में घुमाना चाहिए जिससे पिच्छट त्रुटि न हो।
2. माप लेते समय पेच की नोक गोलीय तल या प्लेट के तल को ठीक स्पर्श करनी चाहिए। ठीक स्पर्श करने की स्थिति में पेच की नोक प्लेट में बने अपने प्रतिबिम्ब की नोक को ठीक स्पर्श करेगी।
3. प्रधान पैमाने की पत्ती ऊर्ध्वाकार रहनी चाहिए, तिरछी नहीं।

4. लिये गये समस्त प्रेक्षण चिन्ह सहित लिखने चाहिए।
5. पाठ्यांक पढ़ते समय आँख पैमाने की सीध में होनी चाहिए जिससे लम्बन के कारण त्रुटि न हो।

मौखिक प्रश्न

1. इस उपकरण को गोलाईमापी क्यों कहते हैं?
2. चूड़ी अन्तराल किसे कहते हैं?
3. अल्पतमांक किसे कहते हैं?
4. एक अच्छे गोलाईमापी में क्या विशेषता होनी चाहिए?
5. वक्रता त्रिज्या किसे कहते हैं?
6. वक्रता केन्द्र किसे कहते हैं?
7. वक्रता त्रिज्या व पृष्ठ की वक्रता में क्या संबंध है?
8. क्या इस प्रयोग में शून्यांक संशोधन करने की आवश्यकता है?
9. क्या गोलाईमापी से गोलीय दर्पण की फोकस दूरी ज्ञात की जा सकती है?
10. क्या 'a' का मान अधिक लेना उचित होगा?
11. गोलाईमापी का अल्पतमांक कितना होता है?
12. वक्रता त्रिज्या निकालने में आप किस सूत्र को उपयोग में लेते हैं?
13. एक ही गोलाईमापी का प्रयोग करके दो गोलीय तलों के लिए h का मान क्रमशः 0.1 cm तथा 0.2 cm है तो किस तल के लिये R का मान अधिक होगा?
14. वह बड़े से बड़ा तथा छोटे से छोटा गोला बताओ जिसकी वक्रता त्रिज्या गोलाईमापी द्वारा ज्ञात की जा सके।
15. गोलाईमापी का उपयोग किन-किन उपकरणों में किया जाता है?

उत्तरमाला

1. क्योंकि यह गोलीय पृष्ठ की वक्रता त्रिज्या ज्ञात करने के काम आता है?
2. दो क्रमागत चूड़ियों के बीच के अन्तराल को।
3. उपकरण द्वारा मापी जा सकने वाली न्यूनतम माप।
4. चूड़ियाँ समान मोटाई की ओर बारीक कटी होनी चाहिए ताकि पिच्छट त्रुटि न हो।
5. गोलीय पृष्ठ जिस गोले का भाग होता है, उस गोले की त्रिज्या वक्रता त्रिज्या कहलाती है।
6. गोलीय पृष्ठ जिस गोले का भाग होता है, उस गोले के केन्द्र को वक्रता केन्द्र कहते हैं।
7. वक्रता $= \frac{1}{R}$ यहाँ $R =$ वक्रता त्रिज्या
8. नहीं, h का मान दो पाठ्यांकों के अन्तर से प्राप्त होता है जिससे शून्यांक त्रुटि समाप्त हो जाती है।
9. हाँ, सूत्र $f = \frac{R}{2}$ से।
10. 'a' का मान अधिक लेने पर h का मान अधिक आयेगा जिससे 'R' का मान अधिक यथार्थ होगा।
11. 0.001 cm
12. $R = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2}$
13. $h = 0.1$ cm वाले तल के लिये।

14. बड़े से बड़ा गोला वह होगा जिस पर लिया गया h का पाद्यांक गोलाईमापी के प्रधान पैमाने की परास के बराबर हो और छोटे से छोटा गोला वह होगा जिस पर गोलाईमापी की तीनों टांगें सुगमता से रखी जा सके तथा h का मान गोलाईमापी के अल्पतमांक के समान हो।
15. (i) यंग प्रत्यास्थता गुणांक के उपकरण में। (सर्ल का उपकरण)
(ii) लैस की शक्ति ज्ञात करने के उपकरण में।
(iii) खराद करने की मशीन में।
(iv) रेखीय प्रसार गुणांक के उपकरण में।

प्रयोग – 4

उद्देश्य

किसी दिये गये पिण्ड का भार सदिशों के समान्तर चतुर्भुज के नियम की सहायता से ज्ञात करना।

उपकरण

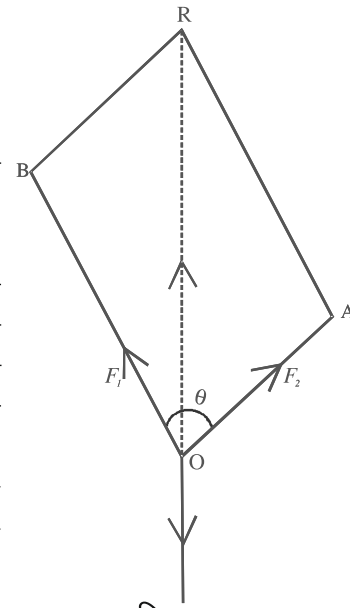
समान्तर चतुर्भुज नियम का उपकरण, मजबूत धागा, बाट, सफेद कागज, पेन्सिल, ड्राइंग पिन, अज्ञात भार का पिण्ड जिसके साथ लटकाने हेतु हुक हो, दर्पण की पट्टिका।

सिद्धान्त

दो संगामी बलों को परिमाण एवं दिशा में यदि किसी समान्तर चतुर्भुज को दो आसन्न भुजाओं से आरेखित किया जा सके तो इनका परिणामी बल, परिमाण एवं दिशा में भुजाओं के कटाव बिन्दु से खींचे गये विकर्ण द्वारा प्रदर्शित होगा। यह समान्तर चतुर्भुज का नियम कहलाता है।

चित्र 4.1 के अनुसार कोई दो संगामी बल F_1 एवं F_2 किसी बिन्दु पर परस्पर θ कोण पर कार्यरत हो तो उनका परिणामी बल का परिमाण निम्न सूत्र द्वारा व्यक्त किया जाता है।

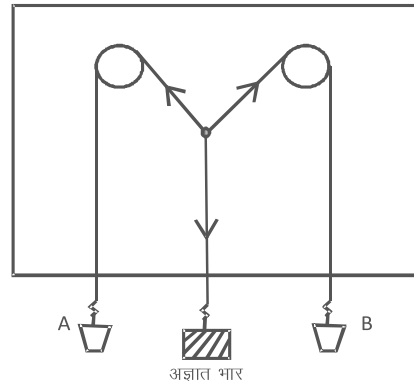
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos\theta} \quad (4.1)$$



चित्र 4.1

विधि

1. समान्तर चतुर्भुज के नियम का उपकरण को प्रयोगशाला में दीवार पर ठीक उर्ध्वाधर लटकाएँ।
2. एक मजबूत धागे के दोनों सिरों को पुली के ऊपर से लटकाते हैं तथा धागे के मध्य भाग के स्थान पर, अज्ञात द्रव्यमान वाले पिण्ड को धागे से गाँठ लगाकर लटकाते हैं जैसा कि चित्र (4.2) में दर्शाया गया है।
3. एक सफेद कागज की शीट को बोर्ड पर धागे के नीचे इस प्रकार व्यवस्थित करते हैं कि गाँठ शीट के निचले सिरों से कुछ ही ऊपर रहे।
4. पुली से गुजरने वाले धागों के हेंगरों पर बाट लगाकर, अज्ञात भार को संतुलित करने पर चित्र 4.2 की स्थिति प्राप्त होती है।
5. समतल दर्पण की पट्टिका में धागे का प्रतिबिम्ब देखकर तीनों धागों की स्थिति को पेन्सिल से शीट पर अंकित करते हैं।



चित्र 4.2

6. हेंगरों पर बाट के मान बदल कर पुनः शीट पर तीनों धागों की स्थिति अंकित करते हैं।

प्रेक्षण – शीट पर समान्तर चतुर्भुज बनाने हेतु पैमाना : 1 cm ग्राम भार

क्रमांक	बल F_1 का मान (पलड़ा A एवं लटकाये गये इसमें बाट का भार)		बल F_2 का मान (पलड़ा B एवं लटकाये गये इसमें बाट का भार)		समान्तर चतुर्भुज का विकर्ण	अज्ञात भार
	F_1	भुजा OB cm में	F_2	भुजा OA cm में	भुजा OR	भुजा OR \times पैमाना
1						
2						
3						

अज्ञात भार का औसत मान =

परिणाम

समान्तर चतुर्भुज के नियम से दिये गये अज्ञात पिण्ड का भार = N प्राप्त हुआ।

सावधानियाँ

1. पुली घर्षण रहित होनी चाहिए।
2. बोर्ड ठीक उर्ध्वाधर होना चाहिये।
3. धागे की स्थिति लंबन विधि से ज्ञात करते समय आँख की स्थिति लम्बवत् होनी चाहिये।

मौखिक प्रश्न

1. सदिश किसे कहते हैं?
2. क्या किसी वस्तु का भार सदिश राशि है?
3. इस प्रयोग में बलों का संयोजन किस नियम की पालना करता है ?
4. अज्ञात पिण्ड का भार ज्ञात करने की अन्य विधि का नाम बताओ।
5. दो से अधिक सदिशों का संयोजन किस नियम से होता है?

उत्तर

1. सदिश राशि वह है जो परिमाण के साथ दिशा की जानकारी प्रदान करे।
2. हाँ
3. समान्तर चतुर्भुज के नियम का
4. सिप्रिंग तुला
5. बहुभुज के नियम से

प्रयोग – 5

उद्देश्य

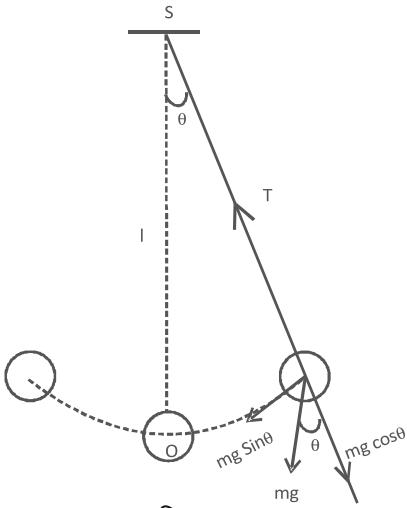
सरल लोलक की सहायता से गुरुत्वीय त्वरण g का मान ज्ञात करना तथा सेकण्ड लोलक की लम्बाई ज्ञात करना।

उपकरण

धातु का एक छोटा ठोस गोला, एक लम्बा अविटान्य धागा, स्टॉप वाच, मीटर पैमाना, वर्नियर कैलीपर्स इत्यादि।

प्रायोगिक उपकरण का वर्णन – एक अविटान्य (Inextensible) तथा द्रव्यमानहीन ऐंठन रहित धागे

की सहायता से बिन्दु द्रव्यमान वाले भारी पिण्ड को घर्षण रहित दृढ़ आधार से निलम्बित करने पर बना हुआ निकाय, आदर्श सरल लोलक कहलाता है। सरल लोलक में यान्त्रिक ऊर्जा संरक्षित रहती है। लेकिन व्यवहार में अविटान्य एवं द्रव्यमान रहित धागा तथा बिन्दु द्रव्यमान वाला भारी पिण्ड और घर्षणरहित दृढ़ आधार सम्भव नहीं है।



चित्र 5.1

प्रयोगशाला में भारी धातु के एक छोटे गोले (जिसे गोलक कहते हैं) को एक पतले और लम्बे ऐंठन रहित धागे से एक दृढ़ आधार बिन्दु S से लटकाते हैं। बिन्दु S को निलम्बन बिन्दु (Point of Suspension) तथा S से गोलक के द्रव्यमान केन्द्र O तक की दूरी को प्रभावी लम्बाई (Effective Length) कहते हैं। गोलक की स्थायी साम्यावस्था O बिन्दु पर है जहाँ स्थितिज ऊर्जा न्यूनतम (माना शून्य) होती है।

जब गोलक को साम्य स्थिति O से थोड़ा सा कोणीय विस्थापन θ देकर छोड़ा जाता है तो गोलक, कोणीय सरल आवर्त गति करने लगता है।

सिद्धान्त

सरल लोलक में प्रत्यानयन बल $mgsin\theta$ के कारण सरल आवर्त गति होती है। आवर्त काल का मान निम्न समीकरण से दर्शाया जाता है।

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$\text{अतः } g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (5.1)$$

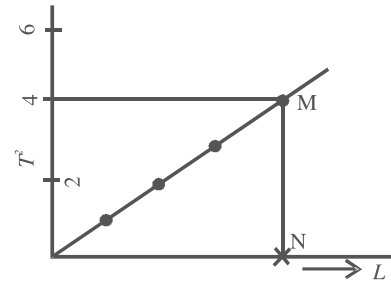
सूत्र में $L = l + r$ अर्थात धागे की लम्बाई एवं गोलक की त्रिज्या, को सरल लोलक की प्रभावी लम्बाई, g गुरुत्वीय त्वरण तथा T लोलक का आवर्तकाल (सेकण्ड) में है।

विधि

- (i) सर्वप्रथम पूर्व प्रयोगों में वर्णित विधि अनुसार गोलक की त्रिज्या हेतु वर्नियर कैलीपर्स की सहायता से भिन्न-भिन्न स्थिति पर व्यास ज्ञात करते हैं। तत्पश्चात् माध्य व्यास ज्ञात कर, त्रिज्या ज्ञात कर लेते हैं।
- (ii) गोलक को लगभग 150 cm लम्बे भारहीन एवं अविनान्य धागे से बांधकर, दीवार पर दृढ़ गड़ी हुई लम्बी कील पर लटकाते हैं। तत्पश्चात् दीवार पर धागे की सीध में, गोलक की स्थिर अवस्था में, चाक द्वारा सीधी रेखा खींचते हैं। यह सरल लोलक की माध्य स्थिति को व्यक्त करती है।
- (iii) गोलक की प्रभावी लम्बाई $L = l + r$ को पूर्णांक में लिया जाता है।
- (iv) गोलक को माध्य स्थिति से अल्प विस्थापित कर धीरे से छोड़ने पर यह, दीवार के समान्तर दोलन करने लगता है। दोलन करते समय गोलक दीवार को स्पर्श नहीं करना चाहिये।
- (v) स्टॉप वॉच की सहायता से गोलक के 20 पूर्ण दोलनों के लिये समय ज्ञात करते हैं तत्पश्चात् एक दोलन का समय अर्थात् आवर्तकाल का मान ज्ञात कर लेते हैं। ध्यान रहे कि जब गोलक दांये से बांये, माध्य स्थिति पार करता है एवं पुनः गति के उपरान्त इसी स्थिति (प्रारम्भिक स्थिति) पर आता है तो वह एक दोलन करता है।
- (vi) पुनः उपरोक्त विधि की पुनरावृत्ति से 30 पूर्ण दोलनों का समय ज्ञात कर, एक दोलन के लिये समय अर्थात् आवर्तकाल की गणना की जाती है।
- (vii) धागे की लम्बाई को 5-5 cm बदलकर विधि (iv) से (vi) तक का अनुसरण कर पुनः पाठयांक ले लेते हैं।
- (viii) एक ग्राफ पेपर पर x अक्ष पर प्रभावी लम्बाई (L) तथा y अक्ष पर T^2 का मान लेते हुए इसके मध्य ग्राफ खींचते हैं। यह ग्राफ एक सरल रेखा के रूप में प्राप्त होगा।

सैकण्ड लोलक की लम्बाई ज्ञात करना।

- (ix) सैकण्ड लोलक के लिये आवर्तकाल 2 s होता है। अतः $T^2 = 4$ s हुआ।
- (x) चित्र 5.2 में ग्राफ की y अक्ष पर $T = 4$ s के मान से एक लम्ब खींचते हैं जो सरल रेखा को M बिन्दु पर काटता है एवं M बिन्दु से x अक्ष पर एक लम्ब खींचते हैं यह x अक्ष को N बिन्दु पर काटता है। x अक्ष पर O से N बिन्दु तक की लम्बाई ही सैकण्ड लोलक की लम्बाई होगी।



चित्र 5.2

प्रेक्षण (i) वर्नियर कैलीपर्स का अल्पतमांक = cm

गोलक के व्यास के लिये प्रेक्षण सारिणी

क्रमांक	प्रधान पैमाने का पाठयांक = (a)	वर्नियर संपातित चिन्ह	संपातित चिन्ह × अल्पतमांक (b)	कुल पाठयांक = a + b	माध्य पाठयांक = व्यास	त्रिज्या (r) = व्यास/2
1						
2						
3						
4						
5						

(ii) सरल लोलक के आवर्तकाल के लिये सारिणी

क्रमांक	धागे की लम्बाई cm	प्रभावी लम्बाई $L=l+r$	दोलन का समय		आवर्तकाल T			T^2 s^2	L/T^2	माध्य L/T^2
			20 दोलन s में	30 दोलन s में	I s	II s	माध्य s			
1										
2										
3										
4										
5										

गणना

सिद्धान्त में वर्णित गुरुत्वीय त्वरण का मान समीकरण (5.1) के अनुसार

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

(ii) प्रेक्षण सारणी से मध्यमान L/T^2 के मान को रखकर गुरुत्वीय त्वरण के मान की गणना करते हैं।

(iii) L एवं T^2 में ग्राफ खींचकर सेकण्ड लोलक की लम्बाई [विधि में वर्णित बिन्दु (ix) एवं (x) के अनुसार] ज्ञात कर लेते हैं।

परिणाम

(i) गुरुत्वीय त्वरण = cm/s^2
= m/s^2

(ii) सेकण्ड लोलक की प्रभावकारी लम्बाई = cm = m

सावधानियां

1. गोलक छोटा एवं भारी होना चाहिये
2. दोलन करते समय गोलक दीवार पर स्पर्श नहीं करना चाहिये
3. लोलक को लटकाने के लिये दृढ़ आधार का उपयोग करना चाहिये
4. दोलन का आयाम कम लेना चाहिये

5. धागा भार हीन एवं अप्रत्यास्थ होना चाहिये

मौखिक प्रश्न

1. सरल आवर्त गति का आवश्यक प्रतिबंध क्या है ?
2. सरल आवर्त गति में कौनसी भौतिक राशि संरक्षित रहती है ?
3. सरल लोलक में लोहे के गोलक के स्थान पर उसी आकार का सोने का गोलक लटका कर प्रयोग करने पर आवर्तकाल में क्या प्रभाव पड़ेगा ?
4. एक सरल लोलक के दोलन आयाम को उसके वर्तमान मान का आधा कर दिया जाये तो उसके आवर्तकाल का मान कितना होगा ?
5. सरल आवर्त गतिमान कण पर प्रत्यानयन बल किस स्थिति में न्यूनतम होता है ?
6. सरल लोलक में प्रत्यानयन बल का मान लिखिये।
7. सरल आवर्त गति कर रहे कण द्वारा एक सम्पूर्ण दोलन में सम्पन्न कार्य कितना होता है ?
8. सेकण्ड लोलक की आवर्तकाल एवं प्रभावी लम्बाई का मान बताइये।

उत्तर

1. त्वरण, विस्थापन के समानुपाती एवं दिशा विपरीत
2. कुल यांत्रिक ऊर्जा
3. अपरिवर्तित रहेगा
4. अपरिवर्तित रहेगा क्योंकि आवर्तकाल आयाम पर निर्भर नहीं करता
5. साम्यावस्था की स्थिति में
6. $F = mg \sin\theta$
7. शून्य
8. 2 s तथा प्रभावी लम्बाई = 99.3 cm

प्रयोग – 6

उद्देश्य

सीमान्त घर्षण एवं अभिलम्ब प्रतिक्रिया बल के मध्य सम्बन्ध का अध्ययन करना तथा एक क्षैतिज सतह एवं किसी पिण्ड के मध्य घर्षण गुणांक ज्ञात करना।

उपकरण

चिकना बोर्ड, पुली, स्प्रिट लेवल, धागा, पलड़ा, बाट, लकड़ी का गुटका इत्यादि।

सिद्धान्त

किसी स्थिर सतह पर रखे पिण्ड पर क्षैतिज बाह्य बल लगाया जाता है तथा फिर भी पिण्ड विरामावस्था में ही रहता है तो दोनों सतहों के मध्य लगने वाला घर्षण बल उसे संतुलित करता है। बाह्य बल का मान बढ़ाने पर घर्षण बल भी बढ़ जाता है। बाह्य बल का मान और अधिक बढ़ाने पर एक स्थिति ऐसी आती है कि पिण्ड गतिशील हो जाता है। इस अवस्था में लगाया गया बाह्य बल सीमान्त घर्षण के बराबर होता है।

सीमान्त घर्षण के नियम

- सीमान्त घर्षण सदैव गति का विरोध करता है।
- सीमान्त घर्षण का मान दोनों पिण्डों के सम्पर्क वाले धरातलों की प्रकृति पर निर्भर करता है।
- जब तक अभिलम्ब प्रतिक्रिया बल समान है, सीमान्त घर्षण का मान सम्पर्क तलों के क्षेत्रफल पर निर्भर नहीं करता
- सीमान्त घर्षण का परिमाण, अभिलम्ब प्रतिक्रिया बल के समानुपाती होता है।

अतः

$$F_{ms} \propto R_n \quad (6.1)$$

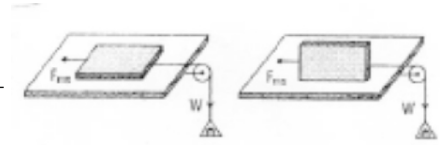
$$F_{ms} = \mu R_n \quad (6.2)$$

नियतांक μ = सीमान्त घर्षण गुणांक कहलाता है।

$$\mu = \frac{F_{ms}}{R_n} \quad (6.3)$$

विधि

- सतह को साफ करके, पुली की जांच करते हैं।
- सतह पर स्थापित किये गये लकड़ी के गुटके का भार स्प्रिंग तुला से ज्ञात कर लेते हैं।
- सम्पूर्ण उपकरण को चित्र (6.1) में दर्शाये गये अनुसार व्यवस्थित करते हैं।
- एक मजबूत उचित लम्बाई के धागे को गुटके एवं पलड़े से गठान कर पुली के ऊपर से इस प्रकार गुजारते हैं कि धागा क्षैतिज रहे।
- पलड़े पर रखे गये बाटों को न्यूनतम क्रम से तब तक बढ़ाते रहते हैं कि गुटका फिसलने लगे।



चित्र 6.1

6. जिस बाट को पलड़े में रखने पर गुटका फिसलने लगता है, उसे नोट कर लेते हैं।
 7. लकड़ी के गुटकों के ऊपर अन्य बाट (ज्ञात भार) रखकर उपरोक्त प्रक्रिया पुनः दोहराते हैं।

प्रेक्षण

लकड़ी के गुटके का भार = $w_1 = \dots\dots\dots$ ग्राम भार

पलड़े का भार = $w_2 \dots\dots\dots$ ग्राम भार

क्रमांक	गुटके पर	अभिलम्ब प्रतिक्रिया बल	पलड़े में रखे	पलड़े का कुल भार	$\mu = \frac{F_{ms}}{R_n}$
	रखा भार P	(गुटका + बाट का भार) $R_n = w_1 + P$	बाट का भार $= Q$	$= w_2 + Q = F_{ms}$	$= \frac{w_2 + Q}{w_1 + P}$
1					
2					
3					
4					
5					

अनुपात $\mu = \frac{w_2 + Q}{w_1 + P} = \dots\dots\dots$, माध्यमान = $\dots\dots\dots$ (इकाई रहित)

पुनः आलेख प्राप्ति हेतु x अक्ष पर R_n तथा y अक्ष पर F_{ms} लेकर, उचित पैमाने का चयन कर ग्राफ खींचने पर एक सरल रेखा प्राप्त होती है जिसका ढाल μ का मान प्रदान करता है।

परिणाम

लकड़ी के गुटके एवं बोर्ड की चिकनी सतह के मध्य सीमान्त घर्षण गुणांक μ का मान $\dots\dots\dots$ (इकाई रहित) प्राप्त हुआ

सावधानियाँ

1. पलड़े पर बाट धीमे से रखने चाहिये
2. पलड़े पर बाट न्यूनतम क्रम से बढ़ाने चाहिये
3. पलड़े पर बाट रखने के बाद, सतह को अंगुली से ठक-ठक कर जांच ले
4. दोनों सतहें साफ होनी चाहिये

मौखिक प्रश्न

1. घर्षण किसे कहते हैं ?
2. क्या घर्षण सदैव गति का विरोध करता है ?
3. जिस बाह्य बल पर गुटका गति प्रारम्भ करता है, उसे क्या कहते हैं ?
4. सीमान्त घर्षण बल एवं अभिलम्ब प्रतिक्रिया में क्या संबंध होता है।
5. क्या घर्षण बल पृष्ठों के सम्पर्क क्षेत्रफल पर निर्भर करता है ?

उत्तर

1. जब कोई पिण्ड किसी आरोपित बल के कारण किसी सतह पर फिसलने का प्रयास करता है अथवा फिसलता है तो सम्पर्क सतहों के बीच लगने वाले स्पर्शीय बल को घर्षण बल कहते हैं जो सतहों के मध्य आपेक्षिक गति का विरोध करता है।
2. नहीं, कुछ परिस्थितियों में घर्षण बल गति का कारण भी होता है जैसे घर्षण के कारण ही हम आगे चलते हैं।
3. सीमान्त घर्षण बल
4. सीमान्त घर्षण बल, अभिलम्ब प्रतिक्रिया के समानुपाती होता है।
5. नहीं।

प्रयोग – 7

उद्देश्य

नियमित आकार वाले पिण्ड का जडत्व आघूर्ण दोलन विधि द्वारा ज्ञात करना।

उपकरण

जडत्व आघूर्ण मंच (टेबल) (Inertia table), ज्ञात जडत्व आघूर्ण की सहायक वस्तु (टोस गोला, बेलन, आयताकार वस्तु), अज्ञात जडत्व आघूर्ण वाली नियमित आकार की वस्तु, स्प्रिट लेवल, विराम घड़ी, वर्नियर कैलिपर्स एवं धातु के समतलकारी टुकड़े।

सामान्य विवरण

जडत्व आघूर्ण

एक अक्ष के सापेक्ष किसी पिण्ड का जडत्व आघूर्ण उस पिण्ड की रचना करने वाले विभिन्न कणों के द्रव्यमान एवं उनकी घूर्णन अक्ष से सम्बन्धित दूरियों के वर्ग गुणनफलों के योग के बराबर होता है। अर्थात्

$$I = \sum mr^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots$$

जडत्व आघूर्ण निम्नलिखित पर निर्भर करता है :-

(i) घूर्णन अक्ष (ii) वस्तु का द्रव्यमान और (iii) किसी दिये हुये अक्ष के सापेक्ष इसके द्रव्यमान का वितरण। जडत्व आघूर्ण, घूर्णन गति में जडत्व का माप होता है।

मरोड़ी दोलन (Torsional oscillation) :-

जब किसी छड़ या तार का एक सिरे स्थिर कर दूसरे सिरे पर कोई पिण्ड लटका कर उसे कुछ कोण से मरोड़ा जाता है तो तार में मरोड़ी प्रत्यानयन बल युग्म उत्पन्न हो जाता है। यदि बाह्य मरोड़ी बल युग्म हटा दिया जाये तो निकाय कोणीय सरल आवर्त गति करता है इसे मरोड़ी दोलक कहते हैं।

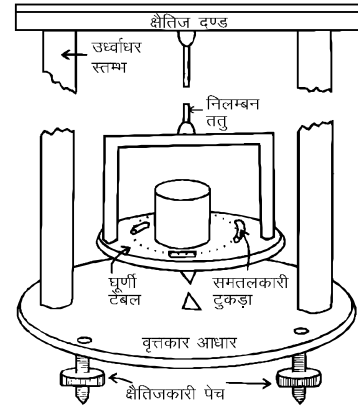
मरोड़ी दोलनों के आवर्तकाल का मान होता है -

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{C}}$$

जहाँ I घूर्णन अक्ष के सापेक्ष निकाय का जडत्व आघूर्ण है और C प्रति एकांक एंठन कोण मरोड़ी बल युग्म (मरोड़क) है।

जडत्व टेबल

एक भारी वृताकार आधार पर लगे उर्ध्वाकार स्टैण्डों पर कसे क्षैतिज दण्ड से एक वृताकार चकती (धूर्णी टेबल) निलम्बन तन्तु (तार) के सहारे लटकी रहती है। आधार के नीचे तीन क्षैतिजकारी पेच लगे होते हैं जो उसे क्षैतिज करने के लिये प्रयुक्त किये जाते हैं। चकती की सतह पर गहरे वृताकार गड्ढे बने होते हैं। बेलनाकार व रिंगनुमा समतलकारी टुकड़ों से धूर्णी टेबल को क्षैतिज अवस्था में संतुलित किया



चित्र 7.1

जाता है।

आधार व चकती को क्षैतिज करने के लिये स्प्रिट लेवल का उपयोग किया जाता है। धूर्णी टेबल पर एवं आधार पर एक सीध में एक चिन्ह लगा देते हैं। यह टेबिल की माध्य अवस्था को प्रदर्शित करता है। धूर्णी टेबल को किसी भी दिशा में अल्प कोण से धूमाकर छोड़ देने पर वह माध्य अवस्था के इधर-उधर कोणीय सरल आवर्त गति करने लगती हैं। निलम्बन तार में ऐंठन से कोणीय गति होती है।

सिद्धान्त

किसी नियमित आकार की वस्तु का जडत्व आधूर्ण, जडत्व आधूर्ण टेबल से निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है :-

$$I_2 = \left[\frac{T_2^2 - T_0^2}{T_1^2 - T_0^2} \right] \times I_1 \quad (7.1)$$

यहाँ I_2 = नियमित आकार वाली वस्तु का अज्ञात जडत्व आधूर्ण (kg m^2)

I_1 = सहायक वस्तु का ज्ञात जडत्व आधूर्ण (kg m^2)

$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{C}}$ धूर्णी टेबल (रिक्त) के लिये दोलन का आवर्त काल (s)

$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1 + I_0}{C}}$ टेबल पर सहायक वस्तु रखने पर दोलन का आवर्त काल (s)

$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_2 + I_0}{C}}$ टेबल पर अज्ञात जडत्व आधूर्ण वाली वस्तु रखकर दोलन का आवर्त काल (s)

T_0, T_1 व T_2 का मान जडत्व आधूर्ण टेबल की सहायता से दोलन विधि से ज्ञात कर लेते हैं।
सहायक वस्तु का जडत्व आधूर्ण

1. सहायक वस्तु बेलनाकार हो जिसकी ज्यामितीय अक्ष टेबल की अक्ष (निलम्बन तार) के अनुदिश हो तो

$$I_1 = \frac{1}{2} MR^2 \quad (7.2)$$

2. सहायक वस्तु आयताकार हो तो केन्द्र से पारित तल के अभिलम्बवत जडत्व आधूर्ण

$$I_1 = M \left(\frac{L^2 + B^2}{12} \right) \quad (7.3)$$

3. सहायक वस्तु ठोस गोलाकार हो जिसका व्यास टेबल के समाक्षी हो तो

$$I_1 = \frac{2}{5} MR^2 \quad (7.4)$$

यहाँ M = पिण्ड का द्रव्यमान (kg) में R = त्रिज्या (m) में

L = लम्बाई व B = चौड़ाई (m) में

विधि

- स्प्रिट लेवल तथा क्षैतिजकारी पेचों की सहायता से टेबल के आधार को क्षैतिज कर लीजिए।
- घूर्णी टेबल को उस पर बने गड्ढे में वृताकार धातु के रिंगनुमा टुकड़ों की स्थिति परिवर्तित कर, क्षैतिज कर लीजिए। इस स्थिति में टेबल के नीचे लगी धातु की नोक आधार के मध्य बिन्दु के ठीक उपर आ जानी चाहिये।
- निलम्बन तंतु के उर्ध्वाधर नीचे एक बिन्दु अंकित करो। पिण्ड का जडत्व आघूर्ण प्रायः उसके गुरुत्व केन्द्र से पारित अक्ष के सापेक्ष ज्ञात करना होता है। अतः पिण्ड का गुरुत्व केन्द्र उक्त बिन्दु पर रखा जा सकता है।
- घूर्णी मंच और उसके आधार पर संदर्भ के लिए चिन्ह लगाओ।
- सहायक तथा अज्ञात जडत्व आघूर्ण वाले पिण्डों को तोलकर द्रव्यमान ज्ञात करो।
- प्रयुक्त पिण्डों की लम्बाई, चौड़ाई और व्यास आदि के माप उपयुक्त रीति से लेकर अंकित करो।
- मंच को क्षैतिज तल में अल्प कोण से धुमा कर छोड़ दीजिये। मंच मरोड़ी दोलन करना प्रारम्भ कर देगा। निश्चित संख्या में दोलनों के लिये विराम घड़ी से समय ज्ञात कर लीजिये। इस प्रक्रिया को 2-3 बार दोहराइये तथा एक दोलन के मध्यमान समय, अर्थात् आवर्तकाल T_0 का परिकलन कीजिये।
- मंच पर ज्ञात जडत्व आघूर्ण की सहायक वस्तु को केन्द्र के सापेक्ष सममिततः रख दीजिये। मंच को पुनः क्षैतिज तल में अल्प कोण से धुमाकर तथा निश्चित संख्या में मरोड़ी दोलनों के लिये 2-3 बार समय ज्ञात कर, मध्यमान आवर्तकाल T_1 ज्ञात कर लीजिये।
- सहायक वस्तु को हटा कर पुनः केन्द्र के सापेक्ष सममिततः उस वस्तु को रख दीजिए जिसका जडत्व आघूर्ण ज्ञात करना है। चरण 8 के अनुरूप मध्यमान आवर्त काल T_2 ज्ञात कर लीजिये।
- T_0, T_1, T_2 तथा I_1 के मानों को सूत्र में प्रयुक्त कर I का परिकलन कर लीजिये।

प्रेक्षण

- आर्वतकाल T_0, T_1 , तथा T_2 का मापन
विराम घड़ी का अल्पतमांक s

क्र. सं.	दोलनों की संख्या	दोलनों के लिये समय (s)			एक दोलन का समय या आर्वतकाल (s)		
		केवल मंच	मंच तथा सहायक वस्तु	मंच तथा दी गई वस्तु	T_0	T_1	T_2
1							
2							
3							

मध्यमान $T_0 = \dots\dots\dots$ s , $T_1 = \dots\dots\dots$ s तथा $T_2 = \dots\dots\dots$ s

- सहायक वस्तु के जडत्व आघूर्ण के लिये प्रेक्षण
सहायक वस्तु का द्रव्यमान (M)=kg, सहायक वस्तु की लम्बाई $L = \dots\dots\dots$ m,
सहायक वस्तु की चौड़ाई (B) =m, वर्नियर कैलिपर्स का अल्पतमांक =mm

क्र. सं.	व्यास के लिये पाठयांक						मध्यमान व्यास
	एक दिशा में			लम्बवत दिशा में			
	मुख्य पैमाने का पाठयांक	वर्नियर पैमाने का पाठयांक	कुल पाठयांक	मुख्य पैमाने का पाठयांक	वर्नियर पैमाने का पाठयांक	कुल पाठयांक	
1							
2							
3							

त्रिज्या $R = \dots\dots\dots m$

गणना

1. सहायक पिण्ड के आकार के अनुसार समीकरण 7.2 से 7.4 में से अथवा उपयुक्त उचित सूत्र का उपयोग कर जडत्व आघूर्ण I_1 की गणना करो।
2. T_0 , T_1 , T_2 व I_1 का मान समीकरण 7.1 में रख अज्ञात जडत्व आघूर्ण I ज्ञात करो।
3. उपयुक्त सूत्र की सहायता से प्रायोगिक पिण्ड के जडत्व आघूर्ण का प्रमाणिक मान ज्ञात करो।

$$\text{प्रतिशत त्रुटि} = \frac{\text{प्रमाणिक मान} - \text{प्रायोगिक मान}}{\text{प्रमाणिक मान}} \times 100 \%$$

परिणाम

दी गई नियमित आकार की वस्तु का जडत्व आघूर्ण I_2 (प्रायोगिक) = $\dots\dots\dots kg m^2$

वस्तु के जडत्व आघूर्ण का प्रमाणिक मान (सूत्र द्वारा) = $\dots\dots\dots kg m^2$

सावधानियाँ

1. निलम्बन तार में ऐंठन नहीं होनी चाहिये।
2. घूर्णी टेबल तथा आधार पूर्णतः क्षैतिज होने चाहिये।
3. टेबल के दोलन क्षैतिज तल में होने चाहिये। निलम्बन तार की बांये दांये गति नहीं होनी चाहिये। दोलन शुद्धतः मरोड़ी होने चाहिये।
4. आवर्तकाल की अधिक यथार्थता से मापन के लिये दोलनों की संख्या अधिक लेनी चाहिये।

मौखिक प्रश्न

1. जडत्व आघूर्ण से क्या तात्पर्य है?
2. जडत्व आघूर्ण किन-किन कारकों पर निर्भर करता है?
3. जडत्व आघूर्ण की विमा क्या होती है?
4. किस अक्ष के सापेक्ष किसी पिण्ड का जडत्व आघूर्ण न्यूनतम होता है?
5. जडत्व टेबल के दोलन किस प्रकार के होते हैं ?
6. जडत्व टेबल किस सिद्धान्त पर काम करती है ?

7. मरोडी लोलक में दोलन का आवर्त काल किन-किन बातों पर निर्भर करता है?
8. पिण्ड का द्रव्यमान घटाने से आवर्तकाल पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?
9. तार की लम्बाई बढ़ाने का आवर्त काल पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?
10. जड़त्व टेबल के आवर्तकाल का सूत्र क्या है?
11. तार की एकांक ऐंठन का नियतांक (C) किन-किन बातों पर निर्भर करता है?

उत्तरमाला

1. जिस प्रकार रैखिक गति में द्रव्यमान उस गति का जड़त्व होता है, घूर्णन गति में द्रव्यमान का समतुल्य जड़त्व आघूर्ण होता है। अधिक जड़त्व आघूर्ण वाली वस्तु में एक नियत मान का कोणीय त्वरण उत्पन्न करने के लिए अधिक बल आघूर्ण लगाना पड़ता है।
2. (i) घूर्णन अक्ष (ii) पिण्ड का द्रव्यमान (iii) अक्ष के सापेक्ष पिण्ड के द्रव्यमान का वितरण।
3. ML^2T^0
4. गुरुत्व केन्द्र से गुजरने वाले अक्ष के सापेक्ष
5. कोणीय सरल आवर्ती
6. मरोडी दोलन के सिद्धान्त पर
7. (i) पिण्ड के जड़त्व आघूर्ण (ii) तार के पदार्थ (iii) तार की लम्बाई (iv) तार की त्रिज्या पर
8. आवर्तकाल कम होगा
9. आवर्तकाल अधिक होगा
10. $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{C}}$
11. $C = \frac{\pi r^2 \eta}{2l}$ के अनुसार तार की त्रिज्या r , मरोड़ांक (तार के पदार्थ पर निर्भर) तथा लम्बाई l पर

प्रयोग – 8

उद्देश्य

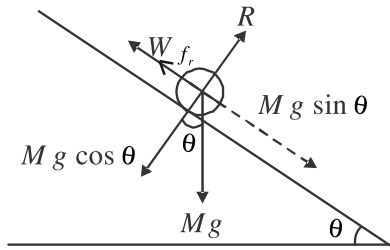
एक नत तल के अनुदिश एक रोलर पर पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण के कारण नीचे की ओर लगने वाले बल का मान ज्ञात करना तथा आनत कोण के साथ इसके संबंध का अध्ययन करना।

उपकरण

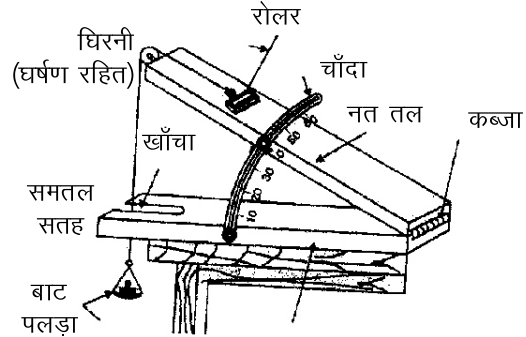
कोण मापने की व्यवस्था सहित धिरनी लगा नत तल का उपकरण, रोलर, स्प्रिंग तुला, बाट बॉक्स, स्प्रिट लेवल, पलड़ा एवं धागा।

सामान्य जानकारी

किसी स्थिर सतह पर रखे पिण्ड पर क्षैतिज बाह्य बल लगाया जाता है तथा पिण्ड विराम में ही रहता है तो दोनो सतहों के मध्य लगने वाला घर्षण बल उसे संतुलित करता है। बाह्य बल का मान बढ़ाने पर घर्षण बल भी बढ़ जाता है। बाह्य बल का मान और अधिक बढ़ाने पर एक स्थिति ऐसी आती है कि पिण्ड समान वेग से गतिशील हो जाता है। इस अवस्था में लगाया गया बाह्य बल सीमान्त घर्षण के बराबर होता है।



चित्र 8.1



चित्र 8.2

नत तल

इसमें दो लकड़ी की समतल सतह होती है जो कब्जे से एक दूसरे से जुड़ी होती हैं। एक सतह समतल (क्षैतिज) रख दूसरी सतह को प्रथम समतल सतह से भिन्न-भिन्न कोण पर आनत की व्यवस्था होती है।

सिद्धान्त

नत तल पर धागे से बंधे रोलर या लुढ़कते पिण्ड पर लगने वाले विभिन्न बल चित्रानुसार (चित्र 8.1) होते हैं।

जब रोलर समान वेग से नत तल पर लुढ़कते तो उस पर लगने वाला परिणामी बल शून्य होगा अतः

$$W + f_r = Mg \sin \theta \quad ; \quad W = Mg \sin \theta - f_r$$

यहाँ $W =$ पलड़े एवं बाटों का भार, $M =$ रोलर का द्रव्यमान
 $f_r =$ लुढ़कते समय घर्षण बल
 अतः W व $\sin\theta$ में ग्राफ एक सरल रेखा होगी।

विधि

1. चित्र (8.2) में दर्शाए अनुसार नत तल को किसी कोण पर व्यवस्थित करें।
2. स्प्रिंग तुला की सहायता से पलड़े व रोलर का द्रव्यमान ज्ञात करें।
3. प्रारम्भ में पलड़े पर इतने बाट रखे कि रोलर नत तल के उच्च बिन्दु पर स्थिर रहे।
4. पलड़े में रखे बाटों को धीरे-धीरे छोटे-छोटे पदों में तब तक हटाते जाएँ जब तक कि रोलर नियत वेग से नीचे की ओर गति करना प्रारम्भ नहीं कर दें।
5. झुकाव कोण व पलड़े में रखे बाटों का मान सारणी में लिखें।
6. उपरोक्त प्रयोग को भिन्न-भिन्न झुकाव कोणों के लिए दोहरायें।
7. उक्त झुकाव कोणों पर पलड़े में बाट बढ़ाते हुये जब कि रोलर की गति उपर को प्रारम्भ होती है पाठयांक लेवें।

प्रेक्षण

1. स्प्रिंग तुला का अल्पतमांक = kg
2. गुरुत्वीय त्वरण का मान (g) = $m s^{-2}$
3. पलड़े का द्रव्यमान (M_p) = kg भार ($M_p g$) = $kg m s^{-2}$
4. रोलर का द्रव्यमान (M_r) = kg भार ($M_r g$) = $kg m s^{-2}$

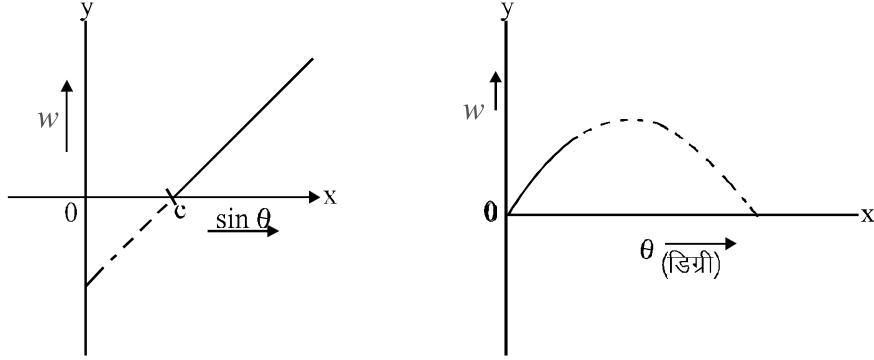
प्रेक्षण सारणी

क्र.सं.	θ	$\sin\theta$	रोलर के गतिमान होने पर पलड़े पर भार		कुल भार (पलड़ा+बाट का भार)		$W = \frac{W_1 + W_2}{2}$ g में
			जब पलड़ा ऊपर जाता है $W_3 = M_3 g$ g में	जब पलड़ा नीचे जाता है। $W_4 = M_4 g$ g में	जब पलड़ा ऊपर जाता है $W_1 = W_p + W_3$ g में	जब पलड़ा नीचे जाता है $W_2 = W_p + W_4$ g में	
1							
2							
3							
4							
5							

गणना

1. सारणी से प्रत्येक θ के लिये $\sin\theta$ का मान ज्ञात करें।
2. प्रत्येक θ के लिए W की गणना $W = \frac{W_1 + W_2}{2}$ सूत्र से करें।

3. $\sin\theta$ एवं W में ग्राफ खींचे जो कि एक सरल रेखा प्राप्त होनी चाहिए।



परिणाम

प्रायोगिक अशुद्धियों की सीमा के अन्दर, नत तल पर किसी पिण्ड पर नीचे की ओर लगने वाला बल $\sin\theta$ के समानुपाती होता है।

सावधानियाँ

1. नत तल सभी स्थानों पर समान रूप से चिकना हो।
2. नत तल को क्षैतिज तल पर ही रखना चाहिए।
3. धिरणी घर्षण रहित होनी चाहिए।
4. बाट अत्यन्त छोटे पदों में सावधानी पूर्वक हटाने व रखने चाहिए।
5. रोलर की गति लोटनी होनी चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. घर्षण बल को परिभाषित करो।
2. जिस बाह्य बल पर पिण्ड ठीक (Just) समान गति प्रारम्भ करता है उसे क्या कहते हैं ?
3. क्या नेट बाह्य बल की अनुपस्थिति में स्थिर पिण्ड पर घर्षण लगता है ?
4. क्या घर्षण सदैव गति का विरोध करता है ?
5. क्या घर्षण बल पृष्ठों के सम्पर्क क्षेत्रफल पर निर्भर करता है ?
6. Mg बल का दूसरा घटक $Mg \cos\theta$ किससे संतुलित होता है ?

उत्तर

1. वह बल जो किसी सतह एवं पिण्ड के बीच सापेक्ष गति के कारण पिण्ड पर गति की विपरीत दिशा में कार्य करे, घर्षण बल कहलाता है।
2. सीमान्त घर्षण बल
3. नहीं।
4. नहीं।
5. नहीं।
6. $Mg \cos\theta = R$ (अभिलम्ब प्रतिक्रिया बल)

प्रयोग – 9

उद्देश्य

स्प्रिंग पर भार लटका कर उसका बल नियतांक (Force constant) ज्ञात करना।

उपकरण

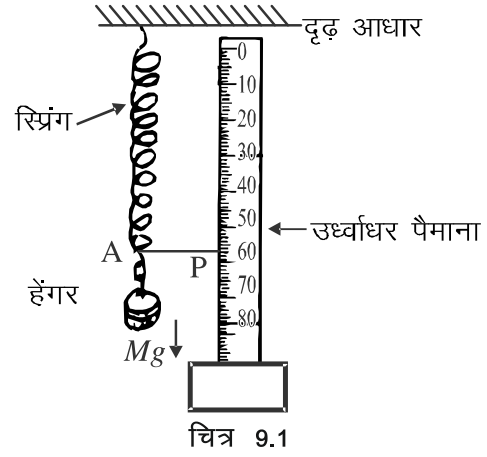
हल्का स्प्रिंग जिसके निचले सिरे पर संकेतक लगा हो, भार लटकाने के हैंगर, दृढ़ आधार, मानक बाट, उर्ध्वाधर लकड़ी का पैमाना।

सामान्य विवरण

जब किसी वस्तु पर बाह्य बल लगाया जाता है तो वह वस्तु उस बल के प्रभाव से अपना स्वरूप परिवर्तित कर लेती है अर्थात् विकृत हो जाती है। परन्तु उस बल को हटा लेने पर वह वस्तु अपने प्रारम्भिक स्वरूप को प्राप्त कर लेती है। पदार्थ के इस गुण को हम प्रत्यास्थता के रूप में जानते हैं। वह आन्तरिक बल जो वस्तु को पूर्व अवस्था में लाता है प्रत्यानयन बल कहते हैं।

प्रयुक्त उपकरण

चित्र 9.1 में दर्शाये अनुसार दृढ़ आधार से हल्की कुण्डलीय स्प्रिंग लटकी होती है जिसके खुले सिरे पर वजन लटकाने हेतु हैंगर लगा होता है। बिन्दु A पर संकेतक P लगा होता है जो उर्ध्वाधर पैमाने पर स्प्रिंग के विस्तार को दर्शाता है।



सिद्धान्त

दृढ़ आधार से लटकायी गई स्प्रिंग से भार (बाट) लटकाने पर स्प्रिंग में प्रत्यानयन बल कार्य करता है। हुक के नियम से प्रत्यास्थता की सीमा में प्रत्यानयन बल (F) स्प्रिंग में विस्तारण (x) के अनुक्रमानुपाती होता है।

$$F \propto x$$

$$F = - kx$$

यहां ऋणात्मक चिन्ह यह प्रदर्शित करता है कि बल विस्तारण के विपरीत दिशा में लगता है और k स्प्रिंग बल नियतांक है।

M द्रव्यमान लटकाने पर x विस्तारण पर साम्य अवस्था आ जाने पर

$$F = Mg = kx$$

अतः स्प्रिंग का बल नियतांक $k = Mg/x$

$$\dots\dots\dots (9.1)$$

विधि

1. स्प्रिंग को दृढ़ आधार से लटकाएँ।
2. उर्ध्वाधर मीटर पैमाने का लघुतम माप ज्ञात कीजिए।

3. स्प्रिंग के निचले हिस्से पर संकेतक को लगाकर, इसकी स्थिति को मीटर पैमाने पर ज्ञात कीजिए। ध्यान रहे इस अवस्था में स्प्रिंग पर कोई भार लटका हुआ नहीं हो।
4. स्प्रिंग के मुक्त सिरे पर हैंगर लगाओ। अब स्प्रिंग दोलन करना बन्द कर स्थिर अवस्था में आ जावे तो संकेतक की मीटर पैमाने पर नई स्थिति ज्ञात कीजिये। इस प्रयोग के लिये बराबर द्रव्यमान के झिरी कटे बेलनाकार बाट लिये जाते हैं। हैंगर का द्रव्यमान भी एक बाट के बराबर होता है।
5. अब हैंगर पर एक बाट रखकर भार बढ़ाओ और स्प्रिंग के स्थिर अवस्था में आने पर संकेतक की मीटर पैमाने पर स्थिति ज्ञात करो।
6. उपरोक्त चरण (Step) 4 व 5 का अनुसरण कर हैंगर पर 1-1 बाट बढ़ाते जाओ। 5-6 बाट रखे जाने तक भार के लिये संकेतक की मीटर पैमाने पर स्थिति ज्ञात करते जाओ।
7. अब धीरे-धीरे हैंगर से 1-1 बाट कम करते हुये पुनः संकेतक की स्थिति प्रेक्षण सारणी में सम्बन्धित भार के सामने अंकित करते जाओ।

प्रेक्षण

(i) हैंगर का द्रव्यमान = g

(ii) मीटर पैमाने का लघुत्तम माप =cm

प्रेक्षण सारणी

क्र.सं.	स्प्रिंग पर लटकाया द्रव्यमान हैंगर सहित g में	स्प्रिंग पर कार्यरत बल $F = Mg$	मीटर पैमाने पर संकेतक की स्थिति (mm में)			$Mg = \dots$ न्यूटन बल के लिये स्प्रिंग में विस्तारण x mm	$Mg = \dots$ न्यूटन बल के लिये औसत विस्तारण
			भार बढ़ाते समय	भार घटाते समय	औसत		
1					A	C-A	
2					B	\bar{x} D-B	
3					C	E-C	
4					D	F-D	
5					E	G-E	
6					F	H-F	
7					G		
8					H		

गणना

1. स्प्रिंग का बल नियतांक $k = \frac{Mg}{\bar{x}}$

सारणी से $M = \dots \dots \dots g = \dots \dots \dots kg$

$\bar{x} = \dots \dots \dots mm = \dots \dots \dots m$

$$g = \dots\dots\dots \text{m s}^{-2}$$

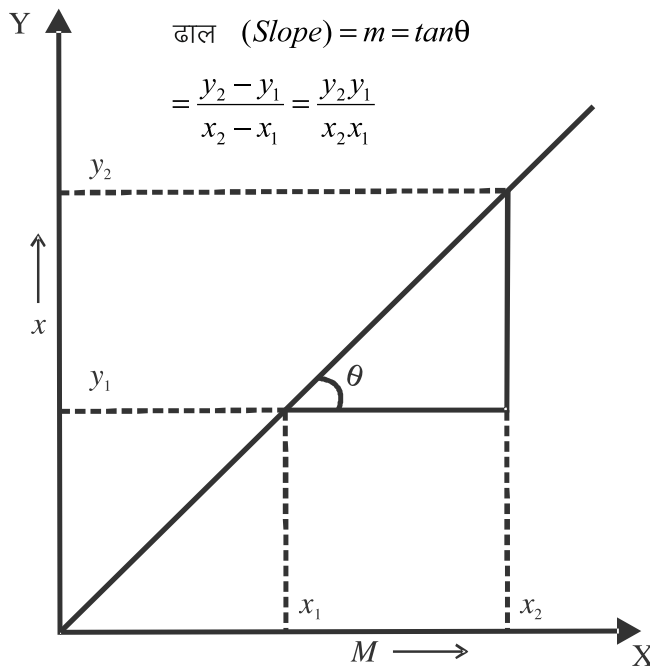
$M, g,$ के मान सूत्र में रख k के मान (N m^{-1}) की गणना कीजिये।

2. या $x = \frac{g}{k} M$

प्रेक्षण सारणी से M व x को क्रमशः x व y अक्ष पर लेते हुये ग्राफ खींचो (चित्र 9.2)। यह एक

सरल रेखा होगी जिसका ढाल (slope) $m = \frac{g}{k}$ होगा।

अतः $k = \frac{g}{\text{ढाल (slope)}} = \frac{g}{m}$



चित्र 9.2

परिणाम

दिये गये स्प्रिंग का बल नियतांक

$k = \dots\dots\dots \text{N m}^{-1}$ (सूत्र से)

$k = \dots\dots\dots \text{N m}^{-1}$ (ग्राफ से)

माध्य $k = \dots\dots\dots \text{N m}^{-1}$

सावधानियाँ

1. आधार दृढ़ होना चाहिये।

2. स्प्रिंग उर्ध्वाकार स्थिति में हो तथा मीटर पैमाना इसके समान्तर हो।
3. स्प्रिंग पर भार धीरे से एवं सावधानीपूर्वक रखने चाहिये।
4. स्प्रिंग पर भार प्रत्यास्थता सीमा से अधिक नहीं लटकाने चाहिये।
5. संकेतक मीटर पैमाने को स्पर्श नहीं करना चाहिये।
6. भार लटकाने एवं हटाने के उपरान्त प्रेक्षण कुछ समय रुक कर लेने चाहिये।

मौखिक प्रश्न

1. प्रत्यास्थता से क्या अभिप्राय है ?
2. रबड तथा स्टील में कौन अधिक प्रत्यास्थ है?
3. हुक का नियम क्या है?
4. प्रत्यास्थता की सीमा क्या होती है ?
5. प्रत्यानयन बल क्या होता है?
6. विकृति से आप क्या समझते हैं? यह कितने प्रकार की होती है?
7. प्रतिबल को परिभाषित कीजिये।
8. स्प्रिंग की लम्बाई बढ़ाने पर उसके बल नियतांक पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
9. स्प्रिंग में दोलन किस प्रकार के होते हैं ?
10. भरी बस में उबड़-खाबड़ सड़क पर झटके कम अनुभव किये जाते हैं, क्यों?
11. स्प्रिंग के अध्ययन को क्यों महत्व दिया गया है?

उत्तरमाला

1. प्रत्यास्थता किसी वस्तु के पदार्थ का वह गुण है जिसके कारण वस्तु इस पर कार्यरत विरूपक बल के कारण उत्पन्न आकार अथवा रूप के परिवर्तन का विरोध करती है और जैसे ही विरूपक बल हटा लिया जाता है वस्तु अपनी पूर्व अवस्था को प्राप्त कर लेती है।
2. स्टील
3. प्रत्यास्थता सीमा में विरूपित वस्तु में प्रतिबल विकृति के समानुपाती होता है।
4. विरूपक बल का वह अधिकतम मान जिसको लगाकर हटाने पर विरूपण पूरी तरह समाप्त हो जाए, प्रत्यास्थता सीमा कहलाती है।
5. विरूपण के कारण वस्तु में उत्पन्न कुल अन्तर आणविक बल को प्रत्यानयन बल कहते हैं।
6. वस्तु के आकार के किसी माप में परिवर्तन एवं उस माप के पूर्वमान के अनुपात को विकृति कहते हैं। यह तीन प्रकार की होती है।
7. प्रति एकांक अनुप्रस्थ काट में उत्पन्न प्रत्यानयन बल को प्रतिबल कहते हैं।
8. बल नियतांक कम हो जावेगा।
9. अल्प आयाम के दोलन सरल आवर्ती होते हैं।
10. झटकों से बस की कमानी सरल आवर्त गति करती है, जिसकी आवृत्ति का वर्ग कमानी के बल नियतांक और बस के कुल द्रव्यमान के समानुपाती होता है। भरी बस का द्रव्यमान अधिक होने के कारण दोलन की आवृत्ति घट जाती है और झटके कम लगते हैं।
11. दो परमाणुओं के बीच बल की प्रकृति स्प्रिंग बल के अनुरूप होती है। ऊर्जा मिलने पर उनमें स्प्रिंग जैसे कम्पन्न होते हैं। इस जानकारी का उपयोग अणुओं की संरचना समझने में होता है।

अनुभाग 'B'

प्रयोग – 1

उद्देश्य

दिये गये तार के पदार्थ का सर्ल के उपकरण से यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना।

उपकरण

सर्ल का उपकरण, दिया गया तार जिसका यंग प्रत्यास्थता गुणांक ज्ञात करना है, आधा-आधा kg के 7-8 बाट, हेंगर, मीटर स्केल, स्क्रूगेज आदि।

उपकरण की सामान्य जानकारी

सर्ल के उपकरण में एक आयताकार धातु का फ्रेम होता है। जो चित्र (1.1) में दर्शाये अनुसार एक दृढ़ आधार पर दो एक ही धातु के पतले एवं परस्पर समान्तर तारों A व B के द्वारा हुक P व Q पर लटका

हुआ रहता है। स्पिरिट लेबल का एक सिरा फ्रेम P के साथ जुड़ा रहता है तथा दूसरा भाग माइक्रो मीटर के पेच के सिरे पर टिका रहता है। जब माइक्रो मीटर की चक्रिका को घुमाते हैं तो उसके ऊपर रखे स्पिरिट लेबल का सिरा भी उसी के अनुसार ऊपर नीचे गति कर सकता है। P के हुक के साथ लटका भार W एक स्थिर भार है जो तार को ऐंठन रहित बनाता है। Q के हुक से एक हेंगर लटका रहता है।

सिद्धान्त

हुक के नियमानुसार प्रत्यास्थता सीमा में, प्रतिबल, विकृति के समानुपाती होता है। अर्थात् प्रतिबल \propto विकृति

प्रतिबल = प्रत्यास्थता गुणांक \times विकृति

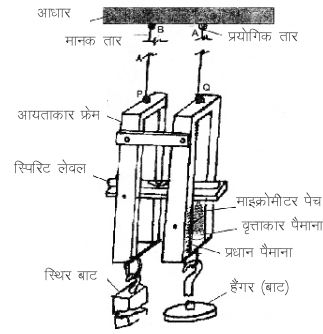
अतः तार के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक $Y = \frac{\text{अनुदैर्घ्य प्रतिबल}}{\text{अनुदैर्घ्य विकृति}}$

किसी L लम्बाई तथा r त्रिज्या के तार से M द्रव्यमान लटकाने पर उसकी लम्बाई में वृद्धि l हो तो—

$$\text{अनुदैर्घ्य प्रतिबल} = \frac{Mg}{\pi r^2}$$

$$\text{अनुदैर्घ्य विकृति} = \frac{l}{L}$$

$$Y = \frac{Mg/\pi r^2}{l/L}$$



चित्र (1.1)

$$= \frac{MgL}{\pi r^2 l} \text{ Nm}^{-2}$$

विधि

1. सर्वप्रथम स्टील के समान अनुप्रस्थ काट व समान लम्बाई के दो (A व B) तारों के द्वारा उपकरण को दृढ़ आधार से लटका देते हैं।
2. फ्रेम P के हुक पर नियत भार तथा फ्रेम Q के हुक पर हेंगर लटकाते हैं जिससे दोनों तारों से ऐंठन दूर हो जाए।
3. प्रायोगिक तार A की लम्बाई L मीटर स्केल द्वारा ज्ञात करते हैं।
4. स्क्रूगेज (पेचमापी) द्वारा तार के व्यास के लिए पाठ्यांक लेते हैं एवं सारणीबद्ध करते हैं।
5. माइक्रोमीटर पेच को घुमाकर स्पिट लेबल के बुलबुले को ठीक बीच में रखकर पाठ्यांक प्रारम्भ करने के लिए समायोजित करते हैं।
6. प्रायोगिक तार पर $\frac{1}{2} - \frac{1}{2}$ kg के पदों में हेंगर पर बाट बढ़ाते जाते हैं एवं कुछ देर रुककर, स्पिट लेवल के बुलबुले को मध्य में लाकर माइक्रोमीटर का पाठ्यांक लेते हैं और इनको सारणी में लिखते हैं। इस प्रकार 7-8 पाठ्यांक लेते हैं।
7. अब बाटों को $\frac{1}{2}$ kg के पदों में घटाते माइक्रोमीटर का पाठ्यांक ज्ञात कर भार के संगत सारणी में लिखते हैं।
8. 2 kg के लिए तार की लम्बाई में वृद्धि ज्ञात करने के लिए, सारणी में 2 kg के अन्तर के लिए संगत पाठ्यांकों को घटाकर 2 kg द्रव्यमान के लिए लम्बाई में माध्य वृद्धि ज्ञात करते हैं।

प्रेक्षण

1. प्रायोगिक तार की प्रारम्भिक लम्बाई (L) = m
2. स्क्रूगेज का अल्पतमांक = cm.
3. माइक्रोमीटर का अल्पतमांक = cm.

(a) स्क्रूगेज से तार की त्रिज्या के लिए सारणी

क्र.स	एक दिशा में पाठ्यांक cm में			लम्बवत दिशा में पाठ्यांक cm में			एक स्थान पर व्यास $\frac{x+y}{2}$ cm	तार का माध्य व्यास $d = \frac{d_1+d_2}{2}$ cm	तार की त्रिज्या $r = \frac{d}{2}$ cm
	प्र.पै.का पाठ्यांक cm	वृ.पै.का पाठ्यांक	कुल पाठ्यांक x cm	प्र.पै.का पाठ्यांक cm	वृ.पै.का पाठ्यांक	कुल पाठ्यांक y cm			
1.							$d_1 =$		
2.							$d_2 =$		

(b) भार के साथ तार की लम्बाई में वृद्धि के लिए सारणी-

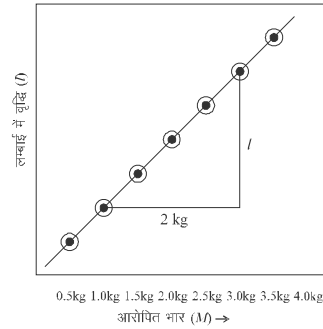
क्र.स.	हेंगर पर लटकाया द्रव्यमान (kg) M	माइक्रोमीटर का पाठ्यांक (cm)						औसत पाठ्यांक cm $C_i = \frac{a+b}{2}$	2 kg के लिए लम्बाई में वृद्धि(cm)
		भार बढ़ाते हुए			भार घटाते हुए				
		प्र.पै.का पाठ्यांक	व.पै.का पाठ्यांक	कुल पाठ्यांक(a)	प्र.पै.का पाठ्यांक	व.पै.का पाठ्यांक	कुल पाठ्यांक(b)		
1.	0.5 kg							C_1	$C_5 - C_1$
2.	1.0 kg							C_2	$C_6 - C_2$
3.	1.5 kg							C_3	$C_7 - C_3$
4.	2.0 kg							C_4	
5.	2.5 kg							C_5	
6.	3.0 kg							C_6	
7.	3.5 kg							C_7	

गणना

- आरोपित भार व तार की लम्बाई में वृद्धि के मध्य ग्राफ खींचते हैं। ग्राफ सरल रेखा प्राप्त होता है।
- यंग प्रत्यास्थता गुणांक Y के लिए

$$Y = \frac{MgL}{\pi r^2 l}$$

2 kg भार के लिए ग्राफ से लम्बाई वृद्धि का मान ज्ञात कर सूत्र में स्थापित कर Y का मान प्राप्त करते हैं।



परिणाम

- तार के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक $Y = \dots\dots\dots \text{Nm}^{-2}$ प्राप्त होता है।
- भार में वृद्धि तथा संगत लम्बाई में वृद्धि के मध्य ग्राफ एक सीधी रेखा प्राप्त होती है। जिससे हुक का नियम सत्यापित होता है।

सावधानियाँ

- तार A व B एक ही दृढ़ आधार पर परस्पर समान्तर लटके हुए होने चाहिए।
- दोनों तार में ऐंठन नहीं होनी चाहिए।
- हेंगर पर भार बढ़ाते या घटाते समय झटके नहीं लगने चाहिए।
- हेंगर पर भार रखने के कुछ देर बाद माइक्रोमीटर का पाठ्यांक लेना चाहिए।
- भार बहुत अधिक नहीं बढ़ाना चाहिए अन्यथा प्रत्यास्थता सीमा से बाहर हो जाते हैं।

मौखिक प्रश्न

- प्रत्यास्थता किसे कहते हैं?

2. हुक का नियम क्या है?
3. प्रतिबल किसे कहते हैं?
4. विकृति से आप क्या समझते हैं?
5. यंग प्रत्यास्थता गुणांक क्या होता है?
6. Y का मात्रक क्या होता है?
7. प्रतिबल एवं विकृति में कौनसी राशि, किस पर निर्भर करती है?
8. प्रत्यास्थता सीमा क्या होती है?
9. स्टील एवं खर में से कौनसा अधिक प्रत्यास्थ है?
10. दैनिक जीवन में यंग प्रत्यास्थता गुणांक का क्या उपयोग है?

उत्तर

1. पदार्थ का वह गुण जिसके कारण, विरूपक बल हटाने पर पदार्थ अपनी प्रारम्भिक अवस्था को प्राप्त करता है, प्रत्यास्थता कहलाता है।
2. प्रत्यास्थता सीमा में प्रतिबल विकृति के समानुपाती होता है।
3. अपरूपक बल के विपरीत अणुओं द्वारा, एकांक क्षेत्रफल पर लगने वाला अभिलम्ब प्रतिक्रिया बल ही प्रतिबल कहलाता है।
4. वस्तु के माप में परिवर्तन और प्रारम्भिक माप के अनुपात को विकृति कहते हैं।
5. यह पदार्थ के अनुदैर्घ्य प्रतिबल एवं अनुदैर्घ्य विकृति का अनुपात होता है। यह पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करता है।
6. $N m^{-2}$
7. प्रतिबल, विकृति पर निर्भर करता है, बाह्य अपरूपक बल के कारण विकृति उत्पन्न होती है एवं विकृति से प्रतिबल।
8. यह प्रतिबल का अधिकतम मान होता है जिस पर प्रतिबल विकृति के समानुपाती रहता है।
9. स्टील अधिक प्रत्यास्थ है, क्योंकि समान विकृति के लिए स्टील पर अधिक बाह्य बल लगाना होता है।
10. भवन निर्माण अभियान्त्रिकी में भार सहन करने की क्षमता की गणना एवं डिजाइन में यंग प्रत्यास्थता गुणांक का ज्ञान आवश्यक होता है।

प्रयोग – 2

उद्देश्य

केशिका नली उन्नयन विधि द्वारा पानी का पृष्ठ तनाव ज्ञात करना।

उपकरण

चल सूक्ष्मदर्शी, केशिकाएं, बीकर, पानी, स्टैण्ड।

सिद्धांत

पृष्ठ तनाव : अन्तर आणविक बलों के कारण किसी द्रव का मुक्त पृष्ठ, तनाव की अवस्था में होता है। चित्र () में द्रव के समतल मुक्त पृष्ठ AB रेखा द्वारा दो भागों में विभाजित दिखाया गया है। बाया भाग दाहिने भाग के पृष्ठ द्वारा पृष्ठ के तल में ही समान बल से खिंचा रहता है इसी प्रकार दाहिने भाग के द्रव में खिंचाव होता है। प्रति एकांक लम्बाई पर इस बल के मान को पृष्ठ तनाव

$T = \left(\frac{F}{l} \right)$ कहते हैं। इसका मान द्रव की प्रकृति,

ताप आदि राशियों पर निर्भर होता है।

एक ठोस पृष्ठ के सम्पर्क में आये द्रव का मुक्त पृष्ठ द्रव के ठोस के साथ सम्पर्क तल से जो

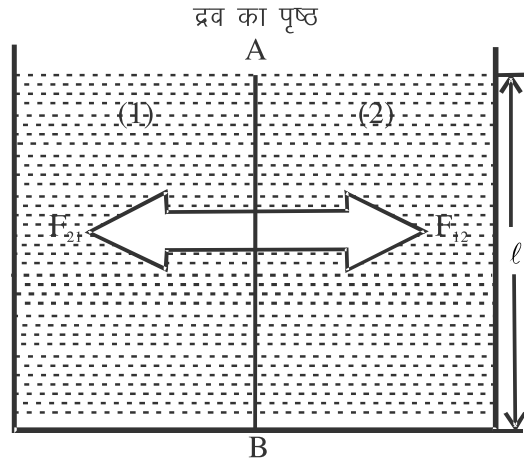
कोण बनाता है उसे सम्पर्क कोण कहते हैं। ठोस पृष्ठ को गीला करने वाले द्रवों के लिये यह कोण एक न्यून कोण होता है। जैसे पानी – कांच युग्म। पारा कांच को गीला नहीं करता है। उससे चिपकता नहीं है अतः कांच-पारे का सम्पर्क कोण अधिक कोण होता है।

चित्र (2.1) में r त्रिज्या की केशिका के लिये सम्पर्क कोण और पृष्ठ तनाव अंकित किये गये हैं। पृष्ठ तनाव बल का क्षैतिज भाग नलिका के प्रतिक्रिया बल से संतुलित हो जाता है। ऊर्ध्वाधर घटक ($T \cos \theta$) के कारण केशिका की परिधि $2\pi r$ की लम्बाई पर बल $2\pi r T \cos \theta$ कार्य करता है।

इस प्रकार केशिका (त्रिज्या r) को गीला करने वाला द्रव, अपने पृष्ठ तनाव T के कारण $2\pi r T \cos \theta$ बल से ऊपर की ओर खींचा जाता है। केशिका में द्रव-स्तम्भ की ऊंचाई बढ़ने पर, जिस ऊंचाई के द्रव स्तम्भ का भार पृष्ठ तनाव के बल का संतुलित कर लेता है उतनी ऊंचाई तक केशिका में द्रव चढ़ जाता है। गीला नहीं करने वाले द्रव पर इससे ठीक उल्टा प्रभाव होता है। द्रव का तल नीचे दब जाता है। अतः साम्यावस्था में, ऊंचाई h पर पृष्ठ तनाव का बल = द्रव स्तम्भ का भार

$$\text{अर्थात् } 2\pi r T \cos \theta = \pi r^2 h \rho g \quad \rho = \text{द्रव का घनत्व}$$

$$\text{या } T = \frac{r h \rho g}{2 \cos \theta} \quad g = \text{गुरुत्वीय त्वरण}$$



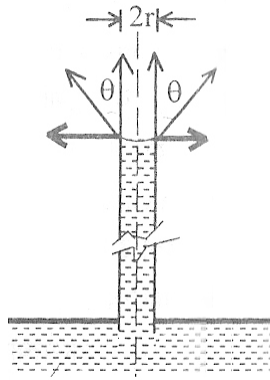
चित्र 11.1

T = पृष्ठ तनाव
 θ = सम्पर्क कोण

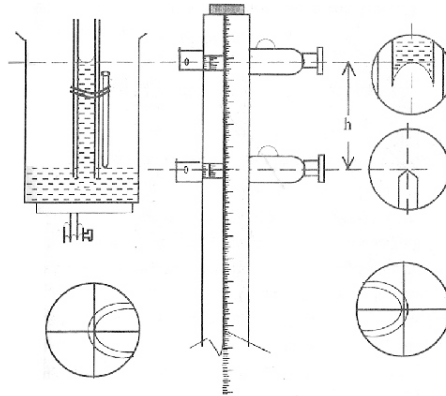
कांच पानी युग्म के लिये सम्पर्क कोण $\theta = 0$

पानी का पृष्ठ तनाव $T = \frac{rh\rho g}{2}$

r एवं h का मान एक चल सूक्ष्मदर्शी के द्वारा वांछित परिशुद्धता से ज्ञात किया जा सकता है।



चित्र संख्या 2.1 पृष्ठ तनाव के कारण जल का केशिका में उन्नयन



चित्र संख्या 2.2 चल सूक्ष्मदर्शी से द्रव स्तम्भ की ऊंचाई एवं केशिका की आन्तरिक त्रिज्या ज्ञात करना।

विधि

1. चल सूक्ष्मदर्शी को मेज पर उचित रीति से रखों, जिससे उपकरण को समंजित करने और प्रेक्षण लेने

में असुविधा न हो।

2. चल सूक्ष्मदर्शी के सभी पेचों और उनकी कार्यविधि को समझो।
3. उर्ध्वाधर आधार स्तम्भ पर बने प्रधान पैमाने पर अल्पतमांक (सब से छोटे विभाग का माप) अंकित करो। वर्नियर पैमाने के विभागों की संख्या अंकित करो और वर्नियर पैमाने के अल्पतमांक की गणना करो।
4. सूक्ष्मदर्शी के आधार तल को क्षैतिजकारी पेचों की सहायता से क्षैतिज करो।
5. सूक्ष्मदर्शी की नलिका को क्षैतिज कर इसके अभिवृक्ष्य लेंस के सामने साहुल (बाट लटकाया हुआ धागा) रखो। सूक्ष्मदर्शी को धागे पर फोकसित करो। नेत्रिका को घुमाकर एक क्रॉस तार को धागे से सम्पातित करो। इसके लिये आधार स्तम्भ को क्षैतिज विस्थापन भी देना पड़ सकता है।
6. अब एक पट्टिका पर केशिका को धागे या रबर बैंड से बांधो या मोम से चिपकाओ। इसके साथ एक पिन भी (केशिका के समान्तर) पट्टिका पर लगाओ। पिन की नोक की तुलना में केशिका का सिरा आगे निकलता हुआ होना चाहिये।
7. केशिका में पहले से द्रव हो तो फूंक मार कर हटा दो। केशिका को ऊर्ध्वाधर रखते हुए इसके सिरे को बीकर के पानी में इस प्रकार उतारो कि साथ ही पिन की नोक पानी के तल को छुए। केशिका में पानी चढ़ेगा। बीकर में इतना पानी भरा हुआ होना चाहिये कि केशिका में पानी का चन्द्रक (Meniscus) बीकर से ऊपर निकला हुआ हो।
8. इसी अवस्था में बीकर (स्टेण्ड सहित) को खिसका कर इस प्रकार लाओ कि पिन सूक्ष्मदर्शी के दृष्टि क्षेत्र में सन्निकट फोकसन दूरी पर आ जाये।
9. केशिका को उचित रूप में प्रकाशित करो। फोकसन पेच की सहायता से तथा आधार स्तम्भ को वांछित क्षैतिज विस्थापन देकर क्षैतिज क्रॉस तार को दृष्टि क्षेत्र में दिखते 'चन्द्रक' के शीर्ष के सम्पातित करो। ध्यान रहे कि सूक्ष्मदर्शी में प्रतिबिम्ब उल्टा बनता है।
10. ऊपर की स्थिति में ऊर्ध्वाधर पैमाने का पाठ्यांक पढ़कर अंकित करो।
11. केशिका एवं पिन को बिना हिलाये बीकर को हटा लो।
12. सूक्ष्मदर्शी को आवश्यक ऊर्ध्वाधर एवं क्षैतिज विस्थापन देकर क्षैतिज क्रॉस तार को पिन की नोक पर लाओ और फोकसित करो। पाठ्यांक अंकित करो।
13. केशिका की त्रिज्या सब जगह समान नहीं होती है। सूत्र चन्द्रक की स्थिति त्रिज्या के लिये व्युत्पन्न किया गया है। अतः केशिका के चन्द्रक से आगे के भाग को तोड़ कर केशिका को पट्टिका पर बांधो और सूक्ष्मदर्शी की अक्ष के अनुदिश रखो।
14. सूक्ष्मदर्शी को केशिका के अनुप्रस्थ काट कर फोकसित करो। क्षैतिज क्रॉस तार को केशिका के आन्तरिक व्यास के उच्चतम एवं निम्नतम बिन्दुओं से स्पर्श करती हुई स्थितियों के ऊर्ध्वाधर पैमाने के पाठ्यांक अंकित करो। दोनो पाठ्यांको के अन्तर से ऊर्ध्वाधर व्यास निकालो।
15. इसी प्रकार ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार को, क्षैतिज आन्तरिक व्यास के दोनों छोरों से स्पर्श कराती हुई स्थितियों में, क्षैतिज पैमाने पर पाठ्यांक लो दोनो पाठ्यांको के अन्तर से क्षैतिज व्यास निकालो।

प्रेक्षण

कमरे का ताप.....°C
गुरुत्वीय त्वरण(g)..... cm/s²

पानी का घनत्व (ρ) gm/cm³

प्रधान पैमाने का सबसे छोटा विभाग = cm

वर्नियर पैमाने पर विभागों की संख्या = cm

वर्नियर पैमाने का अल्पतमांक (L.C) = cm

'h' के लिये प्रेक्षण सारिणी

केशिका क्रमांक	केशिका के लिये नवचन्द्रक पर पाठ्यांक cm			पिन की नोक पर पाठ्यांक cm			केशिका में द्रव स्तम्भ की ऊंचाई cm $h = c - c'$ cm
	प्र. पै. का पाठ्यांक a	व. पै. का पाठ्यांक b	कुल पाठ्यांक $c = a + b$	प्र. पै. का पाठ्यांक a'	व. पै. का पाठ्यांक b'	कुल पाठ्यांक $c' = a' + b'$	
1.							
2.							

'r' के लिये प्रेक्षण सारिणी

केशिका क्रमांक	आन्तरिक व्यास के लिये एक सिरे पर पाठ्यांक cm			आन्तरिक व्यास के लिये दूसरे सिरे पर पाठ्यांक cm			केशिका की आन्तरिक त्रिज्या $r = \frac{f - f'}{2}$
	प्र. पै. का पाठ्यांक d	व. पै. का पाठ्यांक e	कुल पाठ्यांक $f = d + e$	प्र. पै. का पाठ्यांक d'	व. पै. का पाठ्यांक e'	कुल पाठ्यांक $f' = d' + e'$	
1.							
2.							

r के मान में अधिक परिशुद्धता की आवश्यकता समझी जाये तो केशिका के क्षैतिज व्यास के लिये भी प्रेक्षण लिये जा सकते हैं। इसके लिये सारिणी का विस्तार किया जा सकता है।

गणना

प्रत्येक केशिका के लिये द्रव स्तम्भ की ऊंचाई h एवं सम्बन्धित त्रिज्या का गुणनफल ज्ञात करो। r और h के गुणनफलों का माध्य निकालो। यह है।

$$\text{सूत्र } T = \frac{(\bar{rh})\rho g}{2}$$

परिणाम : पानी का °C पर पृष्ठ तनाव का प्रायोगिक मान

..... डाइन/सेमी
 N/m
 पृष्ठ तनाव का प्रामाणिक मान = N/m

$$\text{प्रतिशत त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} - \text{प्रयोग से प्राप्त मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

सावधानियाँ

1. केशिका नली की भीतरी सतह साफ होनी चाहिये। आवश्यकता पड़ने पर तेजाब, कार्बिक आदि का उपयोग करना चाहिए।
2. केशिका नली का आधार स्तम्भों पर दृढ़ता से कसना चाहिये जिससे कि हिलने से संमजन में कोई परिवर्तन नहीं हो।
3. सूक्ष्मदर्शी के सभी पेचों की कसावट ठीक होनी चाहिये।

मौखिक प्रश्न

1. द्रव के पृष्ठ तनाव से आप क्या समझते हैं ?
2. पृष्ठ ऊर्जा के रूप में पृष्ठ तनाव की परिभाषा क्या होती है ?
3. पृष्ठ तनाव के उपयोग बताओं ?
4. केशनली में जल ऊपर क्यों चढ़ता है ?
5. स्पर्श कोण की परिभाषा दो ?
6. द्रव का चन्द्रक अवतल क्यों होता है ?
7. कौन सा द्रव केशनली में नीचे गिरता है ?
8. पृष्ठ तनाव पर ताप का क्या प्रभाव पड़ता है ?
9. नली का व्यास आधा करने पर जल कितना चढ़ेगा ?
10. द्रव की छोटी बूंद गोल आकार क्यों ग्रहण कर लेती है ?

उत्तरमाला

1. द्रव का मुक्त पृष्ठ एक खिंची हुई रबड़ की झिल्ली के समान व्यवहार करता है। जिसकी प्रवृत्ति सदैव अपने क्षेत्रफल को कम करने की होती है। इस प्रवृत्ति को ही पृष्ठ तनाव कहते हैं।
2. पृष्ठ तनाव उस पृष्ठ ऊर्जा के बराबर होता है जो नियत ताप पर एकांक क्षेत्रफल बढ़ाने में पृष्ठ में संचित हो जाती है।
3. पृष्ठ तनाव के कारण साबुन वाला घोल जल की तुलना में कपड़ों पर अधिक फैलता है। तेलों के कम पृष्ठ तनाव के कारण तालाबों एवं झीलों में मच्छर मारने में सहायता मिलती है।
4. केशनली में जल का तल अवतल होता है। उसके नीचे दाब वायुमण्डलीय दाब से कम होता है। उसको पूरा करने के लिये जल ऊपर चढ़ता है।
5. द्रव तथा ठोस के किसी स्पर्श बिन्दु से द्रव के मुक्त पृष्ठ पर खींची गयी स्पर्श रेखा तथा ठोस के पृष्ठ पर द्रव के अन्दर की ओर खींची गयी सम्पर्क रेखा के मध्य बने कोण को उस ठोस तथा द्रव के लिये स्पर्श कोण कहते हैं।
6. जल तथा ठोस के अणुओं के मध्य लगने वाले आसंजक बल, तथा द्रवों के अणुओं के मध्य संसंजक

बल दोनो बलों के संयुक्त प्रभाव के कारण चन्द्रक अवतल होता है।

7. जिसका चन्द्रक उत्तल होता है वह द्रव केशनली में नीचे उतर जाता है, जैसे पारा।
8. ताप बढ़ने के कारण पृष्ठ तनाव कम हो जाता है।
9. जल स्तंभ की ऊंचाई दुगुनी हो जायेगी।
10. पृष्ठ तनाव के कारण पृष्ठ सिकुड़कर न्यूनतम क्षेत्रफल ग्रहण करना चाहता है। दिये गये आयतन के लिए गोले का क्षेत्रफल न्यूनतम होता है इसलिए द्रव की छोटी बूंदें गोलाकार हो जाती हैं। छोटी बूंदों का भार भी नगण्य होता है। इसलिए चपटी नहीं होती हैं।

प्रयोग-3

उद्देश्य

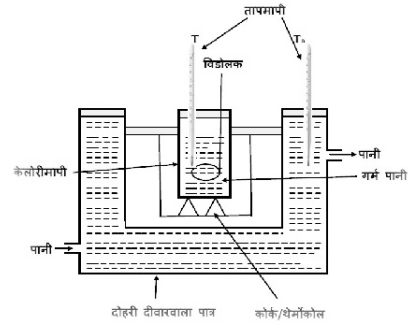
न्यूटन के शीतलन के नियम का सत्यापन करना।

उपकरण

न्यूटन के शीतलन नियम का आवश्यक उपकरण, दो तापमापी, विराम घड़ी, पानी, विडोलक, बर्नर, इत्यादि।

सामान्य विवरण

उक्त उपकरण एक दोहरी दीवार का पात्र होता है जिसमें दीवारों के मध्य पानी भरकर अथवा प्रवाहित करके वातावरण के ताप को नियत रखने के लिए प्रयास किया जाता है। पात्र के अन्दर के तांबे के कैलोरीमीटर को कुचालक ढक्कन से बंद करके लटकाया जाता है जिसके अन्दर तापमापी व विडोलक को चित्रानुसार कार्क की सहायता से लगाया जाता है ताकि उक्त व्यवस्था के कारण कैलोरीमापी के अन्दर पानी का ताप समान रहे।



उक्त व्यवस्था पूर्ण रूप से न्यूटन के शीतलन के नियम के प्रतिबंधों के अनुसार होती है।

सिद्धान्त

न्यूटन के शीतलन के नियम के अनुसार "यदि किसी वस्तु तथा वातावरण (Surroundings) के मध्य ताप में अन्तर अधिक न हो तो वस्तु की शीतलन की दर (R) अर्थात् वस्तु के ऊष्मा क्षय

की दर $\left(-\frac{dQ}{dt}\right)$ वस्तु व वातावरण के ताप के अन्तर के समानुपाती होती है।" अतः

वस्तु के शीतलन की दर \propto वस्तु व वातावरण के ताप का अन्तर
यदि वस्तु व वातावरण के ताप क्रमशः T व T_0 है। तब

$$-\frac{dQ}{dt} \propto (T - T_0)$$

$$\text{या } \frac{dQ}{dt} = -k'(T - T_0)$$

यहां k' एक समानुपाती धनात्मक नियतांक है तथा वस्तु के पृष्ठ (Surface) व प्रकृति पर निर्भर करता है। यहां ऋणात्मक चिन्ह ऊष्मा क्षय को प्रदर्शित करता है। यदि ऊष्मा क्षय की दर

$$\frac{dQ}{dt} = ms \frac{dT}{dt}$$

जहां m द्रव्यमान, s विशिष्ट ऊष्मा है तथा dt समय में तापान्तर dT है। तब

$$ms \frac{dT}{dt} = -k(T - T_0)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{-k}{ms} (T - T_0)$$

यदि $K = \frac{k}{ms}$ = नियतांक है तब $\frac{dT}{T - T_0} = -K dt$

समाकलन करने पर

$$\log_e (T - T_0) = -Kt + C$$

जहां C समाकलन का नियतांक है अर्थात्

$$\log_e (T - T_0) = 2.303 \log_{10} (T - T_0) = -Kt + C$$

अर्थात् $\log_{10} (T - T_0)$ व t के मध्य एक सरल रेखीय ग्राफ होना चाहिये जिसकी प्रवणता ऋणात्मक होती है।

विधि

1. तापमापी T व T_0 तथा विराम घड़ी का लघुत्तम माप नोट कीजिए।
2. दोहरी दीवार के पात्र में दीवारों के मध्य पानी भरकर तापमापी T_0 द्वारा ताप अर्थात् वातावरण का ताप नोट करते हैं।
3. अब बर्नर की सहायता से अलग से पानी को कमरे के ताप से लगभग 30°C अधिक तक गर्म करके कैलोरीमापी में लेते हैं। यह ध्यान रखना चाहिये कि कैलोरीमापी के लगभग दो तिहाई से अधिक भाग में पानी भरा हो।
4. अब कैलोरीमापी को चित्रानुसार कुचालक ढक्कन व कार्क से बंद करते हुये चित्रानुसार दोहरी दीवार के मध्य रखते हुये विडोलक की सहायता से हिलाते हैं।
5. विराम घड़ी की सहायता से कैलोरीमापी से जल का ताप प्रत्येक 30 सेंकण्ड (s) बाद नोट करते हैं। उक्त प्रक्रिया के दौरान विडोलक से पानी को धीरे-धीरे निरन्तर हिलाते रहना है। अंत में ताप का मापन एक मिनट के अन्तराल पर करना चाहिये।

6. सभी पाठ्यांक को पाठ्यांक सारणी में नोट करके $\log_{10}(T-T_0)$ की गणना करते हैं।
 7. तत्पश्चात् X-अक्ष पर समय (t) व Y-अक्ष पर तापान्तर $\log_{10}(T-T_0)$ लेकर ग्राफ खींचने पर एक सरल रेखीय ग्राफ प्राप्त होता है, जिसकी प्रवणता ऋणात्मक है।

पाठ्यांक

तापमापी T व T_0 का अल्पतमांक = °C

विराम घड़ी का अल्पतमांक = s

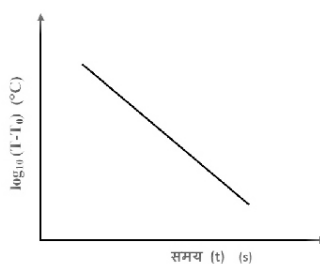
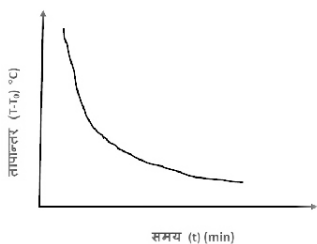
यदि दोहरी दीवारों के पानी में प्रयोग के प्रारम्भ व प्रयोग के अंत में ताप का मापन क्रमशः T_1 व T_2 है तो वातावरण का

$$\text{ताप } (T_0) = \frac{T_1 + T_2}{2} = \text{..... } ^\circ\text{C}$$

क्रम संख्या	समय (t) (min)	कैलोरीमापी में गर्म पानी का ताप (T) (°C)	तापान्तर (T - T ₀) (°C)	log ₁₀ (T - T ₀)	समय (t) (s)
1.					
2.					
20					

गणना

- पाठ्यांक सारणी अनुसार $(T-T_0)$ व $\log_{10}(T-T_0)$ की गणना कीजिए।
- तापान्तर $(T-T_0)$ व समय (t) या $\log_{10}(T-T_0)$ व t के मध्य ग्राफ खींचिये यहा समय X-अक्ष पर लिया गया है। ये ग्राफ आगे दिए गए चित्रों के अनुसार प्राप्त होते हैं।



परिणाम

1. प्रथम शीतलन वक्र के अनुसार समय व तापान्तर के मध्य वक्र एक चर घातांकी क्षय वक्र है।
2. द्वितीय शीतलन वक्र $\log_{10}(T - T_0)$ व समय (t) के मध्य एक सरल रेखा है जिसमें प्रवणता ऋणात्मक है। उक्त दोनों वक्र न्यूटन के शीतलन नियम का प्रायोगिक सत्यापन करते हैं।

सावधानियों

1. कैलोरीमापी में पानी को विडोलक से धीरे-धीरे लगातार हिलाना चाहिए।
2. कैलोरीमापी के पानी व दोहरी दीवार के मध्य पानी का प्रारम्भ में अन्तर लगभग 30°C से अधिक नहीं होना चाहिए।
3. कैलोरीमापी किसी कुचालक ढक्कन से ढका हुआ होना चाहिये।
4. कैलोरीमापी में विडोलक व तापमापी इस प्रकार लगे होने चाहिये ताकि ऊष्मा का क्षय न हो।
5. चूंकि समय व ताप का पाठयांक एक साथ करते हैं अतः पाठयांक सावधानी पूर्वक लेना चाहिए।
6. प्रयोग के दौरान ऊष्मा का चालन एवं संवहन विधि द्वारा क्षय नहीं होना चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. न्यूटन के शीतलन नियम से आप क्या समझते हैं
2. न्यूटन का शीतलन नियम की सीमाएं क्या है।
3. यदि तापान्तर का मान 30°C से अधिक हो तो कौनसा नियम लागू होगा।
4. शीतलन की दर को न्यूटन के नियमानुसार परिभाषित कीजिए।
5. किसी वस्तु की ऊष्मा किन् किन् बातों पर निर्भर करती है।
6. प्रयोग के दौरान विडोलक को लगातार क्यों हिलाते हैं।
7. पात्र की दोहरी दीवारों में जल क्यों लेते हैं ।
8. $\log_{10}(T - T_0)$ व समय के मध्य ग्राफ की प्रकृति कैसी होनी चाहिए।
9. स्टीफन के नियम का गणितीय रूप बताइये।
10. विशिष्ट ऊष्मा को परिभाषित करो।

उत्तरमाला

1. किसी वस्तु व वातावरण के मध्य ताप में अन्तर अधिक न हो तो वस्तु के ऊष्मा क्षय की

दर तापान्तर के समानुपाती होती है।

2. वस्तु से ऊष्मा का क्षय केवल विकिरण विधि द्वारा होना चाहिए या वस्तु व वातावरण में तापान्तर लगभग 30°C से अधिक न हो।
3. स्टीफन-बोल्डजमैन का नियम
4. $-\frac{dQ}{dt} \propto (T - T_0)$ जहाँ T व T_0 क्रमशः वस्तु व वातावरण के ताप है।
5. वस्तु के पृष्ठ के क्षेत्रफल, प्रकृति व समीपवर्ती माध्यम पर निर्भर करती है।
6. जिससे कैलोरीमापी के जल का ताप सभी जगह समान रहे।
7. ताकि वातावरण का ताप स्थिर बना रहे।
8. X-अक्ष पर समय व Y-अक्ष पर $\log_{10}(T - T_0)$ लेकर वक्र खींचने पर एक सरल रेखा प्राप्त होनी चाहिए जिसकी प्रवणता ऋणात्मक हो।
9. $E = \sigma T^4$ जहाँ E ऊर्जा, T ताप तथा σ स्टीफन नियतांक है।
10. किसी पदार्थ के एक ग्राम का ताप एक डिग्री सैल्सियस बढ़ाने के लिए आवश्यक उष्मा विशिष्ट ऊष्मा कहलाती है। इसकी इकाई $\text{cal gm}^{-1}\text{K}^{-1}$ है।

प्रयोग -4 (i)

उद्देश्य

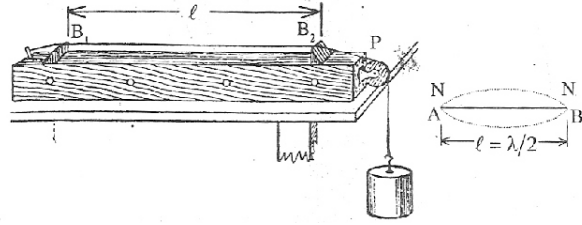
स्वरमापी की सहायता से डोरी के अनुप्रस्थ कम्पन नियम $n \propto \frac{1}{l}$ का सत्यापन करना।

उपकरण

स्वरमापी, भिन्न-भिन्न आवृत्ति के द्विभुज स्वरित्र, रबड़ पैड़, राइडर।

स्वरमापी (Sonometer): चित्र

4.1 (i) में दर्शाए अनुसार यह एक लकड़ी का बना खोखला बॉक्स होता है जिसकी पार्श्व की दीवारों में गोल छिद्र होते हैं। इस बॉक्स को नाद पेटी भी कहते हैं। इसकी ऊपरी सतह के किनारे पर स्थित हुक से एक लम्बा पतला धातु का तार बंधा होता है। इस तार का दूसरा सिरा घर्षण रहित पुली पर होता हुआ हैंगर से बंधा रहता है।



चित्र 4.1 (i) स्वरमापी

इस बॉक्स पर दो सेतु लगे होते हैं। हैंगर पर भार के द्वारा सेतुओं के बीच तार को खींचा हुआ रखा जाता है। सेतु को बॉक्स पर आगे-पीछे खिसका कर कम्पित तार की लम्बाई परिवर्तित की जा सकती है। सेतुओं के बीच की दूरी को मीटर पैमाने की सहायता से नाप लिया जाता है। ये पैमाना बॉक्स पर ही लगा होता है और इस प्रकार स्वरमापी की सहायता से स्वरित्र की आवृत्ति अनुनाद विधि से ज्ञात की जा सकती है। अनुनाद की अवस्था में कम्पित तार की आवृत्ति सदैव स्वरित्र आवृत्ति के बराबर होती है।

सिद्धान्त

जब कोई तना हुआ तार मूलस्वर में कम्पन्न करता है, तो उसकी आवृत्ति निम्न सूत्र से दी जाती है:

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{m}}$$

प्रयोग में तार पर M द्रव्यमान लटकाकर तनाव उत्पन्न करते हैं अतः

$$T = Mg$$

यहाँ गुरुत्वीय त्वरण
तार के कम्पन की आवृत्ति
तार की एकांक लम्बाई का द्रव्यमान
अनुनादी लम्बाई

स्वरमापी के तार की लम्बाई या तनाव में परिवर्तन कर उसे दिये हुए स्वरित्र के साथ अनुनादित किया जाता है। जब स्वरित्र की आवृत्ति, तार की कम्पित आवृत्ति के बराबर हो जाती है, यह अनुनाद की अवस्था कहलाती है और अनुनाद की स्थिति में स्वरित्र की आवृत्ति = अनुनादी तार की आवृत्ति,

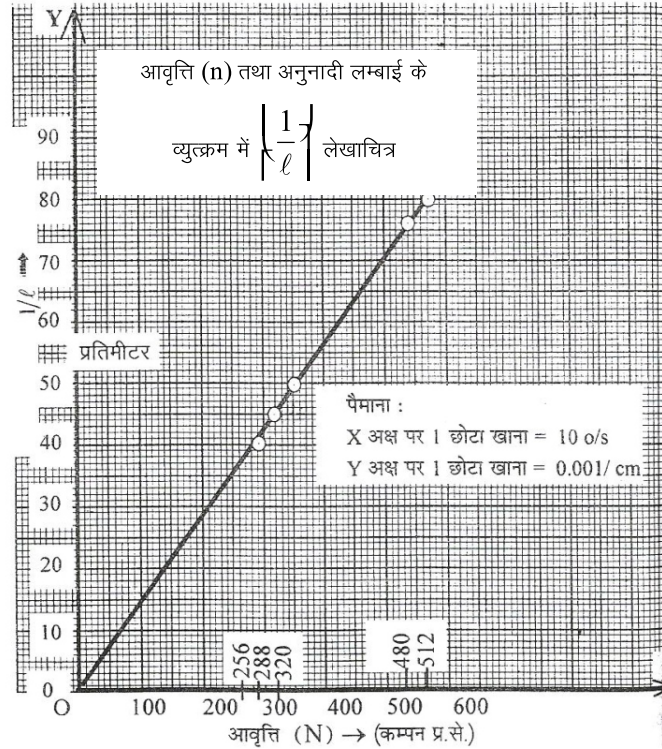
यहाँ M तार के सिरों से लटके हुए हैंगर और बाटों का द्रव्यमान है। यदि M तथा m स्थिर रहे, तो

$$n \propto \frac{1}{l}$$

यह लम्बाई का नियम है जिसके अनुसार यदि तार पर तनाव T व उसकी एकांक लम्बाई का द्रव्यमान m नियत हो तो अनुप्रस्थ कम्पन की आवृत्ति लम्बाई के व्युत्क्रमानुपाती होती है।

विधि

1. सर्वप्रथम पर्याप्त लम्बाई का एक तार लो। तार का एक सिरा स्वरमापी पर लगे हुक से तथा दूसरा सिरा घिरनी से होते हुये हैंगर से बांधो।
2. हैंगर पर 2 kg का बाट रखो जिससे तार में तनाव उत्पन्न हो। अनुनाद बॉक्स पर रखे हुये सेतुओं को निकट लाकर उनके मध्य तार पर राइडर को रखो।
3. ज्ञात आवृत्ति के स्वरित्र को रबड़ के पैड से टकराकर कम्पित करो और उसे सेतुओं के मध्य अनुनाद बॉक्स पर धीरे से रखो। दोनों सेतुओं के बीच की दूरी इस प्रकार समंजित करो कि तार



चित्र 4.1 ii

अधिकतम आयाम के कम्पन करने लगे। राइडर काम में लिया हो तो वह गिर जाये। यह तार की अनुनाद अवस्था है। इस समय स्वरित्र की आवृत्ति तार की आवृत्ति के बराबर होती है। सेतुओं के मध्य दूरी संमज्जन के बाद स्वरित्र को कम्पित कर नाद पेटी पर रखना चाहिये।

4. दोनों सेतुओं के बीच की दूरी नापों, जो l है।
5. इसी प्रकार उपर्युक्त विधि को भिन्न-भिन्न आवृत्ति वाले स्वरित्र लेकर दोहराओं एवं संगत अनुनादी l लम्बाई ज्ञात करो। इन पाठयांक में तार का तनाव T और तार की एकांक लम्बाई का द्रव्यमान

m स्थिर रखा है।

6. प्रत्येक पाठ्यांक में $n \times l$ का मान नियत आना चाहिये।

प्रेक्षण:

1. तार की एकांक लम्बाई का द्रव्यमान
2. तार पर लटकाये गए बाटों एवं हेंगर का द्रव्यमान

क्रमांक संख्या	स्वरित्र की आवृत्ति कम्पन्न प्रति सेकण्ड n	अनुनाद लम्बाई l m			$\frac{1}{l}$	$n \times l$
		I	II	माध्य		
1						
2						
3						
4						

गणना

परिणाम

1. $n \times l$ का मान लगभग नियत प्राप्त होता है।
2. n व $\frac{1}{l}$ के मध्य खींचा गया चित्र एक सीधी रेखा प्राप्त होती है [चित्र 4.1 (ii)]। अतः डोरी के अनुप्रस्थ कम्पन्न के प्रथम नियम का सत्यापन होता है।

सावधानियां

1. तार ऐठन रहित एवं समान अनुप्रस्थ काट का होना चाहिये।
2. स्वरित्र को स्तम्भ से पकड़ना चाहिये जिससे उसकी स्वाभाविक आवृत्ति में अंतर नही आये।
3. धिरनी और उसकी धुरी में घर्षण नही होना चाहिये।
4. तनाव की गणना करते समय बाटों में हेंगर को भी सम्मिलित करना चाहिये।
5. अनुनादी लम्बाई ज्ञात करते समय हेंगर स्थिर रहना चाहिये।
6. राइडर यथासंभव भारहीन होना चाहिये।

प्रयोग संख्या – 4 (ii)

उद्देश्य

स्वरमापी की सहायता से डोरी के अनुप्रस्थ कम्पन नियम $n \propto \sqrt{T}$ का सत्यापन करना।

उपकरण

स्वरमापी, आधा किलो के बाटो का एक सेट हैंगर सहित, स्वरित्र तार, राइडर, रबड़ का पैड।

सिद्धान्त

जब कोई तना हुआ तार मूल स्वर में कम्पन करता है, तो उसकी आवृत्ति निम्न सूत्र से दी जाती है।

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

प्रयोग में तार पर M द्रव्यमान लटकाकर तनाव उत्पन्न करते हैं अतः

$$T = Mg$$

यहाँ प्रत्येक संकेत के अर्थ निम्न हैं

g = गुरुत्वीय त्वरण

n = तार के कम्पन की आवृत्ति

m = तार की एकांक लम्बाई का द्रव्यमान

l = अनुनाद लम्बाई

यदि l और m स्थिर रहे तो $(n \propto \sqrt{T})$

अर्थात् $\frac{n}{\sqrt{T}}$ स्थिरांक या $\frac{n^2}{T} =$ स्थिरांक

अलग-अलग प्रेक्षण समूह के लिए एक तार की एक लम्बाई के संगत आवृत्ति और तनाव के वर्गमूल का अनुपात ज्ञात करते हैं। यह समान आना चाहिये। इस प्रयोग में एक नियत लम्बाई (l_0) के तार के तनाव (T) को बदलकर स्वरित्र की आवृत्ति n समंजित करना या इससे विपरीत n बदलकर समंजित करना संभव नहीं होता है। इसलिये नियत स्वरित्र के साथ T बदलते हैं और तार की लम्बाई की आवृत्ति के नियम से अभीष्ट आवृत्ति ज्ञात करते हैं। किसी तनाव (T_i) पर ज्ञात लम्बाई (l_i) के संगत स्वरित्र की आवृत्ति के गुणनफल में अभीष्ट लम्बाई (l_0) का भाग देकर उस लम्बाई पर तार की आवृत्ति ज्ञात की जा सकती है।

$$n_i = \frac{nl_i}{l_0}$$

$n_i = i$ वे प्रेक्षण के लिये T तनाव पर l_i लम्बाई पर कम्पन की आवृत्ति

$n =$ स्वरित्र की आवृत्ति लम्बाई के संगत

(1) गणना से प्राप्त (n^2) एवं संगत T के अनुपातों की गणना करे। इसके मान समान अपेक्षित है।

(2) गणना से प्राप्त (n^2) एवं संगत T के मानों में ग्राफ खींचो। यह ग्राफ एक सरल रेखा आती हैं।

विधि

1. सर्वप्रथम पर्याप्त लम्बाई का एक तार लो। तार का एक सिरा स्वरमापी पर लगे हुक से तथा दुसरा सिरा धिरनी से होते हुये हैंगर से बांधो।
2. केवल हैंगर लटकाओ जिससे तार में तनाव उत्पन्न हो। अनुनाद बॉक्स पर रखे हुये सेतुओं को निकट लाकर उनके मध्य तार पर राइडर को रखो।
3. ज्ञात आवृत्ति के स्वरित्र को रबड़ के पेड से टकराकर कम्पित करो और उसे सेतुओं के मध्य अनुनाद बॉक्स पर धीरे से रखो। दोनों सेतुओं के बीच की दूरी इस प्रकार समंजित करो कि तार अधिकतम कम्पन्न करने लगे। राइडर काम में लिया हो, तो वह गिर जाये। यह तार की अनुनाद अवस्था है। इस समय स्वरित्र की आवृत्ति, तार की आवृत्ति के बराबर होती है। सेतुओं के मध्य दूरी समंजन के बाद हर बार स्वरित्र को कम्पित कर ध्वनि पात्र पर रखना चाहिये।
4. दोनों सेतुओं के बीच की दूरी नापो, जो l_1 है।
5. हैंगर में एक बाट बढ़ाते हुये अभीष्ट संख्या में प्रेक्षण लो।
6. इसी आवृत्ति के स्वरित्र के लिए भिन्न-भिन्न तनावो पर अनुनादित लम्बाई की गणना करो। माना T_1, T_2, T_3 आदि तनाव बलों पर प्राप्त अनुनादित लम्बाई का मान क्रमशः l_1, l_2, l_3 आदि है।
7. यदि T_1, T_2, T_3 आदि तनाव बलों पर निश्चित लम्बाई $l_1 (l_0 = l_1)$ के लिये संगत आवृत्तिया क्रमशः n_1, n_2, n_3 आदि हो तो, इनकी गणना सूत्र द्वारा करो।

प्रेक्षण सारिणी—

क्रमांक संख्या	हैंगर सहित लटकाया द्रव्यमान M_i kg	तनाव बल न्यूटन $T_1 ? M_i g$	अनुनादी लम्बाई l_1 m			गणना से लम्बाई के संगत आवृत्ति n_i
			I	II	माध्य	
1						
2						
3						

गणना:

1. प्रत्येक प्रेक्षण में स्थिर लम्बाई l_1 के लिये आवृत्ति की गणना करो।
2. प्रत्येक प्रेक्षण में n^2_i के मान की गणना करो।
3. n^2_i तथा T_i में ग्राफ खींचो।

परिणाम

1. $\frac{n^2}{T}$ का मान एक स्थिर राशि प्राप्त होती है।
2. n^2 तथा T में ग्राफ एक सीधी रेखा प्राप्त होती है। अतः अनुप्रस्थ कम्पनो के तनाव के नियम का सत्यापन होता है।

सावधानियां

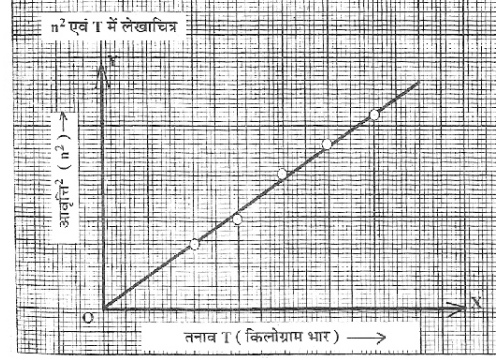
1. तार ऐठन रहित एवं समान अनुप्रस्थ काट का होना चाहिये।
2. स्वरित्र को स्तम्भ से पकड़ना चाहिये जिससे उसकी स्वाभाविक आवृत्ति में अंतर नहीं आये।
3. धिरनी और उसकी धुरी में घर्षण नहीं होना चाहिये।
4. तनाव की गणना करते समय बाटो में हैंगर का भार भी सम्मिलित करना चाहिये।
5. अनुनादी लम्बाई ज्ञात करते समय हैंगर स्थिर रहना चाहिये।
6. राइडर यथा संभव भारहीन होना चाहिये।

मौखिक प्रश्न:

1. अनुनाद से आप क्या समझते हैं ?
2. वायु में किस प्रकार की तरंगे उत्पन्न होती है ?
3. आवृत्ति की परिभाषा बताइयें?
4. अनुनादी स्थिति में सेतुओं के मध्य रखा हुआ राइडर क्यों गिर जाता है ?
5. तार में किस प्रकार की तरंगे उत्पन्न होती है ?
6. अनुप्रस्थ व अनुदैर्घ्य तरंगो में क्या अंतर है ?

उत्तर

1. जब स्वरित्र की आवृत्ति तार की कम्पित आवृत्ति के बराबर हो जाती है तो इस अवस्था को अनुनाद कहते हैं।
2. वायु में अनुदैर्घ्य तरंगे उत्पन्न होती है जो संपीडन और विरलन के रूप में आगे बढ़ती है।
3. एक सेकंड में उत्पन्न कम्पनो की संख्या को आवृत्ति कहते हैं।
4. अनुनाद में कम्पनो का आयाम काफी बढ़ जाता है जिससे राइडर गिर जाता है।
5. तार में अनुप्रस्थ तरंगे उत्पन्न होती है।
6. अनुप्रस्थ व अनुदैर्घ्य तरंगों में माध्यम के कणों के कम्पन तरंग संचरण की दिशा के क्रमशः लम्बवत एवम् अनुदिश होते है।



चित्र 4.1 (iii) आवृत्ति तथा तनाव के सम्बन्ध को दर्शाता हुआ ग्राफ

प्रयोग संख्या – 5

उद्देश्य

स्वरमापी की सहायता से किसी स्वरित्र की आवृत्ति ज्ञात करना।

उपकरण

स्वरमापी, आधा किलो के बाटों का एक सेट, स्वरित्र जिसकी आवृत्ति ज्ञात करनी है, रबड़ का पैड, हैंगर तथा राइडर।

उपकरण का विवरण : पूर्व में दिया जा चुका है।

सिद्धान्त

स्वरित्र की आवृत्ति = अनुनादित अवस्था में तार के अनुप्रस्थ कम्पन की आवृत्ति

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

या $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{m}}$ जहाँ $T = Mg$

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{M}{l}} \sqrt{\frac{g}{m}}$$

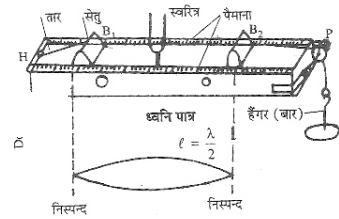
जहाँ प्रतीकों के अर्थ निम्न है

g = गुरुत्वीय त्वरण

n = तार के कम्पन की आवृत्ति

m = तार की एकांक लम्बाई का द्रव्यमान

l = अनुनाद लम्बाई



चित्र 5.1

विधि

1. हैंगर लटकाओ जिससे तार में तनाव उत्पन्न हो जाये।
2. तार के सेतुओं B_1 व B_2 को लगभग 10 cm दूर रखकर, इनके मध्य तार पर कागज का हल्का टुकड़ा रख देते है जिसे राइडर कहते है।
3. स्वरित्र द्विभुज को रबड़ पैड पर मारकर कम्पित स्वरित्र को ध्वनि पात्र पर धीरे से दोनों सेतुओं के मध्य रखकर थोड़ा दबाव लगाओ।

4. एक सेतु को स्थिर रखकर दूसरे को आगे-पीछे खिसकाकर उनके मध्य दूरी इस प्रकार समायोजित करो कि राइडर तेजी से कम्पन कर नीचे गिर जाये। इस अवस्था में तार पर सेतुओं के मध्य अनुप्रस्थ अप्रगामी तरंगे बनती है।
5. अनुनाद की इस अवस्था के लिए तार की अनुनादित लम्बाई (l) के लिए दोनो सेतुओं के मध्य दूरी ध्वनिपात्र पर लगे मीटर पैमाने पर ज्ञात करो। प्रयोग को पुनः दोहरा कर (l) के लिए दो बार मान ज्ञात कर माध्य (l) ज्ञात करो।
6. हैंगर पर आधा किलो के बाट रखकर भिन्न-भिन्न भार के लिए संगत अनुनादित लम्बाई ज्ञात करो। पांच छः अलग-अलग भारो के लिए प्रेक्षण लो।

प्रेक्षण

- (i) स्वरमापी के तार के धातु का नाम
- (ii) तार की एकांक लम्बाई का द्रव्यमान = gm
- (iii) गुरुत्वीय त्वरण का प्रामाणिक मान = ms^{-2}

क्रमांक संख्या	हैंगर सहित लटकायें गये बाटों का द्रव्यमान M	अनुनाद की अवस्था में दोनों सेतुओं के मध्य दूरी			गणना से $\frac{\sqrt{M}}{l}$	माध्य $\frac{\sqrt{M}}{l}$
		द्रव्यमान बढ़ाते हुये।	द्रव्यमान घटाते हुये।।	माध्य $l = \frac{I+II}{2}$		
1						
2						
3						

गणना

स्वरित्र की अज्ञात आवृत्ति के लिए सूत्र

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{g}{m}} \sqrt{\frac{M}{l}}$$

में गुरुत्वीय त्वरण g व इकाई लम्बाई के द्रव्यमान का मान रखकर पद

$$\frac{1}{2l} \frac{\sqrt{g}}{m}$$

को अलग से हल कर लेते हैं। तत्पश्चात सारिणी से $\frac{\sqrt{M}}{l}$ का मान लेकर उक्त पद से गुणा कर n का मान ज्ञात करते हैं।

परिणाम

स्वरमापी से दिये हुये स्वरित्र की आवृत्ति (n_s) Hz प्राप्त होती है।

प्रामाणिक मान:

स्वरमापी की दी हुयी आवृत्ति (n) Hz

$$\text{प्रतिशत त्रुटि} = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

सावधानियां

1. स्वरमापी का तार सम्पूर्ण लम्बाई में एक समान तथा ऍठन रहित होना चाहिये।
2. तार पर लटकाया भार प्रत्यास्थता सीमा से अधिक नहीं होना चाहिये।
3. राइडर यथासंभव हल्का एवं भारहीन होना चाहिए।
4. स्वरित्र को रबड़ पैड पर धीरे से मारना चाहिए अन्यथा मूल स्वर के साथ दूसरे अधिस्वर भी उत्पन्न होंगे।
5. स्वरमापी की घिरनी घर्षण रहित होनी चाहिये।
6. भार रखते या उतारते समय हैंगर एवं तार हिलाना नहीं चाहिये। इसके लिए बाट धीरे से रखना चाहिए।
7. कम्पित स्वरित्र को नाद पेटी पर धीरे से रखना चाहिये। सेतु तीक्ष्ण किनारों वाले होने चाहिये।
8. तनाव की गणना के लिए द्रव्यमान में हैंगर का द्रव्यमान भी सम्मिलित किया जाना चाहिये।

मौखिक प्रश्न:

1. अनुनाद से आप क्या समझते हैं ?
2. घिरनी घर्षण रहित क्यों होनी चाहिये ?
3. स्वरमापी का ध्वनि पात्र खोखला क्यों होता है व इसमें छेद क्यों बनाये जाते हैं ?
4. स्वरमापी के तार में किस प्रकार की तरंगें उत्पन्न होती हैं ?
5. ध्वनि की तरंगें किस प्रकार की होती हैं ?
6. बांसुरी में उत्पन्न तरंगों की प्रकृति कैसी होती है ?
7. स्वरित्र की आवृत्ति किन-किन बातों पर निर्भर करती है ?
8. इसमें उत्पन्न तरंगों में "प्रस्पंद" एवं "निस्पंद" बिंदु पर क्या होता है ?
9. तरंगों के अध्यारोपण से अप्रगामी तरंगों के निर्माण के लिए क्या प्रतिबन्ध होते हैं ?
10. तने हुए तार का मूल स्वरक किसे कहते हैं ?

उत्तरमाला

1. किसी दोलनी निकाय को उसकी स्वाभाविक आवृत्ति के प्रत्यावर्ती बल से चालित किये जाने पर उसके अधिकतम आयाम से कम्पन्न की अवस्था को अनुनाद कहते हैं। अनुनादी कम्पन्न क्षीण आयाम के चालक बल से भी उत्पन्न हो जाते हैं और चालक बल के हटाने पर भी बने रहते हैं।
2. घिरनी के घर्षण के कारण लटकाया गया भार पूरी तरह तार में सम्प्रेषित नहीं होता है अतः प्रेषित तनाव वास्तविक तनाव से भिन्न हो जायेगा।

3. जिससे खोखले पात्र की वायु में स्वरित्र की आवृत्ति के प्रवर्धित कम्पन्न उत्पन्न हो जाते हैं। छेदों के माध्यम से यही ध्वनि बाहरी हवा में उत्पन्न हो जाती है।
4. अनुप्रस्थ अप्रगामी तरंगे उत्पन्न होती है।
5. ये अनुदैर्घ्य तरंगे होती है।
6. बांसुरी की नली में अनुदैर्घ्य अप्रगामी तरंगे उत्पन्न होती है।
7. स्वरित्र की आवृत्ति उसकी भुजाओं की लम्बाई एवं मोटाई तथा पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करती है। आवृत्ति बढ़ने से स्वरित्र का आकार उत्तरोत्तर छोटा हो जाता है।
8. “निस्पंद” बिंदु कम्पन रहित एवं प्रस्पंद बिंदु पर अधिकतम आयाम से कम्पन होता है।
9. तरंगों की आवृत्ति समान और संचरण की दिशा विपरीत होनी चाहिये।
10. तना हुआ तार जब एक पाश में कम्पन्न में करता है तब उसके स्वर की आवृत्ति उसका मूल स्वरक कहलाती है।

प्रयोग – 6

उद्देश्य

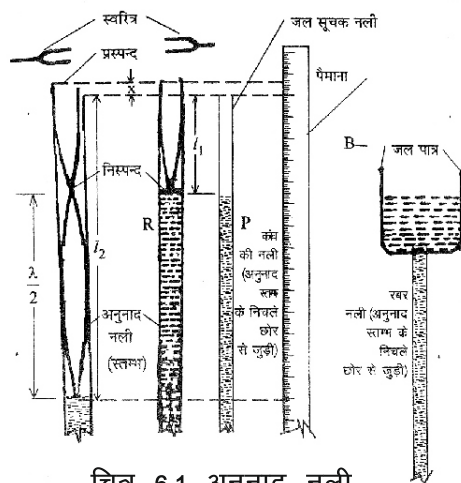
अनुनाद नली की सहायता से वायु में ध्वनि का वेग ज्ञात करना (तीन विभिन्न आवृत्ति वाले स्वरित्रों के साथ) तथा आवृत्ति एवं अनुनादित लम्बाई के मध्य ग्राफ खींचना।

उपकरण

अनुनाद नली उपकरण, तीन भिन्न आवृत्ति के स्वरित्र, रबर पैड, तापमापी एवं पानी।

अनुनाद नली – सामान्य विवरण

यह एक मीटर लम्बी धातु या काँच की बेलनाकार (R) नली होती है जिसका व्यास 3–4 cm होता है। यह अनुनाद सिद्धान्त पर कार्य करती है। इस नली का एक सिरा खुला व दूसरा बन्द होता है। इस नली में पानी भरकर तल को परिवर्तित किया जा सकता है जिससे वायु स्तम्भ की लम्बाई घटाई या बढ़ाई जा सकती है। पानी का तल दृढ़ परावर्तक सतह का काम करता है। ये नली बन्द आर्गन पाइप की तरह कार्य करती है। खुले सिरे से थोड़ा ऊपर प्रस्पंद बनता है और पानी के तल पर निस्पंद बनता है। यह नली एक उर्ध्वाधर स्टैण्ड पर



चित्र 6.1 अनुनाद नली

कसी होती है। इसका निचला सिरा एक रबर की नली P से जुड़ा रहता है जिसका दूसरा सिरा पानी के पात्र B से जुड़ा रहता है। जल पात्र को स्टैण्ड पर ऊपर नीचे खिसकाया जा सकता है। अनुनाद नली के समान्तर एक काँच की पतली सहायक नली लगी होती है जो अनुनाद नली के निचले सिरे पर रबर नली के द्वारा जुड़ी रहती है। इस नली के साथ एक मीटर पैमाना लगा रहता है जो काँच की नली में जल स्तर को देखकर अनुनाद नली में वायु स्तम्भ की लम्बाई ज्ञात करने में सहायता करता है। पानी के प्रवाह को नियंत्रण करने के लिये “पिंच कौक” लगा रहता है।

सिद्धान्त

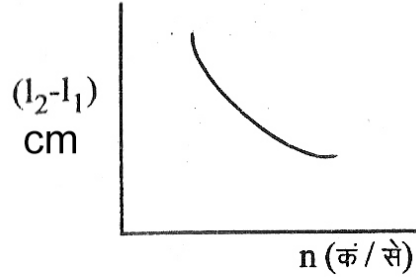
यदि अनुनाद नली के वायुस्तम्भ की n आवृत्ति वाले स्वरित्र के साथ पहली अनुनाद अवस्था में अनुनादित लम्बाई l_1 एवं दूसरी अनुनाद अवस्था में अनुनादित लम्बाई l_2 हो तो $(l_2 - l_1) = \frac{\lambda}{2}$ जहां λ ध्वनि की तरंगदैर्घ्य है तथा $(l_2 - l_1)$ प्रेक्षित दो निस्पंदों के बीच की दूरी है

$$\text{तरंग का वेग } v = n\lambda$$

$$\text{कमरे के ताप पर } t^\circ\text{C पर वायु में ध्वनि का वेग } v_t \text{ माने तो } v_t = 2n(l_2 - l_1)$$

तथा 0°C पर वायु में ध्वनि का वेग
 $v_0 = (v_t - 0.6t) \text{ m/s}$

सूत्र $v_t = 2n(l_2 - l_1)$ के अनुसार जब नियत हो तो n एवं $(l_2 - l_1)$ के मध्य ग्राफ की आकृति आयताकार अतिपरवलय प्राप्त होगी। (चित्र 6.2)



चित्र 6.2 आयताकार अतिपरवलय ग्राफ

विधि

1. सबसे पहले अनुनाद नली को पेचों की सहायता से ऊर्ध्वाधर स्थिति में समंजित करते हैं।
2. जल पात्र में पानी भरकर धीरे-धीरे उसे उच्चतम स्थिति में लाते हैं।
3. स्वरित्र को रबड़ पैड़ की सहायता से कम्पित कर अनुनाद नली के ऊपरी खुले सिरे के समीप लाते हैं।
4. जल के पात्र को इस प्रकार धीरे-धीरे नीचे खिसकाते हैं कि नली में अधिकतम ध्वनि सुनाई देने लगे यही अनुनाद की प्रथम स्थिति है, इसे उपकरण पर लगे मीटर पैमाने से पढ़ लेते हैं।
5. जल के पात्र को पुनः धीरे-धीरे नीचे खिसकाते हैं और अधिकतम ध्वनि सुनते हैं इसकी तीव्रता पहली तीव्रता से कम होती है इसे द्वितीय अनुनादी अवस्था कहते हैं जिसे मीटर पैमाने की सहायता से पढ़ लेते हैं। यह स्थिति पहली स्थिति की लगभग तीन गुनी लम्बाई पर प्राप्त होती है।
6. तीनों स्वरित्रों के लिए यही प्रक्रिया दोहराते हैं और प्रथम व द्वितीय अनुनादित लम्बाई ज्ञात करते हैं।
7. थर्मामीटर की सहायता से नली के अंदर वायुस्तम्भ का ताप ज्ञात करते हैं।

प्रेक्षण

अनुनाद नली में वायुस्तम्भ का ताप..... $^{\circ}\text{C}$ में
 वायुस्तम्भ की प्रथम एवं द्वितीय अनुनादी लम्बाई के लिए सारिणी

क्रं. सं.	स्वरित्र की आवृत्ति n Hz	प्रथम अनुनादी लम्बाई (l_1)			द्वितीय अनुनादी लम्बाई (l_2)			अन्तर मीटर ($l_2 - l_1$) m
		I m	II m	माध्य(l_1) m	I m	II m	माध्य(l_2) m	
1								
2								
3								

परिणाम

1. n एवं $(l_2 - l_1)$ के मध्य ग्राफ चित्र 6.2 प्रामाणिक ग्राफ के अनुसार प्राप्त होता है। जिसकी आकृति आयताकार अतिपरवलय होती है।
2. सूत्र से 0°C पर वायु में ध्वनि का वेग m/s प्राप्त हुआ।

0°C पर वायु में ध्वनि के वेग का प्रामाणिक मान m/s

$$\text{प्रतिशत त्रुटि} = \frac{\text{प्रामाणिक मान} - \text{प्रयोग से प्राप्त मान}}{\text{प्रामाणिक मान}} \times 100$$

सावधानियां

1. प्रयोग प्रारम्भ करने से पूर्व अनुनाद नली को पूर्णतः ऊर्ध्वाधर रखना चाहिये।
2. स्वरित्र को अनुनाद नली से स्पर्श नहीं कराना चाहिये।
3. अनुनाद नली की ध्वनि स्पष्ट सुनने के लिए वायु स्तम्भ की लम्बाई धीरे-धीरे परिवर्तित करनी चाहिये।
4. रबर पैड पर स्वरित्र को धीरे-धीरे कम्पित कराना चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. नली में पानी क्यों लिया जाता है ?
2. अनुनाद नली में वायु स्तम्भ में किस प्रकार की तरंगें उत्पन्न होती हैं ?
3. अनुनाद नली के व्यास का ध्वनि के वेग पर क्या प्रभाव पड़ता है ?
4. सन्नादी आवृत्तियाँ किसे कहते हैं ?
5. मूल स्वरक और अधिस्वरक से क्या तात्पर्य हैं ?
6. यदि ताप में 1°C वृद्धि करे तो ध्वनि के वेग में कितनी वृद्धि होगी ?
7. इस प्रयोग में अधिक आवृत्ति वाले स्वरित्र क्यों लिये जाते हैं ?
8. ध्वनि के तारत्व (Pitch), गुणता (Quality) और प्रबलता (Loudness) तरंग के किन गुणों से सम्बंधित है ?
9. आर्द्रता तथा दाब का ध्वनि वेग पर क्या प्रभाव पड़ता है ?
10. ठोस, द्रव एवं गैस में से ध्वनि का वेग किसमें सर्वाधिक व किसमें न्यूनतम होगा ?

उत्तर

1. पानी या किसी द्रव की सहायता से इस उपकरण में वायु स्तम्भ की लम्बाई को परिवर्तित किया जाता है। पानी एक सस्ता एवं सुलभ द्रव है अतः इसका उपयोग किया जाता है।
2. अनुदैर्घ्य अप्रगामी तरंगें उत्पन्न होती हैं।
3. कोई प्रभाव नहीं पड़ता।
4. किसी दोलनी निकाय के कम्पन की न्यूनतम आवृत्ति उसकी प्रथम सन्नादी आवृत्ति कहलाती है। इस आवृत्ति के पूर्णांक गुणज क्रमशः द्वितीय, तृतीय..... सन्नादी आवृत्ति कहलाती हैं।
5. दोलनी निकाय के कम्पन की न्यूनतम आवृत्ति, मूल स्वरक या प्रथम सन्नादी कहलाती है इसकी क्रमागत बढ़ती हुयी अनुनाद आवृत्ति क्रमशः प्रथम, द्वितीय..... अधिस्वरक कहलाती हैं।
6. ध्वनि के वेग में 0.6 m/s की वृद्धि होगी।
7. प्रयोग में लिए जाने वाले स्वरित्र की आवृत्ति का चयन वायु में उस ध्वनि के तरंगदैर्घ्य को ध्यान में रखकर किया जाता है। जिससे कि द्वितीय अनुनाद की लम्बाई (l_2) अनुनाद नली से प्राप्त हो सके।

8. ध्वनि के तारत्व, गुणवत्ता और प्रबलता क्रमशः उसकी आवृत्ति, तरंग के स्वरूप और तीव्रता पर निर्भर करते हैं।

9. लाप्लास सूत्र $\left[v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \right]$ से दाब का ध्वनि वेग पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता। आर्द्रता (नमी)

(Humidity) बढ़ने से माध्यम का घनत्व घट जाता है फलस्वरूप ध्वनि का वेग बढ़ जाता है।

10. ध्वनि का वेग माध्यम की प्रत्यास्थता पर निर्भर करता है। ठोस की प्रत्यास्थता सबसे अधिक होने के कारण ध्वनि वेग ठोसों में सर्वाधिक होगा एवम् गैसों में न्यूनतम होता है क्योंकि इनकी प्रत्यास्थता न्यूनतम होती है।

प्रयोग – 7

उद्देश्य

दिये गये श्यान द्रव में एक गोलाकार पिण्ड का अंतिम वेग मापना एवं द्रव का श्यानता गुणांक ज्ञात करना।

आवश्यक उपकरण एवं सामग्री

काँच की एक अशांकित पारदर्शी नली जिसका व्यास लगभग 4 cm तथा लम्बाई 1.25 m हो, पारदर्शी श्यान द्रव जैसे ग्लिसरीन, ग्रेफाइट अथवा स्टील की छोटी गोली जिसका व्यास 1 mm से 3 mm हो, विराम घड़ी, तापमापी, मीटर पैमाना, रबर बैंड आदि।

सिद्धान्त

स्टोक्स ने यह सिद्ध किया कि यदि एक r त्रिज्या की सूक्ष्म गोली अनंत विस्तार वाले पूर्णतः समांग तरल माध्यम में स्वतन्त्रतापूर्वक अंतिम वेग v से गति करे तब गोली पर कार्यरत श्यान बल $F = 6\pi\eta rv$ होगा।

अनंत विस्तार वाले पूर्णतः समांग तरल माध्यम में गिरते गोले का सीमांत वेग निम्न प्रकार परिकलित किया जा सकता है।

माना कि चित्र के अनुसार एक r त्रिज्या तथा ρ घनत्व का गोला, σ घनत्व तथा η श्यानता वाले एक अनंत विस्तार के पूर्णतः समांग द्रव में गिरता है, तब गोले पर निम्न बल कार्य करते हैं

(i) गुरुत्वाकर्षण बल (भार), नीचे की ओर $W = Mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$

(ii) द्रव द्वारा ऊपर की ओर आरोपित उत्प्लावन बल (Buoyant Force or Upthrust Force),

$$U = \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g$$

(iii) द्रव का श्यान बल, ऊपर की ओर

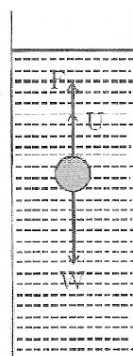
$$F = 6\pi\eta rv$$

जब गोला नियत वेग से गिर रहा है

$$W = U + F$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g + 6\pi\eta rv$$

$$\text{अतः } v = \frac{2r^2(\rho - \sigma)g}{9\eta}$$



चित्र 7.1 : अनन्त विस्तार के श्यान माध्यम में गोले का गिरना

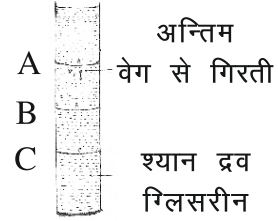
यदि सीमान्त वेग v तथा r^2 में ग्राफ खींचे तो यह एक सरल रेखा में रूप में होगा। इस सरल रेखा का

ढाल $\frac{v}{r^2}$ का माध्य मान व्यक्त करता है जिसे द्रव का श्यानता गुणांक ज्ञात करने में उपयोग करते हैं।

समीकरण (1) से
$$\eta = \frac{2(\rho - \sigma)g}{9 \frac{v}{r^2}}$$

विधि

- विराम घड़ी का लघुत्तम माप (Least Count) ज्ञात करें।
- तापमापी की सहायता से द्रव अथवा कमरे का ताप नोट करें।
- एक काँच की नली को चित्र (7.2) के अनुसार व्यवस्थित करते हैं। इस नली के ऊपरी सिरे से 40 cm दूरी पर रबर बैंड A, तथा A से 30 cm की दूरी पर रबर बैंड C लगाकर इसमें ग्लिसरीन भर देते हैं।
- अब स्टील अथवा ग्रेफाइट की गोली को काँच की नली में गिराते हैं। जब गोली A बिंदु पर पहुँचती है तब विराम घड़ी चालू करते हैं। यह गोली जब B पर पहुँचती है तब एक विराम घड़ी बंद कर देते हैं तथा जब गोली C पर पहुँचती है तब दूसरी विराम घड़ी बंद करते हैं। B बिन्दु A तथा C के मध्य में है।
- दोनों विराम घड़ियों के समय t_1 व t_2 नोट कर लेते हैं। A से B तक गिरने का समय t_1 तथा A से C तक गिरने का समय है। यदि गोली बिंदु A तक नली में गिरने पर नियत वेग प्राप्त कर लेती है तब $t_2 = 2t_1$ होगा। यदि $t_2 = 2t_1$ नहीं है तो प्रयोग को उसी त्रिज्या की गोली से पुनः दुहरायें।
- इस प्रयोग को भिन्न-भिन्न त्रिज्या की गोली लेकर 5 प्रेक्षण करने तक दुहरायें। तथा समय t_1 व को नोट करते रहें। प्रत्येक त्रिज्या की गोली के लिए सीमान्त वेग $v = \text{दूरी} / \text{समय}$ से ज्ञात करें।



चित्र 7.2 :- श्यान द्रव में गोली का गिरना

प्रेक्षण

- ग्लिसरीन का तापमान $\theta = \dots\dots\dots 0^\circ\text{C}$
- स्टील अथवा ग्रेफाइट की गोली का घनत्व = $\dots\dots\dots \text{kg/m}^3$
- द्रव (ग्लिसरीन) का घनत्व $\sigma = \dots\dots\dots \text{kg/m}^3$
- गुरुत्वीय त्वरण $g = \dots\dots\dots \text{m/s}^2$
- द्रव युक्त नली की लम्बाई = $\dots\dots\dots \text{m}^3$
- विराम घड़ी का लघुत्तम माप = $\dots\dots\dots \text{s}$
- A तथा B के बीच दूरी = $\dots\dots\dots \text{cm}$
- B तथा C के बीच दूरी = $\dots\dots\dots \text{cm}$

सारणी

क्रम संख्या	स्टील अथवा ग्रेफाइट की गोली के लिये		गोली की त्रिज्या का वर्ग r^2	गोली द्वारा h दूरी तय करने में लगा समय $AC-BC = h$ $AB = h$				सीमान्त वेग $v = \frac{h}{t}$ m/s
	व्यास $2r$	त्रिज्या r		A से B तक t_1	A से C तक t_2	B से C तक $t_3 = t_2 - t_1$	माध्य	
	m	m	m^2	s	s	s	s	
1								
2								
3								
4								
5								

X अक्ष की ओर r^2 तथा Y अक्ष की ओर सीमान्त वेग v (अन्तिम वेग) लेकर ग्राफ बनाये ।

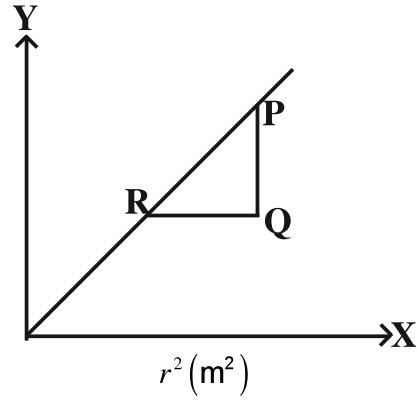
$$\text{ग्राफ की ढाल (Slope)} = \frac{v}{r^2} = \frac{PQ}{RQ}$$

गणना

- द्रव में गोली का सीमान्त वेग $v = \frac{h}{t}$ से ज्ञात करें।

- द्रव का श्यानता गुणांक $\eta = \frac{2(\rho - \sigma)g}{9 \frac{v}{r^2}}$ से

प्राप्त करें। जहाँ v/r^2 ग्राफ का ढाल है।



चित्र 7.3 वेग और त्रिज्या के वर्ग में ग्राफ

परिणाम

- दिये गये द्रव का ताप°C पर श्यानता गुणांक = Nsm^{-2} है, तथा सीमांत वेग का मान =m/s है।

सावधानियां

- द्रव पूर्णतः पारदर्शी होना चाहिए जिससे गोली की गति का अध्ययन किया जा सके।
- गोली को दीवार से दूर द्रव में छोड़ना चाहिए।
- गोली के नियत वेग से गिरने पर ही उसका अंतिम वेग मापना चाहिए।

8. श्यानता गुणांक का MKS पद्धति में मात्रक $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ होता है। इसका CGS मात्रक Poise है।
 $1\text{kg/ms} = 10\text{ Poise}$
9. द्रव की दो परतों के बीच प्रवाह की दिशा के लम्बवत इकाई दूरी में वेग परिवर्तन को वेग प्रवणता कहते हैं। वेग प्रवणता का मात्रक प्रति सेकंड तथा विमा $[M^0L^0T^{-1}]$ होती है।
10. स्टोक्स ने यह सिद्ध किया कि यदि एक r त्रिज्या की सूक्ष्म गोली अनंत विस्तार वाले पूर्णतः समांग तरल माध्यम में स्वतन्त्रतापूर्वक अंतिम वेग v से गति करे तब गोली पर कार्यरत श्यान बल $F = 6\pi\eta rv$ होगा। इसी समीकरण को ही स्टोक्स का नियम कहते हैं।
11. गोलीय वस्तु को स्पष्ट गिरते देखने के लिए।
12. गर्म पानी की श्यानता ठण्डे पानी से कम होने के कारण
13. (i) श्यानता व घर्षण दोनों गति की विपरीत दिशा में कार्य करते हैं
(ii) दोनों ही गति की अवस्था में उत्पन्न होते हैं तथा दोनों ही घर्षण हैं।
14. जिन द्रवों की श्यानता अधिक होती है।
15. (i) पैराशूट से नीचे उतरता व्यक्ति कभी चोटिल नहीं होता है।
(ii) वर्षा की बूंदों का नियत वेग से नीचे गिरना।
(iii) मिलिकन का तेल बूंद प्रयोग

मौखिक प्रश्न

1. सीमान्त वेग से क्या अभिप्राय है इसका सूत्र लिखिए।
2. द्रवों की श्यानता का क्या कारण है ?
3. गैसों की श्यानता का क्या कारण है ?
4. श्यानता क्या है ?
5. श्यानता पर ताप का क्या प्रभाव पड़ता है ?
6. सीमान्त वेग किन-किन बातों पर निर्भर करता है।
7. श्यानता गुणांक के लिए न्यूटन का सूत्र देकर इसे परिभाषित करो।
8. श्यानता गुणांक का MKS व CGS पद्धति में मात्रक लिखकर उनमें संबंध बताओ।
9. वेग प्रवणता से क्या अभिप्राय है। इसका MKS पद्धति में मात्रक लिखो।
10. श्यान बल के लिए स्टोक्स का सूत्र लिखो।
11. प्रयोग में द्रव को पारदर्शी क्यों लेते हैं।
12. गर्म पानी, ठण्डे पानी की तुलना में तेजी से बहता है क्यों ?
13. श्यानता व घर्षण में क्या समानता है ?
14. किन द्रवों के लिए अधिक वेग तक भी धारा रेखीय प्रवाह संभव होता है।
15. स्टोक्स के नियम के कुछ व्यावहारिक अनुप्रयोग बताइये।

उत्तर

1. जब कोई गोलीय वस्तु अनंत विस्तार वाले श्यान द्रव की सतह पर छोड़ी जाती है तो पहले वह तीव्र गति से गिरती है और शीघ्र ही नियत वेग प्राप्त कर लेती है। वस्तु के इस नियत वेग को ही सीमान्त वेग कहते हैं।

$$\text{सीमान्त वेग } v = \frac{2r^2(\rho - \sigma)g}{9\eta}$$

2. ससंजक बल
3. विसरण
4. किसी तरल का वह गुण जिसके कारण तरल अपनी परतों के बीच होने वाली सापेक्ष गति का विरोध करता है। श्यानता तरल का गुण है ठोसों का नहीं।
5. ताप के बढ़ने पर द्रवों की श्यानता घटती है तथा गैसों की बढ़ती है।
6. सीमान्त वेग द्रव की प्रकृति के साथ-साथ गोलीय वस्तु के घनत्व तथा त्रिज्या पर निर्भर करता है।
7. धारा रेखीय गति के लिए, न्यूटन के श्यान प्रवाह के नियम के अनुसार, द्रव की समानांतर परतों के

$$\text{बीच स्पर्शरेखीय श्यान बल का मान} - F \propto A \frac{dv}{dx} \text{ या } F = -\eta A \frac{dv}{dx}$$

किसी द्रव के दो समांतर तलों के बीच इकाई वेग प्रवणता रखने के लिए जो स्पर्शरेखीय बल प्रति इकाई क्षेत्रफल के लिए आवश्यक होता है, उसे उस द्रव का श्यानता गुणांक कहते हैं

प्रयोग – 8

उद्देश्य

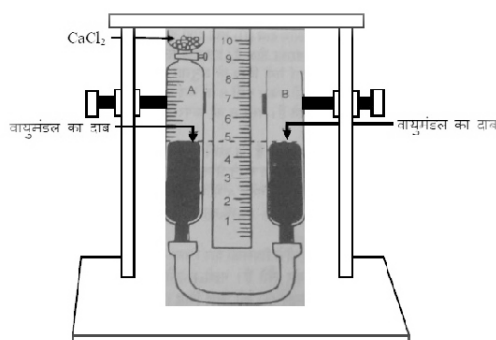
नियत ताप पर वायु के प्रतिदर्श के लिए दाब के साथ आयतन में परिवर्तन का अध्ययन करना।

उपकरण

बायल के नियम के अनुसार उपकरण, वायुदाबमापी, तापमापी, वनियर केलीपर्स, इत्यादि।

सामान्य विवरण

बायल के नियम पर आधारित उपकरण में एकसमान व्यास की दो नली A व B होती है जिसमें A का उपरी सिरा एक टोटी से बंद व B का खुला होता है। नली A से टोटी द्वारा अनार्द्र कैल्सियम क्लोराइड (Anhydrous CaCl_2) की एक फनल जुड़ी होती है नली A का निचला सिरा एक रबर नली द्वारा नली B के निचले सिरे से जुड़ा होता है। नली A व B के निचले भागों व पूरी रबर की नली में शुष्क पारा भरा होता है तथा दोनों नलियों को उपर नीचे खिसकाने के लिये स्टेण्ड व स्क्रू की व्यवस्था होती है तथा सम्पूर्ण व्यवस्था में एक स्केल का पैमाना भी चित्रानुसार होता है।



सिद्धान्त

बायल के नियमानुसार नियत ताप पर किसी दिये गये द्रव्यमान की गैस (वायु) का दाब उसके

आयतन के व्युत्क्रमानुपाती होता है। अर्थात् $P \propto \frac{1}{V}$ या $PV = \text{नियंतांक}$

विधि

1. सर्वप्रथम फोर्टिन वायुदाबमापी की सहायता से पारे के स्तम्भ की ऊँचाई H वायुमण्डलीय दाब व कमरे के ताप का पाठयांक नोट कर लेते हैं।
2. अब उपकरण पर लगे पेचों की सहायता से नली को इस प्रकार स्थिति में लाते हैं कि दोनों नलियों A व B के पारे का तल समान आ जाये। इस स्थिति में चूंकि नली B के पारे के तल पर H वायुमण्डलीय दाब लग रहा है अतः A में भरी वायु का दाब भी H होगा।

3. अब नली A में पारे के तल व नली की उपरी स्तर का पाठ्यांक स्केल से नोट करके उस लम्बाई से नली A में भरी वायु का आयतन पारे की लम्बाई के पदों में ज्ञात करते हैं।
4. अब नली B को उपर की ओर खिसकाते हैं ताकि नली A में पारे का स्तर पहले से उपर उठ जाता है इस स्थिति में नली A में भरी वायु का आयतन घट जाता है तथा दाब बढ़ जाता है। दोनों नलियों में पारे के तलों के अन्तर (h) को ज्ञात कर योग ($H+h$) की गणना करते हैं। इस स्थिति में नली A में पारे की उपरी सतह व नली A के उपरी भाग की लम्बाई के अन्तर से वायु का आयतन ज्ञात करते हैं।
5. अब नली B को नीचे की ओर खिसकाते हैं जिससे नली A में पारे का तल भी नीचा हो जाये। इस स्थिति में नली A में वायु का आयतन बढ़ जाता है तथा दाब घट जाता है। यदि h इस स्थिति में दोनों नलियों के पारे के स्तम्भ की ऊँचाई में अन्तर है तब यह दाब ($H-h$) के तुल्य होता है।
6. इस प्रकार नली की स्थिति बिंदु 4 व 5 के अनुसार थोड़ा-थोड़ा खिसकाकर नली A में भरी वायु का पाठ्यांक नोट करते हैं। बिंदु 4 के अनुसार स्थिति की घनात्मक व बिन्दु 5 के अनुसार स्थिति को ऋणात्मक बिन्दु से प्रदर्शित करते हैं।
7. प्रयोग के अन्त में पुनः वायुमण्डलीय दाब व कमरों का ताप नोट करते हैं तथा दोनों मानों में अन्तर आया हो तो दोनों मानों के मध्यमान ज्ञात करते हैं।
8. अब यदि P व $(1/V)$ के मध्य वक्र खींचने पर यह सरल रेखीय वक्र प्राप्त होता है तो यह बॉयल के नियम की सत्यता की पुष्टि करता है।

प्रेक्षण

- (अ) प्रयोग की शुरुआत में वायुमण्डलीय दाब (H_1) = cm (पारे का)
 प्रयोग की समाप्ति पर वायुमण्डलीय दाब (H_2) = cm (पारे का)

$$\text{मध्यमान वायुमण्डलीय दाब } \left(H = \frac{H_1 + H_2}{2} \right) = \text{..... cm (पारे का)}$$

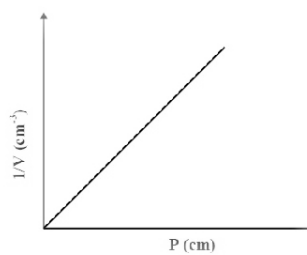
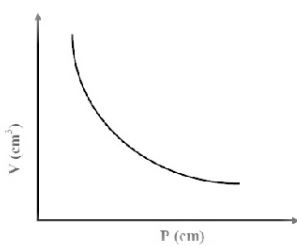
- (ब) कमरे का प्रयोग की शुरुआत में ताप (T_1) = °C
 कमरे का प्रयोग की समाप्ति पर ताप (T_2) = °C

$$\text{कमरे का मध्यमान ताप } \left(T = \frac{T_1 + T_2}{2} \right) = \text{..... °C}$$

क्र. स.	स्थिति	बंद नली A के उपरी सिरे का पादयांक (cm) a	बंद नली A के पारे के तल का पादयांक (cm) b	नली A में वायु का आयतन लम्बाई में (cm) $V=a-b$	खुली नली B में पारे के तल का पादयांक	नली A व B में पारे के तल का अन्तर h	बंद नली में वायु का दाब (cm) $P = H \pm h$	$(1/V)$	PV
1	जब खुली नली में पारे का तल बंद नली में पारे के तल से ऊँचा हो								
2	जब खुली नली में पारे का तल बंद नली में पारे के तल से नीचा हो								

गणना

अब नली A में वायु के दाब (P) के संगत आयतन (V) में ग्राफ खींचते हैं जो निम्नानुसार प्राप्त होता है।



परिणाम

P व V के मध्य ग्राफ एक अतिपरवलय आकार तथा P व $(1/V)$ के मध्य एक सरल रेखीय ग्राफ बॉयल के नियम का सत्यापन करते हैं।

सावधानियाँ

1. बॉयल के नियम का उपकरण पूर्णतः उर्ध्वाधर होना चाहिए।
2. पाठ्यांक के समय उपकरण का स्थान परिवर्तित नहीं होना चाहिए।
3. पारे का तल धीरे-धीरे परिवर्तित होना चाहिए।
4. परिबद्ध वायु के आयतन का पाठ्यांक सावधानीपूर्वक लेना चाहिए।
5. वायु को शुष्क करने के लिए यदि संभव हो तो नली A का ऊपरी सिरे पर CaCl_2 से भरी टोंटी द्वारा जोड़ा जा सकता है। यहां CaCl_2 वायु की नमी की अवशोषित करने का कार्य करता है।
6. पारे के तल का पाठ्यांक लेते समय आँख को पारे के उतल सतह के सर्वोच्च बिन्दु की सीध में रखना चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. बॉयल का नियम क्या है ।
2. वायुदाब किस उपकरण से नापते हैं व कितने प्रकार के है।
3. बॉयल के नियम की सीमाएं क्या हैं।
4. बॉयल के नियम का पालन करने वाली गैसों का उदाहरण दीजिए।
5. आदर्श गैस क्या है।
6. वायुमण्डलीय दाब से क्या अभिप्राय है।
7. पृथ्वी तल से ऊपर उठने पर वायुदाब में क्या परिवर्तन होता है।
8. वायुदाबमापी का पारा यदि अचानक गिरता है तो क्या हो सकता है।
9. बॉयल का नियम किस प्रक्रम में लगता है।
10. ताप में वृद्धि होने पर PV के मान में क्या परिवर्तन होगा।
11. क्या आवश्यक है कि दोनों नलियों का व्यास समान हो ?
12. यदि बंद नली के ऊपर एक छेद कर दिया जाए तब क्या प्रभाव होगा।
13. फाउण्टेन पेन को उड़ते हुए वायुयान में ले जाने पर स्याही लीक क्यों करने लगती हैं ?

उत्तरमाला

1. नियत ताप पर किसी गैस के दिये गये द्रव्यमान के लिए दाब व आयतन व्युत्क्रमानुपाती होता है या $pV = \text{नियंतांक}$

2. बेरोमीटर से । प्रकार - सरल बेरोमीटर, फॉर्टिन बेरोमीटर, निर्द्धव बेरोमीटर।
3. उक्त नियम निम्न दाब व उच्च ताप पर लागू है क्योंकि उच्च दाब व निम्न ताप पर गैसें द्रवित होने लगती हैं तथा संतृप्त वाष्प भी बॉयल के नियम का पालन नहीं करती है।
4. वायु, ऑक्सीजन, नाइट्रोजन, हाइड्रोजन आदि स्थिर गैस निम्न दाब व उच्च ताप पर बायल के नियम का पालन करती हैं।
5. गैस के नियम जैसे बॉयल का नियम, चार्ल्स का नियम इत्यादि का पूर्ण रूप से पालन करने वाली गैस आदर्श गैस है। इसका समीकरण – $PV = nRT$ होता है जहां n मोलों की संख्या $P =$ दाब, $V =$ आयतन, $T =$ ताप व $R =$ सार्वत्रिक गैस नियंतांक है।
6. पृथ्वी के पृष्ठ के चारों ओर की वायु द्वारा प्रति इकाई क्षेत्रफल पर आरोपित अभिलम्ब बल को वायुमण्डलीय दाब कहते हैं तथा सामान्य वायुमण्डलीय दाब का मान या P_a होता है।
7. ऊंचाई बढ़ने से वायुदाब घटता है। इसी कारण बेरोमीटर को ऊपर पहाड़ पर ले जाने पर पारे का मान गिरता है।
8. अचानक गिरा पारा तूफान, आंधी व चक्रवात का सूचक है।
9. समतापी प्रक्रम में।
10. ताप वृद्धि से PV का मान बढ़ेगा।
11. नहीं, क्योंकि इसमें पारे के तल का अन्तर लेते हैं।
12. दोनों नलियों में पारे के तल समान होंगे क्योंकि बंद नली भी वायुमण्डल के सम्पर्क में आ जायेगी।
13. क्योंकि उड़ते वायुयान में बाहरी दाब कम हो जाने के कारण ऐसा होता है।

प्रयोग – 9

उद्देश्य

मिश्रण विधि से दिये गये (i) ठोस (ii) द्रव की विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात करना।

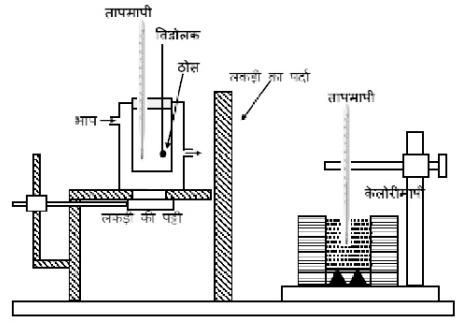
उपकरण

ऊष्मामापी विडोलक सहित, दो तापमापी, बीकर, पानी, त्रिपाद स्टैंड, दिया गया ठोस पदार्थ (तांबा/पीतल/स्टील), द्रव, रैनो का उपकरण, भौतिक तुला, बर्नर, इत्यादि।

सामान्य विवरण

सिद्धान्त

यदि दो अलग-अलग ताप की वस्तुओं को तापीय सम्पर्क में लाया जाये तो तापीय साम्य अवस्था में उच्च ताप की वस्तु द्वारा परित्याग की गई ऊष्मा तथा कम ताप की वस्तु द्वारा ग्रहण की ऊष्मा का मान बराबर होता है, यदि वातावरण द्वारा ऊष्मा क्षति न हो। अतः मिश्रण के नियम से –



उच्च ताप की वस्तु द्वारा परित्याग की गई ऊष्मा की मात्रा = कम ताप वाली वस्तु द्वारा ग्रहण की गई ऊष्मा की मात्रा।

माना कि विडोलक सहित ऊष्मामापी का द्रव्यमान m_1 व पानी सहित द्रव्यमान m_2 तथा दिये गये ठोस का द्रव्यमान m_3 है। यदि दिये ठोस की विशिष्ट ऊष्मा s_3 पानी का प्रारम्भिक ताप T_1 ठोस का ताप T_2 तथा मिश्रण का ताप T_3 है तब

ठोस द्वारा T_2 से T_3 ताप गिरने में परित्याग की गई ऊष्मा T_1 पानी के ताप में T_3 से वृद्धि में ग्रहण की गई ऊष्मा + ऊष्मामापी द्वारा T_1 से T_3 ताप वृद्धि में ग्रहण की गई ऊष्मा

$$m_3 s_3 (T_2 - T_3) = (m_2 - m_1) s_0 (T_3 - T_1) + m_1 s_1 (T_3 - T_1)$$

यहाँ s_0 = पानी की विशिष्ट ऊष्मा व s_1 = ऊष्मामापी के पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा

$$s_s = \frac{[(m_2 - m_1) s_0 + m_1 s_1] (T_3 - T_1)}{m_3 (T_2 - T_3)} \text{ Jgm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

यदि ऊष्मामापी में पानी के स्थान पर द्रव ले जिसकी विशिष्ट ऊष्मा s_l ज्ञात करनी है तब ठोस द्वारा T_2 से T_3 तक कमी पर परित्याग की गई ऊष्मा = द्रव के ताप T_1 से T_3 तक वृद्धि में ग्रहण की गई ऊष्मा + ऊष्मामापी के ताप में T_1 से T_3 तक वृद्धि में ग्रहण की गई ऊष्मा।

$$m_3 s_s (T_2 - T_3) = (m_2 - m_1) s_l (T_3 - T_1) + m_1 s_1 (T_3 - T_1)$$

$$s_l = \frac{m_3 s_s (T_2 - T_3) - m_1 s_1 (T_3 - T_1)}{(m_2 - m_1) (T_3 - T_1)} \text{ Jgm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

विधि

(अ) ठोस की विशिष्ट ऊष्मा (s_s) ज्ञात करना –

1. भौतिक तुला की सहायता से विडोलक सहित खाली ऊष्मामापी का द्रव्यमान m_1 व पानी सहित ऊष्मामापी व विडोलक का द्रव्यमान m_2 तथा ठोस का द्रव्यमान m_3 नोट करते हैं।
2. अब कोर्क की सहायता से ऊष्मामापी में तापमापी लगाते हैं व पानी का प्रारम्भिक ताप T_1 नोट करते हैं।
3. अब पानी में ठोस को विडोलक की सहायता से लटकाते हैं व लगभग आधे घंटे तक गर्म करते हैं जब ठोस का तापमान स्थिर हो जाये तो उसका पाठ्यांक T_2 नोट कर लेते हैं।
4. अब वाष्प का प्रवाह बंद करते हैं तथा विडोलक से जल को हिलाते हैं जब तक कि मिश्रण का ताप स्थिर न हो जाये उक्त स्थिति में पाठ्यांक T_3 नोट कर लेते हैं। यहां यह आवश्यक है कि ठोस पूर्ण रूप से पानी में डुबा होना चाहिए।

(ब) द्रव की विशिष्ट ऊष्मा (s_l) ज्ञात करना –

1. उपरोक्त विधि से ठोस की विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात करें।
2. अब ऊष्मामापी में पानी के बराबर वह द्रव लेते हैं जिसकी विशिष्ट ऊष्मा ज्ञात करनी है तथा उसका प्रारम्भिक ताप T_1 नोट करते हैं।
3. अब द्रव व ठोस को गर्म करते हैं जब तक ठोस का ताप स्थिर न हो जाये उक्त उच्च ताप T_2 को नोट कर लेते हैं तथा अब वाष्प का प्रवाह बंद कर ठोस को विडोलक की सहायता से हिलाते हैं व मिश्रण का ताप T_3 साम्यावस्था में नोट करते हैं।

प्रेक्षण

(अ) ठोस की विशिष्ट ऊष्मा (s_s) ज्ञात करना –

विडोलक सहित ऊष्मामापी का द्रव्यमान (m_1) =g

पानी सहित ऊष्मामापी व विडोलक का द्रव्यमान (m_2) =g

दिये गये ठोस का द्रव्यमान (m_3) =g

पानी का प्रारम्भिक ताप $(T_1) = \dots\dots\dots ^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{K}$
 उबलते पानी में ठोस का ताप द्रव्यमान $(T_2) = \dots\dots\dots ^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{K}$
 मिश्रण का ताप $(T_3) = \dots\dots\dots ^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{K}$

$$\text{ठोस की विशिष्ट ऊष्मा } s_s = \frac{[(m_2 - m_1)s_0 + m_1s_1](T_3 - T_1)}{m_3(T_2 - T_3)} \text{ Jgm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

(ब) द्रव की विशिष्ट ऊष्मा (s_l) ज्ञात करना -
 विडोलक सहित खाली ऊष्मामापी का द्रव्यमान $(m_1) = \dots\dots\dots \text{g}$
 द्रव व विडोलक सहित ऊष्मामापी का द्रव्यमान $(m_2) = \dots\dots\dots \text{g}$
 ठोस का द्रव्यमान $(m_3) = \dots\dots\dots \text{g}$
 द्रव का प्रारम्भिक ताप $(T_1) = \dots\dots\dots ^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{K}$
 ठोस का उबलते द्रव में ताप $(T_2) = \dots\dots\dots ^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{K}$
 मिश्रण का ताप $(T_3) = \dots\dots\dots ^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{K}$

$$\text{द्रव की विशिष्ट ऊष्मा } S_l = \frac{m_3s_3(T_2 - T_3) - m_1s_1(T_3 - T_1)}{(m_2 - m_1)(T_3 - T_1)} \text{ Jgm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

परिणाम (Results)

मिश्रण विधि द्वारा ठोस व द्रव की विशिष्ट ऊष्मा क्रमश $\dots\dots\dots$ व $\dots\dots\dots \text{ Jgm}^{-1}\text{K}^{-1}$ है।

सावधानियाँ

1. भौतिक तुला का सामंजस्य सही हो ताकि द्रव्यमान मापन में त्रुटि न हो।
2. ठोस का चयन इस प्रकार करना चाहिए कि यह पानी व द्रव में घुलनशील या रासायनिक क्रियाशील न हो।
3. तापमापी से पाठयांक पढ़ने में त्रुटि न हो।
4. वाष्प का प्रवाह बंद करने के बाद विडोलक की सहायता से द्रव या जल को लगातार हिलाना चाहिए।
5. ऊष्मामापी पूर्ण रूप से ताप रोधक हो ताकि उष्मा का विकिरण द्वारा क्षय न्यूनतम हो।

मौखिक प्रश्न

1. विशिष्ट ऊष्मा को परिभाषित कीजिए।
2. ऊष्मा व ताप में अन्तर स्पष्ट करो।
3. 1 cal कितने J के बराबर होता है।
4. ऊष्मामापी प्राय तांबे के क्यों लेते हैं।
5. तेल व जल की समान मात्रा को उष्मा देने पर किसके ताप में वृद्धि अधिक होगी व क्यों।

6. ताप से क्या अभिप्राय है?
7. ऊष्मा से क्या अभिप्राय है?
8. किस द्रव की विशिष्ट ऊष्मा अधिकतम होती हैं ।
9. ताप मापने के उपकरण को क्या कहते हैं?
10. क्या विशिष्ट ऊष्मा ताप पर निर्भर करती हैं।

उतरमाला

1. किसी पदार्थ के एक ग्राम का ताप एक डिग्री सेल्सियस बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा उस पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा कहलाती है। इसका मात्रक $\text{Jgm}^{-1}\text{K}^{-1}$ है।
2. कोई वस्तु कितनी गर्म है इसका मापन ताप से करते हैं जबकि दो वस्तुओं के ताप में अंतर होने से गर्म वस्तु से ठण्डी वस्तु में ऊर्जा का स्थानान्तरण ऊष्मा है।
3. 4.18 J
4. चूँकि ताँबे की विशिष्ट ऊष्मा कम होती है अतः ऊष्मामापी का ताप बढ़ाने पर बहुत कम ऊष्मा अवशोषित होती है तथा अधिकांश मात्रा द्रव के ताप वृद्धि में काम आती है।
5. तेल में क्योंकि तेल की विशिष्ट ऊष्मा जल की विशिष्ट ऊष्मा से कम होती है।
6. ताप किसी भी वस्तु की उष्णता का मापक होता है। ताप अधिक होने पर वस्तु अधिक उष्ण प्रतीत होती है वरन् ताप कम होने पर अपेक्षाकृत ठंडी प्रतीत होती है।
7. ऊष्मा ऊर्जा का ही एक स्वरूप है जो सदैव गतिशील है तथा जिसका एक निकाय से दूसरे निकाय अथवा एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानान्तरण होता है बशर्त दोनों निकायों अथवा वस्तुओं के ताप में अन्तर हो।
8. जल ।
9. तापमापी ।
10. हाँ, ताप के साथ बढ़ती हैं ।

क्रियाकलाप

अनुभाग 'A'

क्रियाकलाप – 1

उद्देश्य

दिये गये अल्पतमांक की पेपर स्केल का निर्माण करना।

उपकरण

ड्राइंग शीट, पेन्सिल, रबड़, पैमाना।

सिद्धान्त

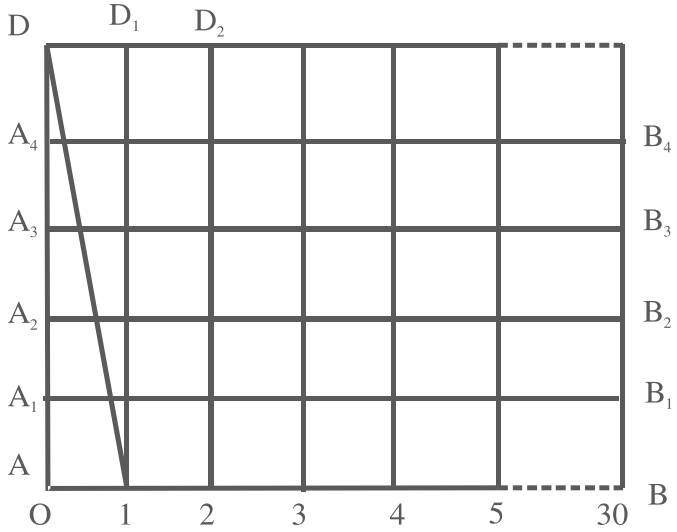
आप जानते हैं कि पैमाने पर 1 cm में 10 चिन्ह होते हैं अर्थात् एक खाने का मान 0.1 cm या 1 mm होता है। अतः पैमाने में 1 mm से कम लम्बाई का मापन संभव नहीं है। इस राशि को ही हम पैमाने का अल्पतमांक कहते हैं। अर्थात् अल्पतमांक उस न्यूनतम राशि का माप है जो उस उपकरण से शुद्धता से मापन किया जा सकता है।

विधि

हम इस विधि के द्वारा पैमाने के अल्पतमांक के बड़े मान के अल्पतमांक की पेपर स्केल की रचना

कर सकते हैं। सफेद शीट को लम्बाई के अनुदिश मध्य से मोड़ते हैं।

- माना कि हमें 0.2 cm अल्पतमांक का पेपर स्केल बनाना है। अतः 1 cm को बराबर के 5 भागों में बांटना होगा जिसके लिये हम माना एक रेखा AB खींचते हैं। जिसमें प्रत्येक 1 cm दूरी पर चिन्हित कर 5 cm की लम्बावत रेखायें खींचते हैं।
- AB के समान्तर AB से क्रमशः 1 cm (A_1B_1), 2 cm (A_2B_2), 3 cm (A_3B_3), 4 cm (A_4B_4) एवं 5 cm (DD_1D_2) पर पांच रेखायें खींचते हैं।
- अब D बिन्दु को AB रेखा के चिन्हित बिन्दु 1 से मिलाने पर यह रेखा A_4B_4 को 0.2 cm, A_3B_3 को 0.4 cm, A_2B_2 को 0.6 cm A_1B_1 को 0.8 cm पर काटती है। यह सभी दूरिया रेखा AD



से लम्बवत दूरियां है।

इस पैमाने की सहायता से किसी पेन्सिल की लम्बाई 0.2 cm अल्पतमांक के साथ ज्ञात की जा सकती है।

परिणाम

0.2 cm अल्पतमांक का पैमाना बनाया गया।

सावधानिया

1. पेन्सिल तीक्ष्ण होनी चाहिये।
2. लम्बाई मापते समय वस्तु का एक सिरा AB के लम्बवत रेखा से पूर्णतः मिलना चाहिये एवं दूसरे सिरे का पाठयांक पैपर पैमाने पर पढ़ना चाहिये।

मौखिक प्रश्न

1. अल्पतमांक किसे कहते है ?
2. साधारण पैमाने के अल्पतमांक का मान बताओ।
3. किसी तार की त्रिज्या ज्ञात करने हेतु कौनसा उपकरण उपयुक्त होगा ?

उत्तरमाला

1. सिद्धांत देखे
2. 0.1 cm
3. पेचमापी

क्रियाकलाप - 2

उद्देश्य

आघूर्ण के सिद्धान्त द्वारा मीटर स्केल का प्रयोग करते हुये दिये गये पिण्ड का द्रव्यमान ज्ञात करना।

उपकरण

समान मोटाई एवं समान चौड़ाई का मीटर स्केल, धागा, स्टेन्ड, बाट इत्यादि।

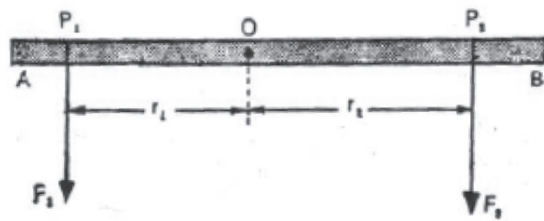
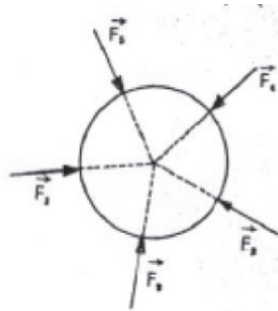
सिद्धान्त

यदि किसी वस्तु पर विभिन्न बल लग रहे हो, फिर भी वस्तु अपनी स्थिति से विस्थापित नहीं होती है तो वस्तु की इस अवस्था को स्थैतिक साम्यावस्था कहते हैं।

(i) किसी वस्तु में सरल रेखीय गति (straight line motion) नहीं हो इसके लिये वस्तु पर कार्य कर रहे बलों का परिणामी बल शून्य होना चाहिये। चित्र (2.01) में दिखाए अनुसार यदि $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3, \mathbf{F}_4, \mathbf{F}_5$ बल लगाने के उपरान्त भी वस्तु सरल रेखीय गति न करे तो

$$\text{परिणामी बल } \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 + \mathbf{F}_5 = \mathbf{0}$$

(ii) यदि कोई वस्तु (या स्केल AB) O बिन्दु पर इस प्रकार लटका दें, कि वह O बिन्दु के इर्द-गिर्द घूम सकती है (चित्र 2.02)। यदि बिन्दु P_1 पर \mathbf{F}_1 बल लगायें तो इस बल के कारण स्केल वामावर्ती (anti clockwise) दिशा में घूमेगा तथा बिन्दु P_2 पर \mathbf{F}_2 बल लगाने पर स्केल दक्षिणावर्ती (clockwise) दिशा में घूमेगा। यदि दोनों बल \mathbf{F}_1 तथा \mathbf{F}_2 एक साथ कार्य करें तथा स्केल स्थिरावस्था में रहे तो निश्चय ही वामावर्ती बल आघूर्ण दक्षिणावर्ती बल आघूर्ण के बराबर होगा तथा दिशायें विपरीत होंगी।



चित्र 2.01

अर्थात् $r_1 F_1 = r_2 F_2$
या $r_1 M_1 = r_2 M_2$

चित्र 2.02

अतः $M_2 = \frac{M_1 r_1}{r_2}$ (2.01)

यहाँ M_1, P_1 बिन्दु पर लटकाया गया ज्ञात द्रव्यमान है तथा M_2, P_2 बिन्दु पर लटकाया गया अज्ञात द्रव्यमान है।

विधि

- किसी स्टेन्ड की मदद से समान चौड़ाई एवं मोटाई के मीटर स्केल को क्षैतिज तल में स्वतंत्र घूम सके, ऐसी व्यवस्था के अन्तर्गत चित्र (2.02) में दिखाये गये अनुसार बिन्दु O से लटकाते हैं। मीटर स्केल की सन्तुलित अवस्था प्राप्त की जाती है। माना यह अवस्था बिन्दु O पर प्राप्त हो गई है।
- ज्ञात पिण्ड को धागे के लूप से बायें तरफ तथा लगभग ज्ञात पिण्ड के बराबर का अज्ञात पिण्ड को दाये तरफ धागे के लूप द्वारा मीटर स्केल पर लटकाते हैं।
- ज्ञात पिण्ड के लूप की स्थिति में परिवर्तित कर मीटर स्केल की सन्तुलित अवस्था प्राप्त करते हैं।
- सन्तुलित अवस्था प्राप्त होने पर गुरुत्व केन्द्र बिन्दु O से दोनो पिण्डों की दूरिया r_1 एवं r_2 ज्ञात कर लेते हैं।
- अज्ञात पिण्ड की स्थिति में परिवर्तन करने पर, सन्तुलित अवस्था प्राप्त कर गुरुत्व केन्द्र से दूरियों को नोट कर लेते हैं।

प्रेक्षण सारिणी

क्रमांक	धागे के लूप से लटकाया गया द्रव्यमान M_1	दूरी r_1 cm में	धागे के लूप से अज्ञात द्रव्यमान को लटकाकर प्राप्त सन्तुलन दूरी = r_2	$M_2 = \frac{M_1 r_1}{r_2}$ = अज्ञात पिण्ड का द्रव्यमान
1				
2				
3				
4				
5				

औसत द्रव्यमान = g

परिणाम

दिये गये अज्ञात पिण्ड का द्रव्यमान = g प्राप्त हुआ।

सावधानियाँ

- धागे के लूप मीटर, पैमाने के लम्बवत होने चाहिये।
- धागा पतला, हल्का व मजबूत होना चाहिये।
- मीटर स्केल लटकाने पर घूमने हेतु स्वतंत्र होना चाहिये।
- सन्तुलन अवस्था का चयन ठीक होना चाहिये।

मौखिक प्रश्न

- स्थैतिक साम्यवस्था किसे कहते हैं ?
- साम्यवस्था की क्या शर्त है ?
- बल आघूर्ण किसे कहते हैं ?

4. बल आघूर्ण का मात्रक बताइये ?
5. क्या बल आघूर्ण सदिश राशि है ?
6. आघूर्ण का सिद्धान्त बताइये।

उत्तर

1. यदि किसी वस्तु पर विभिन्न बल लग रहे हो, फिर भी वस्तु अपनी स्थिति से विस्थापित नहीं होती है तो वस्तु की इस अवस्था को साम्यवस्था कहते हैं।
2. सरल रेखीय गति में समस्त कार्यकारी बलों का योग शून्य होता है। जबकि घूर्णन गति में समस्त बलआघूर्ण का सदिश योग शून्य होता है। इसी को घूर्णन का सिद्धान्त भी कहते हैं।
3. बल आघूर्ण = बल x घूर्णन अक्ष से लम्बवत दूरी
4. न्यूटन मीटर
5. बल आघूर्ण सदिश राशि है। इसे सदिश रूप में $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$ द्वारा व्यक्त करते हैं।
6. जब किसी वस्तु पर एक ही तल में कई बल कार्यरत हैं तथा वह वस्तु साम्यावस्था में है तो दक्षिणावर्त दिशा में कार्यरत बल आघूर्णों का योग, वामावर्त दिशा में कार्यरत बल आघूर्णों के योग के बराबर होता है।

क्रियाकलाप - 3

उद्देश्य

स्केल एवं त्रुटि बंधन के उचित चयन के द्वारा दिये गये आंकड़ों के समुच्चय के लिये ग्राफ बनाना।

उपकरण

नुकीली पेन्सिल, रबर, स्केल, ग्राफ पेपर, दिये गये आँकड़ें आदि।

यहाँ पर किसी प्रयोग में प्राप्त प्रेक्षण निम्न प्रकार हैं—

सरल लोलक की प्रभावी लम्बाई (L) cm	आवर्तकाल का वर्ग (T ²) S ²
80	2.8
90	3.6
100	4.5
110	5.2
120	6.2
130	7.0
140	7.8

सिद्धान्त

सरल लोलक का आवर्तकाल निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जा सकता है—

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

या $T^2 = \frac{4\pi^2 L}{g}$

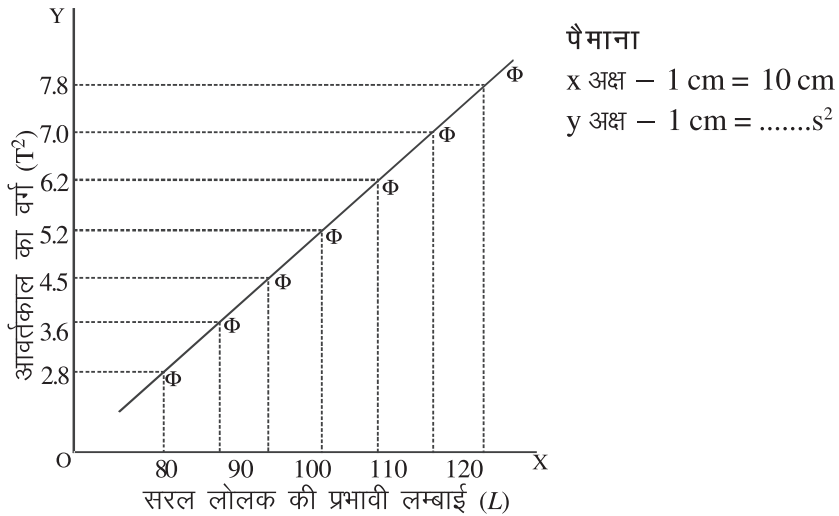
यहाँ $\frac{4\pi^2}{g} = \text{नियतांक}$

इसलिए $T^2 \propto L$

विधि

1. सर्वप्रथम दिये गये आँकड़ों एवं दी गई भौतिक राशियों में स्वतन्त्र चर राशि एवं परतन्त्र चर राशि का निर्धारण करते हैं। जैसे यहां सरल लोलक की प्रभावी लम्बाई स्वतन्त्र चर राशि एवं आवर्तकाल का वर्ग परतन्त्र चर राशि है।
2. स्वतन्त्र चर राशि को X अक्ष पर तथा परतन्त्र चर राशि को Y अक्ष पर लेते हैं।
3. ग्राफ पेपर पर एक बिन्दु को मूल बिन्दु मानकर, उस पर दो परस्पर लम्बवत् रेखाएँ OX व OY खींचते हैं।

4. अब दोनों राशियों के लिए उचित पैमाना इस प्रकार मानते हैं जिससे कि ग्राफ पेपर का अधिकांश भाग उपयोग में आ जाये। पैमाना मानने के लिए राशि के अधिकतम एवं न्यूनतम मानों का अंतर लेकर, उपलब्ध खानों की संख्या का भाग देकर यह तय करते हैं कि 1 cm (बड़ा खाना) भौतिक राशि के कितने मान के बराबर मानना चाहिए – जैसे सरल लोलक की अधिकतम व न्यूनतम लम्बाई का अन्तर = $140 - 80 = 60$ cm है। अतः उपलब्ध खाने 60 cm से अधिक हैं तो एक बड़ा खाना (1 cm) = 10 cm प्रभावी लम्बाई उचित पैमाना होगा।
5. अब X अक्ष पर स्वतन्त्र चर राशि तथा Y अक्ष पर परतन्त्र राशि के मानों को अंकित करते हैं।
6. दिये गये आंकड़ों के संगत बिन्दु नोकदार पेंसिल से ग्राफ पेपर पर चिन्हित कर लेते हैं। प्रत्येक बिन्दु पर छोटा वृत्त बनाकर एक छोटा खाना ऊपर तथा एक छोटा खाना नीचे त्रुटि बंधन प्रदर्शित करते हैं। जैसे Φ
7. यदि ये प्राप्त बिन्दु एक सरल रेखा निरूपित करते हैं तो इनको स्केल की सहायता से मिला देते हैं तथा यदि ये एक वक्र का निरूपण करते हैं तो इन्हें हाथ से वक्र की आकृति के अनुसार मिलाते हैं कि किसी भी बिन्दु पर कोण न बने।
8. माने गये पैमाने को ग्राफ पेपर के ऊपर की ओर एक कोने में लिख देते हैं।



परिणाम

दिये गये आंकड़ों के लिए आरेख ग्राफ पेपर पर प्रदर्शित है तथा त्रुटि बंधन को भी प्रत्येक बिन्दु के लिए व्यक्त किया गया है।

सावधानियाँ

1. बारीक नोकदार पेंसिल का उपयोग करना चाहिए।
2. पैमाने का चयन सावधानीपूर्वक करना चाहिए।
3. बिन्दुओं को मिलाते समय ध्यान रखना चाहिए कि यदि कुछ बिन्दु वक्र से विचलित प्राप्त हो रहे हैं तो वक्र की आकृति का निर्धारण इस प्रकार करना चाहिए कि अधिकतम बिन्दु वक्र पर ही प्राप्त हो।

क्रियाकलाप – 4

उद्देश्य

चल सूक्ष्मदर्शी द्वारा दी हुई दो समान्तर रेखाओं के मध्य की दूरी ज्ञात करना।

उपकरण

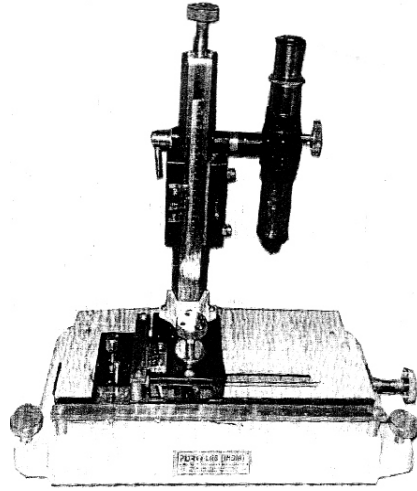
चल सूक्ष्मदर्शी, स्टैण्ड, स्पिरिट लेवल, एक छोटी प्लेट जिस पर दो समान्तर रेखाएँ खींची हुई हों। (साहुल: धागे से लटका हुआ भार जिसके कारण डोरी सदा ऊर्ध्वाकार रहती है।

विधि

1. स्पिरिट लेवल को चल सूक्ष्मदर्शी के आधार पर रखकर इसके तीनों पेचों द्वारा स्पिरिट लेवल में हवा के बुलबुले को केन्द्र पर लाओ ताकि आधार क्षैतिज हो जाये।
2. साहुल की सहायता से एक क्रॉस तार को ऊर्ध्वाकार करो। इसके लिए सूक्ष्मदर्शी की नली को क्षैतिज कर साहुल के धागे पर फोकसित करो। नेत्रिका को घुमाकर क्रॉस तार को साहुल के धागे के अनुदिश करो।
3. साहुल को हटाकर समान्तर रेखाओं वाली प्लेट को अभिवृश्य लेंस से सन्निकट फोकस दूरी पर रखो। समान्तर रेखाओं पर सूक्ष्मदर्शी का फोकस करो एवं साथ-साथ रेखाओं की लम्बाई को ऊर्ध्वाकार क्रॉस तार के समान्तर बनाओ।
4. आधार पर लगे मंद गति पेच से सूक्ष्मदर्शी के ऊर्ध्वाकार स्तम्भ को सही दिशा में विस्थापन देकर ऊर्ध्वाकार क्रॉस तार को एक रेखा पर लाओ।
5. क्षैतिज पैमाने के प्रधान पर वर्नियर पैमाने के पाठ्यांक लिखो।
(कुल पाठ्यांक = प्रधान पैमाने का पाठ्यांक + संपातित चिन्ह × अल्पतमांक)
6. वर्नियर पैमाने का अल्पतमांक निकालकर उपरोक्त पाठ्यांकों के मान ज्ञात करो। इन दोनों पाठ्यांकों के मानों का अन्तर समान्तर रेखाओं के बीच की दूरी के बराबर होगा।
7. ऊर्ध्वाकार क्रॉस तार को क्षैतिज विस्थापन देकर दूसरी रेखा पर लाओ और पूर्वविधि से कुल पाठ्यांक ज्ञात करो।
8. दोनों रेखाओं पर कुल पाठ्यांकों के अन्तर से दोनों समान्तर रेखाओं के बीच की दूरी की गणना करो।
9. इन्हीं प्रक्रियाओं को दोहराकर पर्याप्त संख्या में प्रेक्षण समूह लो।

प्रेक्षण

प्रधान पैमाने के एक भाग का मान $(x) = \frac{1}{20} \text{ cm} = 0.05 \text{ cm}$



चित्र 4.1 चल सूक्ष्मदर्शी

वर्नियर पैमाने पर विभागों की कुल संख्या (N) = 50

$$\text{सूक्ष्मदर्शी के वर्नियर पैमाने का अल्पतमांक} = \frac{X}{N} = \frac{0.05}{50} = 0.001 \text{ cm}$$

क्र.सं.	प्रेक्षण जब सूक्ष्मदर्शी का क्रॉस तार						समान्तर रेखाओं के बीच की दूरी $d = c' - c$
	प्रथम रेखा पर हो			द्वितीय रेखा पर हो			
	प्रधान पैमाने का पाठ्यांक (a)	वर्नियर पैमाने का पाठ्यांक (b)	कुल पाठ्यांक (c = a + b)	प्रधान पैमाने का पाठ्यांक (a')	वर्नियर पैमाने का पाठ्यांक (b')	कुल पाठ्यांक (c' = a'+b')	

परिणाम

चल सूक्ष्मदर्शी के द्वारा दी गई दो समान्तर रेखाओं के बीच दूरी = cm प्राप्त होती है।

सावधानियाँ

1. चल सूक्ष्मदर्शी की अल्पतमांक का मान सावधानी से निकालना चाहिए।
2. सूक्ष्मदर्शी को पेंच घुमाकर संतुलित करना चाहिए।
3. वर्नियर सूक्ष्मदर्शी का पाठ्यांक पढ़ने के लिए आवर्धक लेंस का प्रयोग करना चाहिए।
4. सूक्ष्मदर्शी को फोकसित करते समय लम्बन पूर्णतः समाप्त कर लेना चाहिए।

क्रियाकलाप - 5

उद्देश्य

प्रक्षेप्य कोण के साथ पानी की जेट की परास में परिवर्तन का अध्ययन करना।

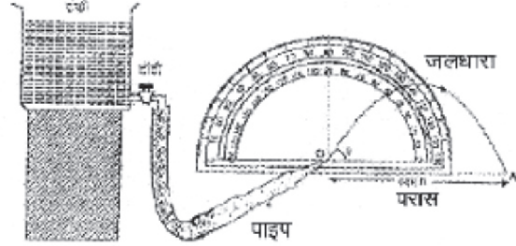
उपकरण एवं सामग्री

पानी का स्ट्रौत (टंकी), नोजल युक्त जल पाइप, प्लाई बोर्ड पर बना चाँदा, फीता आदि।

सिद्धान्त

प्रारम्भिक वेग u से θ कोण पर प्रक्षेप्य वस्तु द्वारा प्रक्षेपण स्थल से क्षैतिज दिशा में तय की गई अधिकतम दूरी प्रक्षेप्य की क्षैतिज परास कहलाती है, तथा इसका मान

$$R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g} \text{ होता है।}$$



चित्र 5.1

(i) θ के बढ़ने पर R का मान बढ़ता है और θ

$$= 45^\circ \text{ पर प्रक्षेप्य की परास अधिकतम } R_{\max} = \frac{u^2}{g} \text{ होती है।}$$

(ii) $\theta = 45^\circ$ से $\theta = 90^\circ$ तक प्रक्षेप्य की परास कम होती है।

(iii) θ तथा $(90-\theta)$ कोणों के प्रक्षेप्यों की परास एक समान होती है।

विधि

1. लगभग 20 cm त्रिज्या का एक वृत्ताकार बोर्ड लेते हैं। इसके केन्द्र से व्यास रेखा खींचते हैं। इस रेखा से वृत्ताकार बोर्ड को दो बराबर भागों में काट लेते हैं और एक अर्द्धवृत्त पर 0° से 180° तक के कोण 15° अन्तराल पर चिन्हित कर लेते हैं।
2. नोजल (जेट) लगे पाइप का दूसरा सिरा टंकी की टॉपी से जोड़ते हैं।
3. बोर्ड पर बने चाँदे को चित्रानुसार उर्ध्वाधर व्यवस्थित करते हैं।
4. अब जेट को चाँदे के केन्द्र O पर θ कोणीय स्थिति पर व्यवस्थित करते हैं और टॉपी को खोल देते हैं। जेट नोजल से निकलने वाला जल फर्श पर कुछ दूर बिन्दु A पर जाकर गिरता है।
5. फीते की सहायता से O से A की दूरी OA माप लेते हैं।
6. प्रयोग को भिन्न-भिन्न कोणों ($\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) के लिए दोहराते हैं और प्रत्येक के लिए OA मापकर परास ज्ञात करते हैं।

प्रेक्षण

मापने वाले फीते का अल्पतमांक =cm

प्रेक्षण सारणी

क्र.सं.	प्रक्षेपण कोण (θ) डिग्री	परास $R = OA$ (m)
1	15°
2	30°
3	45°
4	60°
5	75°

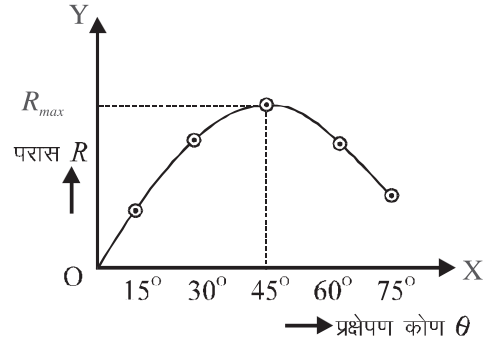
गणना

जलधारा की परास R व θ के मध्य ग्राफ खींचते हैं। θ को x - अक्ष पर व परास R को y -अक्ष पर लेते हैं।

परिणाम

ग्राफ से

- R व θ के मध्य ग्राफ परवलय प्राप्त होता है।
- $\theta = 45^\circ$ के लिये परास अधिकतम है
- $\theta = 0^\circ$ से 45° तक परास में वृद्धि होती है तथा $\theta = 45^\circ$ से $\theta = 90^\circ$ तक परास में कमी आती है।



सावधानियाँ

- जेट का नोजल संकीर्ण होना चाहिए।
- टंकी का जल स्तर समान बना रहना चाहिए।
- जल धारा प्रक्षेपण के समय पाईप हिलना नहीं चाहिए।

मौखिक प्रश्न

- प्रक्षेप्य गति क्या होती है?
- प्रक्षेप्य की परास क्या होती है ?
- प्रक्षेप्य की परास किन बातों पर निर्भर करती है ?
- $\theta = 45^\circ$ के लिये परास का मान कितना होता है।

उत्तर

- जब किसी पिण्ड को ऊर्ध्वाधर तल में क्षैतिज से किसी कोण पर प्रक्षेपित किया जाता है तो उसकी गति को प्रक्षेप्य गति कहते हैं।
- प्रक्षेप्य द्वारा क्षैतिज दिशा में तय की गई दूरी को क्षैतिज परास कहते हैं।
- (i) प्रारम्भिक वेग (ii) प्रक्षेपण कोण θ

$$4. R_{\max} = \frac{u^2}{g}$$

क्रियाकलाप – 6

उद्देश्य

लघुगुणक के द्वारा दिये गये आंकड़ों से किसी भौतिक राशि के औसत मान व वर्ग माध्य मूल मान में विचलन ज्ञात करना। (दिये गये आंकड़े – तीन अणुओं की चाल क्रमशः $u_1 = 450 \text{ m s}^{-1}$, $u_2 = 630 \text{ m s}^{-1}$ तथा $u_3 = 780 \text{ m s}^{-1}$)

आवश्यक सामग्री

लघु गुणक सारणी

महत्वपूर्ण सूत्र

$$(1) \quad \text{Log}_{10}(m \times n) = \text{Log}_{10} m + \text{Log}_{10} n$$

$$(2) \quad \text{Log}_{10}(m/n) = \text{Log}_{10} m - \text{Log}_{10} n$$

$$(3) \quad \text{Log}_{10}(m^n) = n \text{Log}_{10} m$$

विधि

1. तीनों अणुओं की चाल का औसत मान

$$\begin{aligned} \bar{u} &= \frac{u_1 + u_2 + u_3}{3} \\ &= \frac{450 + 630 + 780}{3} = \frac{1860}{3} = 620 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

2. वर्ग माध्य मूल मान

$$\begin{aligned} u_{rms} &= \sqrt{\frac{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}{3}} \\ &= \sqrt{\frac{(450)^2 + (630)^2 + (780)^2}{3}} \\ &= 634.5 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

3. विचलन

$$u_{rms} - \bar{u} = 634.5 - 620 = 14.5 \text{ m s}^{-1}$$

लघुगुणक का उपयोग

$$\begin{aligned} \text{Log } u_{rms} &= \text{Log} \left[\frac{(450)^2 + (630)^2 + (780)^2}{3} \right]^{1/2} \\ &= \frac{1}{2} [\text{Log} \{(450)^2 + (630)^2 + (780)^2\} - \text{Log } 3] \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} [2\text{Log } 450 + 2\text{Log}(630) + 2\text{Log}780 - \text{Log}3]$$

$$2\text{Log } 450 = 2 \times 2.6532 = 5.3064$$

$$\text{Antilog } 5.3064 = 2.025 \times 10^5$$

$$2\text{Log } 630 = 2 \times 2.7993 = 5.5986$$

$$\text{Antilog } 5.5986 = 3.968 \times 10^5$$

$$2\text{Log}780 = 2 \times 2.8921 = 5.7842$$

$$\text{Antilog } 5.7842 = 6.084 \times 10^5$$

$$\text{Log } u_{rms} = 1/2 \text{Log} (2.025 \times 10^5 + 3.968 \times 10^5 + 6.084 \times 10^5) - \text{Log } 3]$$

$$= 1/2 [\text{Log} (1.208 \times 10^6) - \text{Log } 3]$$

$$= 1/2 [6.0820 - 0.4771]$$

$$= 1/2 [5.6049]$$

$$= 2.80245$$

$$\text{Antilog} (\text{Log } u_{rms}) = \text{Antilog} (2.80245)$$

$$u_{rms} = 6.345 \times 10^2 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{अतः विचलन } u_{rms} - \bar{u} = 634.5 - 620 = 14.5 \text{ ms}^{-1}$$

परिणाम

दिये गये आंकड़ों से अणुओं के वेग के औसत मान व वर्ग माध्य मूल मान में विचलन = 14.5 m s⁻¹ है।

क्रियाकलाप - 7

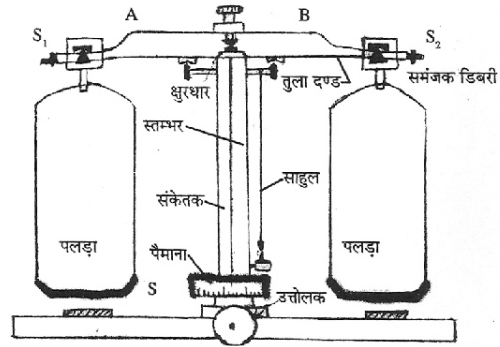
उद्देश्य

किसी भौतिक तुला को संमंजित कर दिये गये ठोस का द्रव्यमान ज्ञात करना।

उपकरण

भौतिक तुला, ठोस वस्तु, बाट।

भौतिक तुला का चित्र नीचे दिखाया गया है। इसका आधार एक लकड़ी का तख्ता होता है जो क्षैतिजकारी पेंचों पर रखा जाता है। आधार के मध्य में एक बेलनाकार स्तम्भ कसा रहता है। जिसके ऊपर के सिरे पर दो छड़े जुड़ी हुयी होती हैं जो तुलादण्ड को थामने के काम में आती है। स्तम्भ के नीचे के हिस्से पर पैमाना लगा होता है। तथा बाजू में एक धातु की नुकीली कील लगी होती है। जिस पर साहुल सूत्र लटकता है। स्तम्भ के उर्ध्वाधर होने पर कील की नोक साहुल की नोक से मिल जाती है। स्तम्भ खोखला बेलन होता है जिसके अन्दर एक दूसरा स्तम्भ होता है। जिसे उत्तोलक की सहायता से ऊपर नीचे किया जा सकता है। इस स्तम्भ के ऊपर के सिरे पर "अगेट" का समतल प्लेटफार्म होता है जिस पर तुला दण्ड AB तीक्ष्ण क्षुरधार के सहारे टिका होता है। तुला दण्ड के मध्य में एक उर्ध्वाधर संकेतक लगा होता है जो पैमाने (Scale) S पर दोलन करता है। तुला दण्ड के दोनो सिरों पर S_1 एवं S_2 दो



भौतिक तुला (Physical Balance)

द्विबरियां होती है। जिनको आगे-पीछे खिसकाकर

तुला का समंजन किया जाता है। जब बेलन के अन्दर के स्तम्भ को उत्तोलक सहायता से नीचे कर दिया जाता है तो तुलादण्ड थामने वाली छड़ो पर टिक जाता है और दोनो पलड़े तुला दण्ड से मुक्त हो जाते हैं। सम्पूर्ण तुला को एक कांच के बॉक्स के अन्दर रखते है जिससे हवा के झोंको से तुला प्रभावित नहीं हो।

विधि

1. तुला का समंजन करना— क्षैतिजकारी पेंचों की सहायता से तुला के आधार को क्षैतिज होने पर साहुल का नीचे का नुकीला सिरा उसके नीचे लगे हुए मुड़ी कील की नोक के ठीक ऊपर आ जाता है।
2. धीरे से उत्तोलक को ऊपर उठा कर स्तम्भ को ऊंचा करो जिससे तुला दण्ड क्षुरधार स्तम्भ के ऊपरी प्लेटफार्म पर टिक जाये और दण्ड दोलने करने लगे।
3. साधारणतया संकेतक पैमाने के मध्य में लगे शून्यांक बिन्दु के दोनो ओर बराबर विक्षेप देता है। लेकिन यदि उसका विक्षेप एक ओर अधिक तथा दूसरी ओर कम हो तो द्विबरियों S_1, S_2 को कस कर ढीला कर समंजन करो। लेकिन यदि संकेतन बांयी ओर अधिक जाता है तो पहले उत्तोलक को घुमाकर तुला दण्ड को नीचे करो और फिर द्विबरियो का घुमा कर (बांयी द्विबरी को बाहर या दाहिनी द्विबरी

को भीतरी) समंजित करो। पुनः तुला दण्ड को ऊपर उठाओ और संकेतक का विक्षेप देखो।

इस प्रकार तब तक क्रिया को दोहराओं जब तक कि दोनो ओर विक्षेप बराबर न आ जाये। संकेतक के दाहिनी ओर अधिक जाने की अवस्था में यही क्रिया विपरीत दिशा में की जाती है।

4. अब तुला मापन के लिये समंजित है। इस समय संकेतक पैमाने के दोनो और बराबर जाता है अथवा शून्य पर स्थिर रहता है।
5. जिस वस्तु का द्रव्यमान निकालना है, उस वस्तु को तुला के बायें पलड़े में रखो और दाये पलड़े में बाट रखो।
6. दायें पलड़े में बाट बढ़ाकर या घटाकर बार-बार तुला दण्ड को ऊपर उठाकर संकेतक के विक्षेप की दिशा देखते रहो और पलड़े में इतने बाट रखो कि संकेतक के दोलन पैमाने के मध्य बिन्दु के दोनो और बराबर हो जाये।
7. दाहिने पलड़े में रखे कुल बाटों को द्रव्यमान ज्ञात करो। यह द्रव्यमान वस्तु के द्रव्यमान के बराबर होगा।

परिणाम : दिये गये ठोस का द्रव्यमान gm।

अनुभाग 'B'

क्रियाकलाप – 1

उद्देश्य

मोम के लिए अवस्था परिवर्तन का प्रेक्षण करना एवं शीतलन वक्र खींचना।

उपकरण

बीकर, परखनली, तापमापी, मोम, जल, धातु की जाली, बर्नर, स्टैंड एवं विराम घड़ी।

सिद्धान्त

जब किसी ठोस पदार्थ को गर्म करते हैं तो पदार्थ का प्रसार होने लगता है और ताप वृद्धि होती है। पदार्थ को लगातार ऊष्मा देने पर, एक निश्चित ताप (गलनांक) पर ताप में वृद्धि नहीं होती है। इस ताप पर अवस्था में परिवर्तन (ठोस का द्रव में बदलना) होने लगती है। ये प्रक्रिया "गलन" कहलाती है। अतः जब तक कि सम्पूर्ण ठोस द्रव में नहीं बदल जाता, उसका ताप नियत रहता है। ठोस अवस्था से द्रव अवस्था परिवर्तन में लगा समय निम्न घटको पर निर्भर करता है।

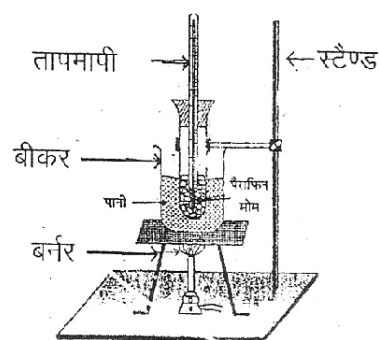
(1) ठोस के द्रव्यमान पर

(2) ठोस की प्रकृति पर

ठीक इसी प्रकार, जब द्रव को ठंडा किया जाता है तो वह ठोस में बदलने लगता है और हिमांक बिन्दु पर जम जाता है। द्रव से ठोस अवस्था परिवर्तन तक ताप नियत रहता है।

विधि

1. तापमापी द्वारा कमरे का ताप नोट करें।
2. विराम घड़ी का लघुत्तम माप नोट करें।
3. तापमापी का लघुत्तम माप एवं परास नोट करें।
4. बीकर में भरे पानी को तब तक गर्म करें जब तक कि सम्पूर्ण मोम पिघल न जाये। मोम का गलनांक भी नोट करें।
5. पिघले हुये मोम को उसके गलनांक से लगभग अधिक गर्म करें।
6. अब बर्नर को बन्द करने के बाद, पानी से भरे बर्तन को हटा लेते हैं।
7. प्रत्येक दो मिनट के अन्तराल पर तापमापी से ताप नोट करें।
8. समय ताप के मध्य ग्राफ खींचें।
9. ग्राफ से खींचना—
 - 1— मोम का गलनांक ज्ञात करें।
 - 2— वह समयान्तराल नोट करें जिसमें मोम द्रव अवस्था में रहता है।



मोम की शीतलन दर के लिये प्रायोगिक व्यवस्था

प्रेक्षण

तापमापी का लघुत्तम माप =.....⁰C

तापमापी का परास =.....⁰C से

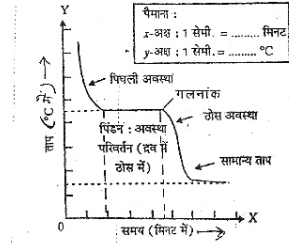
.....⁰C

कमरे का ताप =.....⁰C

विराम घड़ी का लघुत्तम माप =..... s

.....⁰C

..... s



मोम के लिये शीतलन वक्र

प्रेक्षण सारिणी

क्रं. सं.	समय. min	ताप ⁰ C
1.
2.
3.
4.
5.
6.

परिणाम

1. प्रारम्भ में तापमान में तेजी से कमी आती है तथा मोम का गलनांक = ... ⁰C प्राप्त हुआ (ग्राफ से)
2. मोम द्रव अवस्था में सेकंड व ठोस अवस्था में s रहा (ग्राफ से)

सावधानियां

1. ताप आधिक्य व वातावरण ताप में अधिक अन्तर न हो।
2. मोम से भरी नली को प्रत्यक्ष रूप से गर्म नहीं करनी चाहिए।
3. शीतलन प्रक्रिया में तापमापी से ताप प्रत्येक दो-दो मिनट बाद नोट करना चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. न्यूटन का शीतलन नियम लिखिये।
2. शीतलन वक्र से आप क्या समझते हैं।
3. जब तापान्तर बहुत अधिक हो तो शीतलन दर किस नियम द्वारा ज्ञात की जाती है ?

4. न्यूटन शीतलन नियम की सीमायें लिखिये।
5. कमरे के ताप से एक वस्तु का ताप 20°C व दूसरी का 30°C अधिक है। शीतलन दर किसकी अधिक होगी ?

उत्तर

1. किसी वस्तु की शीतलन की दर वस्तु और वातावरण के तापान्तर के समानुपाती होती है बशर्ते तापान्तर बहुत अधिक न हो।
2. वस्तु के ठण्डा होने पर भिन्न-भिन्न समय पर उसके संगत ताप में ग्राफ ही वस्तु का शीतलन वक्र कहलाता है।
3. स्टीफन नियम से
4. शीतलन के समय ऊष्मा हानि केवल विकरण विधि से हो। तथा विकरण हानि केवल कृष्ट पृष्ठों द्वारा हो। एवं तापान्तर, वातावरण ताप की तुलना में अधिक न हो।
5. 30°C वाली वस्तु की शीतलन दर अधिक होगी क्योंकि यह वस्तु एवं वातावरण के तापान्तर के समानुपाती होती है।

क्रियाकलाप – 2

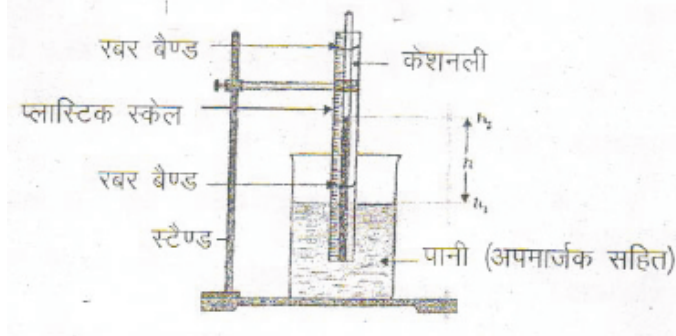
उद्देश्य

केशिका उन्नयन का प्रेक्षण करते हुये जल के पृष्ठ तनाव पर अपमार्जक के प्रभाव का अध्ययन करना।

आवश्यक उपकरण व सामग्री

केशनली, अपमार्जक (ठोस या द्रव), प्लास्टिक स्केल, रबर बैंड, स्टैंड (क्लैम्प सहित), पानी।
उपकरण का वर्णन

चित्रानुसार केशनली एक मीटर स्केल पर लगी होती है जो कि क्लैम्प पर कसा रहता है। यह संयोजन बीकर में पानी के अन्दर कुछ दूरी तक डूबा रहता है।



चित्र 2.1 केशनली

सिद्धांत

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

जब किसी केशनली को जल में डुबोया जाता है तो जल केशनली में उपर चढ़ जाता है। यदि केशनली में चढ़े जल स्तम्भ की ऊंचाई h हो तो

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

जहां S = जल का पृष्ठ तनाव

r = केशनली की त्रिज्या (आन्तरिक)

d = घनत्व

g = गुरुत्वीय त्वरण

θ = काँच – जल का स्पर्श कोण = 8° (आसुत जल का काँच हेतु)

$$h = \frac{2S}{rdg} \text{ या } S = \frac{hrdg}{2}$$

यहाँ $\cos \theta = \cos 8^\circ \approx 1$

अतः यदि r, d, g स्थिर है तो

$$S \propto h$$

अतः किसी निश्चित केशनली के लिए जल का पृष्ठ तनाव केशनली में जल स्तम्भ की ऊँचाई के समानुपाती होता है। अब यदि जल में अपमार्जक मिलाते हैं तो केशनली में जल का स्तम्भ गिर जाता है। यदि जल में अपमार्जक की सान्द्रता बढ़ायें तो जल स्तम्भ की ऊँचाई और कम हो जाती है अर्थात् पृष्ठ तनाव कम हो जाता है।

विधि

1. काँच की केशनली को साफ धोकर, सुखाकर स्टैण्ड में उर्ध्वाधर कस देते हैं।
2. काँच के साफ बीकर में जल भरकर उसे केशनली के नीचे रख देते हैं।
3. एक प्लास्टिक के स्केल को रबड़ बैंड की सहायता से केशनली के समान्तर इस प्रकार व्यवस्थित करते हैं 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 करते हैं। अतः केशनली में जल स्तम्भ की ऊँचाई $h = h_2 - h_1$
5. केशनली को अन्दर व बाहर से साफ धोकर सुखाते हैं तथा पुनः केशनली को स्टैण्ड पर कस देते हैं एवं रबड़ बैंड की सहायता से प्लास्टिक स्केल केशनली के समान्तर लगा देते हैं।
6. बीकर में अल्पमात्रा में अपमार्जक मिलाकर प्रयोग दोहराते हैं एवं जल स्तम्भ की ऊँचाई h' नोट करें। इसी प्रकार अपमार्जक की मात्रा बढ़ाकर पुनः जल स्तम्भ की ऊँचाई h'' नोट करते हैं।

प्रेक्षण

1. शुद्ध जल के जल स्तम्भ की ऊँचाई $h = \dots\dots\dots$ cm
2. अपमार्जक विलयन स्तम्भ की ऊँचाई $h' = \dots\dots\dots$ cm
3. अपमार्जक की मात्रा बढ़ाने पर विलयन स्तम्भ की ऊँचाई $h'' = \dots\dots\dots$ cm

गणना

$h, h',$ व h'' के इन मानों से हम देखें कि

$$h'' < h' < h$$

परिणाम

इसके निष्कर्ष स्वरूप हम कह सकते हैं कि जल में अपमार्जक मिलाने पर विलयन स्तम्भ की ऊँचाई में कमी आती है अतः इस आधार पर हम कह सकते हैं कि जल में अपमार्जक मिलाने पर उसका पृष्ठ तनाव कम होता 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 उर्ध्व रहनी चाहिये।
4. केशनली के दोनों सिरों खुले रहने चाहिये।

मौखिक प्रश्न

1. द्रव के पृष्ठ तनाव से आप क्या समझते हैं?

2. पृष्ठ तनाव को परिभाषित करो?
3. पृष्ठ तनाव का मात्रक क्या है?
4. संसजक बल क्या है?
5. आसंजक बल क्या है?
6. आणविक परास क्या होती है?
7. पृष्ठ उर्जा किसे कहते हैं?
8. यदि केशनली का व्यास दुगुना कर दे तो नली में जल स्तम्भ की ऊँचाई पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

उत्तरमाला

1. द्रव का मुक्त पृष्ठ एक खींची हुई रबड़ की झिल्ली की तरह व्यवहार करता है जिसकी प्रकृति 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 हैं।
2. द्रव के पृष्ठ पर खींची गई एकांक लम्बाई की काल्पनिक रेखा पर, रेखा के लम्बवत् पृष्ठ के अनुदिश लगने वाले बल को पृष्ठ तनाव कहते हैं।
3. न्यूटन/मीटर (N/m) = जूल/मीटर² (J/m²)
4. दो समान अणुओं के मध्य लगने वाला अन्तराण्विक बल, संसजक बल कहलाता है।
5. दो असमान प्रकार के अणुओं के मध्य लगने वाला अन्तराण्विक बल आसंजक बल कहलाता है।
6. एक अणु अपने चारों ओर के अणुओं पर जितनी दूरी तक आकर्षण बल लगाता है, आणविक परास कहलाती है।
7. द्रव के पृष्ठ का क्षेत्रफल बढ़ाने के लिए कार्य करना पड़ता है यह कार्य पृष्ठ में स्थितिज उर्जा के रूप में संचित हो जाता है। एकांक क्षेत्रफल में संचित इस उर्जा को पृष्ठ उर्जा कहते हैं।
8. केशनली का व्यास दुगुना करने पर जल स्तम्भ की ऊँचाई आधी रह जायेगी।

क्रियाकलाप – 3

उद्देश्य

एक ही राशि को मापने वाले दो विभिन्न अल्पतमांक वाले मापन यंत्रों की सहायता से यथार्थता एवं परिशुद्धता की तुलना करना।

उपकरण

दो विभिन्न अल्पतमांक वाले उपकरण यथा अल्प लम्बाई के मापन हेतु सामान्य स्केल व वर्नियर केलिपर्स, एक समरूप एवं ज्ञात अल्प व्यास (जिसे उपलब्ध दोनों उपकरणों द्वारा आसानी से मापा जा सके) का गोला (यदि व्यास ज्ञात नहीं है तो शिक्षक उपलब्ध अधिकतम विभेदन क्षमता वाले उपकरण से नियमानुसार गोले का व्यास ज्ञात कर इसे ज्ञात व्यास (मानक व्यास) के मान के रूप में प्रयोग करें।), समतल सतह के दो लकड़ी के गुटके इत्यादि।

(धातु का गोला उपलब्ध न होने पर अन्य उपलब्ध कोई वस्तु भी समान प्रक्रिया के साथ प्रयुक्त कर सकते हैं।)

उपकरण का वर्णन

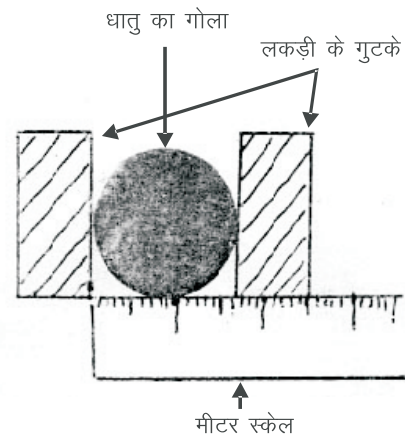
मीटर स्केल हम सामान्यतः प्रयोग में लाते हैं। वर्नियर केलिपर्स लम्बाई मापने का उपकरण है जिसमें एक स्थिर पैमाना व एक चलायमान पैमाना होता है जो स्थिर पैमाने पर फिसलते हुए गति कर सकता है। इससे अल्प लम्बाई का मापन करते हैं। साथ ही इसके अल्पतमांक के अनुरूप ही इससे न्यूनतम मान ज्ञात कर सकते हैं।

सिद्धांत

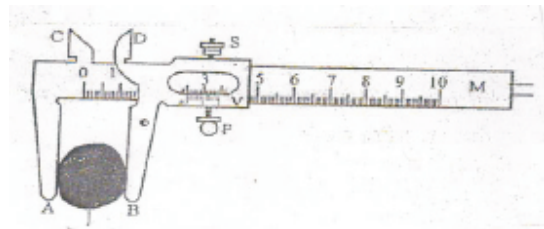
अल्पतमांक – किसी उपकरण द्वारा मापा जा सकने वाला न्यूनतम पाठ्यांक ही उसका अल्पतमांक कहलाता है। सामान्यतः मीटर स्केल हेतु अल्पतमांक 0.1 cm होता है व वर्नियर केलिपर्स हेतु 0.01 cm होता है। (उपकरण के अनुसार अल्पतमांक अलग भी हो सकते हैं।)

यथार्थता – मापा गया मान ज्ञात मान के कितना निकट है यह दर्शाने वाला गुण ही यथार्थता है अर्थात् यदि प्रायोगिक मान ज्ञात मान के अधिक निकट है तो वह अधिक यथार्थ होगा तथा दूर है तो कम यथार्थ होगा।

परिशुद्धता – एक ही भौतिक राशि के मापन में प्राप्त अलग-अलग प्रायोगिक मानों में अन्तर को दर्शाने वाला गुण ही परिशुद्धता है अर्थात् यदि प्रायोगिक मानों में अन्तर कम है तो परिशुद्धता अधिक होगी तथा



चित्र 3.1 मीटर स्केल से गोले का व्यास ज्ञात करना



चित्र 3.2 वर्नियर केलिपर्स से गोले का व्यास ज्ञात करना

अन्तर अधिक है तो परिशुद्धता कम होगी। साथ ही परिशुद्धता यह भी बताती है कि वह राशि किस विभेदन सीमा तक मापी गई है।

इस प्रयोग में परिशुद्धता के निर्धारण हेतु हम प्रतिशत त्रुटि की गणना करते हैं जो कि प्रत्येक उपकरण द्वारा प्राप्त विभिन्न आंकड़ों हेतु की जाती है। जिस उपकरण से प्राप्त आंकड़ों हेतु प्रतिशत त्रुटि का मान कम है वह उपकरण एवं उससे प्राप्त आंकड़े अधिक परिशुद्ध होंगे।

प्राप्त प्रायोगिक मानों के आधार पर प्रयुक्त दोनों उपकरणों में से किसी एक उपकरण से ही प्राप्त परिणाम यथार्थ एवं परिशुद्ध अथवा एक उपकरण से यथार्थ एवं दूसरे उपकरण से परिशुद्ध परिणाम प्राप्त हो सकते हैं एवं उसके अनुरूप ही प्रायोगिक मानों एवं उपकरण की यथार्थता एवं परिशुद्धता का निर्धारण होता है।

विधि

1. सर्वप्रथम दो गुटकों के मध्य चित्रानुसार गोले को स्थिर करके सामान्य मीटर स्केल से उसका व्यास ज्ञात करते हैं। इस प्रकार उसे (गोले को) अलग-अलग दिशाओं में घुमाकर गुटकों के बीच स्थिर करके उसके व्यास हेतु लगभग पाँच पाठ्यांक नोट करते हैं।
2. पुनः उस गोले का व्यास वर्नियर केलिपर्स की सहायता से सारणी के अनुसार पाठ्यांक लेते हुए ज्ञात करते हैं। वर्नियर केलिपर्स की सहायता से भी गोले को घुमाते हुए विभिन्न स्थितियों में व्यास हेतु लगभग पाँच पाठ्यांक नोट करते हैं।

प्रेक्षण

व्यास का मानक मान = cm

वर्नियर केलिपर्स का अल्पमतांक = cm (वर्नियर केलिपर्स हेतु)

शून्यांक त्रुटि = \pm cm (वर्नियर केलिपर्स हेतु)

सारणी 1 : मीटर स्केल द्वारा मापा गया व्यास

क्र. सं.	विभिन्न स्थितियों में गोले का व्यास d cm	माध्य व्यास $d_{\text{माध्य}}$ cm	निरपेक्ष त्रुटि Δd cm	माध्य निरपेक्ष त्रुटि $\Delta d_{\text{माध्य}}$ cm	प्रतिशत त्रुटि δd
1	$d_1 =$		$|d_1 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d_1|$		
2	$d_2 =$	$d_{\text{माध्य}} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5}$	$|d_2 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d_2|$	$\Delta d_{\text{माध्य}} = \frac{|\Delta d_1| + |\Delta d_2| + |\Delta d_3| + |\Delta d_4| + |\Delta d_5|}{5}$	$\delta d = \frac{\Delta d_{\text{माध्य}}}{d_{\text{माध्य}}} \times 100$
3	$d_3 =$		$|d_3 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d_3|$		
4	$d_4 =$		$|d_4 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d_4|$		
5	$d_5 =$		$|d_5 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d_5|$		

सारणी 2 : वर्नियर केलिपर्स द्वारा मापा गया व्यास

क्र. सं.	प्रधान पैमाने का पादयांक (a) cm	संपाती चिह्न अल्पमांक (b) cm	कुल पादयांक (a+b) cm	व्यास $d =$ संशोधित पादयांक = कुल पादयांक $-(\pm$ शून्यांक त्रुटि) cm	माध्य व्यास $d_{\text{माध्य}}$ cm	निरपेक्ष त्रुटि Δd cm	माध्य निरपेक्ष त्रुटि $\Delta d_{\text{माध्य}}$ cm	प्रतिशत त्रुटि δd
1				$d_1 =$	$d_{\text{माध्य}} = d_1 +$	$|d_1 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d|$	$\Delta d_{\text{माध्य}} = \frac{|\Delta d| + |\Delta d| + |\Delta d| + |\Delta d| + |\Delta d|}{5}$	$\delta d = \frac{\Delta d_{\text{माध्य}}}{d_{\text{माध्य}}} \times 100$
2			$d_2 =$	$d_2 + d_3 +$	$|d_2 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d|$			
3			$d_3 =$	$d_4 + d_5$	$|d_3 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d|$			
4			$d_4 =$	5	$|d_4 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d|$			
5			$d_5 =$		$|d_5 - d_{\text{माध्य}}| = |\Delta d|$			

गणना

आवश्यक प्रेक्षण लेकर सारणी में दर्शाये अनुसार गणनाएं करते हैं एवं प्रत्येक उपकरण द्वारा प्राप्त माध्य व्यास एवं अलग-अलग उपकरणों से प्राप्त प्रेक्षणों में प्रतिशत त्रुटि की गणना करते हैं।

परिणाम

दोनों उपकरणों से प्राप्त व्यास के माध्य मान की व्यास के मानक मान से तुलना कर निष्कर्ष निकालते हैं कि कौनसे उपकरण द्वारा प्राप्त मान एवं उपकरण अधिक यथार्थ है। साथ ही परिकलित की गई प्रतिशत त्रुटि के आधार पर विभिन्न उपकरणों से प्राप्त आंकड़ों एवं उपकरण हेतु परिशुद्धता का निर्धारण करते हैं। इन निष्कर्षों को ही हम परिणाम के रूप में व्यक्त करते हैं।

सावधानियाँ

1. प्रेक्षण हेतु गोले के व्यास का मान ज्ञात होना चाहिये एवं इसे प्रयोग में प्रयुक्त उपकरणों के अतिरिक्त उपलब्ध अन्य उपकरण द्वारा ज्ञात करना चाहिए।
2. गोला समरूप होना चाहिये अर्थात् गोले की स्थितियां बदलने पर उसका व्यास नहीं बदलना चाहिये।
3. प्रेक्षण लेते समय गोला हिलना नहीं चाहिये।
4. प्रेक्षण लेते समय दृष्टि लम्बवत् रखनी चाहिए।
5. प्रेक्षण लेते समय वर्नियर केलिपर्स के जबड़ों की स्थिति गोले के व्यास के स्थान पर होनी चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. अल्पतमांक किसे कहते हैं?
2. सामान्यतः प्रयोग में आने वाले स्केल का अल्पतमांक कितना होता है?
3. सामान्यतः वर्नियर केलिपर्स का अल्पतमांक कितना होता है?
4. यथार्थता क्या है?
5. परिशुद्धता क्या है?

उत्तरमाला

1. किसी उपकरण द्वारा मापा जा सकने वाला न्यूनतम मान उसका अल्पतमांक कहलाता है।
2. 0.1 cm
3. 0.01 cm
4. कोई प्रायोगिक मान उसके वास्तविक मान के कितना निकट है इसे बताने वाला माप यथार्थता है।
5. परिशुद्धता यह बताती है कि एक भौतिक राशि के मापन में प्राप्त विभिन्न प्रायोगिक मानों में कितना अन्तर है, (अन्तर अधिक है तो परिशुद्धता कम एवं अन्तर कम है तो परिशुद्धता अधिक होती है) एवं राशि किस विभेदन सीमा तक मापी गई है।

क्रियाकलाप - 4

उद्देश्य

एक द्विधात्विक पट्टी पर उष्मा के प्रभाव का प्रेक्षण करना एवं व्याख्या करना।

उपकरण

एक लोहे-पीतल की द्विधातुक पट्टिका (लकड़ी के हथ्थे सहित), विद्युत हीटर या बर्नर आदि।
उपकरण का वर्णन

द्विधातुक पट्टिका दो भिन्न धातुओं की परन्तु समान आकार की पट्टिकाओं से बनी होती है। ये दोनों धातु की पट्टिकाएं परस्पर चित्रानुसार रिबिट द्वारा जुड़ी होती है। इनका हथ्था लकड़ी का बना होता है जो कि एक सिरे पर द्विधातुक पट्टिका पर लगा होता है। द्विधातुक पट्टिका के लिए ऐसी धातुओं का चयन करते हैं कि जिनका रेखीय प्रसार गुणांक बहुत अधिक भिन्न हो।

सिद्धांत

द्विधातुक पट्टिका कमरे के ताप पर सीधी होती है। परन्तु गर्म करने पर उसकी धातुओं के रेखीय प्रसार भिन्न-भिन्न होने के कारण वह मुड़ जाती है।

यदि t_1 ताप पर किसी छड़ की लम्बाई l_1 है तो उसकी लम्बाई में वृद्धि उसकी प्रारंभिक लम्बाई एवं तापान्तर के अनुक्रमानुपाती होती है अतः

$$l_2 - l_1 \propto l_1(t_2 - t_1)$$

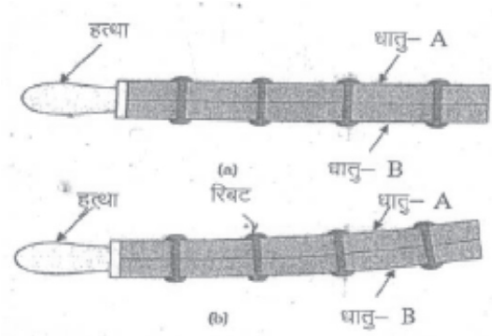
$$\text{या } l_2 - l_1 = \alpha l_1(t_2 - t_1) \quad \text{जहां}$$

α = अनुपातिक स्थिरांक = रेखीय प्रसार गुणांक

$$\text{या } \alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} \quad \text{यदि } t_2 - t_1 = 1 \text{ व } l_1 = \text{इकाई}$$

$$\text{तो } \alpha = l_2 - l_1$$

अर्थात् एकांक लम्बाई की छड़ के ताप में एकांक वृद्धि करने पर उसकी लम्बाई में हुई वृद्धि उस



चित्र 4.1 द्विधातु पट्टिका
(a) सीधी (b) मुड़ी हुई

पदार्थ का रेखीय प्रसार गुणांक कहलाती है। इसका मात्रक प्रति केल्विन (K^{-1}) है।

विधि

1. बर्नर या हीटर चालू करके द्विधात्विक छड़ को क्षैतिज अवस्था में पकड़कर गर्म करते हैं तथा यह

- नोट करते हैं कि कौनसी धातु की पट्टी प्रत्यक्ष रूप से उष्मा के सम्पर्क में है।
2. गर्म होती द्विधातुक पट्टिका को प्रेक्षित कर नोट करें कि उसका मुक्त सिरा उपर या नीचे की ओर मुड़ता है।
 3. जिस धातु का रेखीय प्रसार गुणांक अधिक होगा उसकी सतह उत्तल एवं जिस धातु का रेखीय प्रसार गुणांक कम है उसकी सतह अवतल होगी।
 4. सारणी से दोनों धातुओं के रेखीय प्रसार गुणांक नोट करें एवं सत्यापित करें कि अधिक रेखीय प्रसार गुणांक वाली धातु की सतह उत्तल एवं कम रेखीय प्रसार गुणांक वाली धातु की सतह अवतल है।

सारणी
कुछ पदार्थों हेतु रेखीय प्रसार गुणांक

पदार्थ	$\alpha (10^{-5}k^{-1})$
एल्यूमिनियम	2.5
पीतल	1.8
लोहा	1.2
तांबा	1.7
चांदी	1.9
सोना	1.4
काँच (पायरेक्स)	0.32
लैड (सीसा)	0.29

5. द्विधातुक छड़ को उष्मा के स्रोत से हटाकर कमरे के ताप तक ठण्डा होने दें।
6. उपरोक्त पद एक से पाँच पुनः द्विधातुक पट्टिका की दूसरी सतह के लिये दोहरायें एवं द्विधातुक छड़ के मुड़ने की क्रिया को प्रेक्षित करें।

प्रेक्षण

उक्त प्रयोग में हम प्रेक्षित करते हैं कि हमेशा पीतल की सतह उत्तल व लोहे की सतह अवतल होती है।

गणना

सारणी से उक्त प्रयोग हेतु लोहे का रेखीय प्रसार गुणांक $1.2 \times 10^{-5}K^{-1}$ व पीतल का रेखीय प्रसार गुणांक $1.8 \times 10^{-5}K^{-1}$ है अतः पीतल का रेखीय प्रसार गुणांक अधिक होने के कारण पीतल की सतह उत्तल व लोहे की सतह अवतल होगी

$$\alpha_{\text{पीतल}} > \alpha_{\text{लोहा}}$$

परिणाम

धातुओं में उष्मा के कारण प्रसार होता है तथा यह अलग-अलग धातु हेतु अलग-अलग होता है तथा इसी कारण से दो भिन्न रेखिक गुणांक वाली द्विधातुक छड़ को उष्मा देने पर वह मुड़ जाती है।

सावधानियाँ

1. द्विधातुक पट्टिका को उच्च ताप पर गर्म किया जाना चाहिये।
2. द्विधातुक पट्टिका में किस धातु की पट्टी किस ओर मुड़ रही है यह ध्यान से प्रेक्षित करना चाहिये।
3. दोनों पट्टियाँ रिबिट द्वारा भली भाँति जुड़ी होनी चाहिये।
4. द्विधातुक पट्टी के प्रत्येक भाग को समान रूप से उष्मा देनी चाहिये।

मौखिक प्रश्न

1. उष्मीय प्रसार को परिभाषित करो।
2. उष्मा से पदार्थ के प्रसार का कारण क्या है?
3. क्या सभी पदार्थों में प्रसार का मान समान होता है?
4. रेखीय प्रसार किसे कहते हैं?
5. रेखीय प्रसार गुणांक की परिभाषा दो।
6. रेखीय प्रसार गुणांक का मात्रक क्या है?

उत्तरमाला

1. ताप वृद्धि के कारण किसी पदार्थ की माप में होने वाले प्रसार को उष्मीय प्रसार कहते हैं।
2. उष्मा उर्जा से पदार्थ के अणुओं का कम्पन आयाम बढ़ता है अतः पदार्थ में प्रसार होता है।
3. नहीं।
4. उष्मा देने पर लम्बाई के अनुदिश वृद्धि को रेखीय प्रसार कहते हैं।
5. एकांक लम्बाई की छड़ में तापन के परिणामस्वरूप ताप में एकांक वृद्धि के कारण लम्बाई में हुई वृद्धि उस पदार्थ का रेखीय प्रसार गुणांक कहलाती है।
6. प्रति केल्विन (K^{-1})

क्रियाकलाप – 5

उद्देश्य

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

(i) भार मीटर स्केल के एक सिरे पर आरोपित हो

उपकरण

दो मीटर स्केल (कैटी लीवर के रूप में), कसने के लिए क्लैम्प, हैंगर, आवश्यकतानुसार 10, 20, 50 ग्राम के बाट, धागा, आलपिन, सैलो टेप आदि।

उपकरण का वर्णन

चित्रानुसार उपरोक्त उपकरण में एक मीटर स्केल का एक सिरा, क्लैम्प की सहायता से क्षैतिज तल में क्षैतिज रूप से कसा हुआ रहता है तथा दूसरा सिरा स्वतंत्र रहता है जो उर्ध्व गति कर सकता है तथा इस स्वतंत्र सिरे पर एक हैंगर तथा आलपिन सैलो टेप की सहायता से चिपकी हुई रहती है। दूसरी मीटर स्केल उर्ध्व रूप से एक अन्य स्टैंड पर कसी हुई रहती है जिससे स्केल में भार लटकाने के परिणाम स्वरूप उत्पन्न अवनमन को मापा जाता है।

सिद्धान्त

केन्टीलीवर जिसकी लम्बाई ℓ है के एक सिरे को कसकर दूसरे मुक्त सिरे को भारित करने पर अवनमन (भार के परिणाम स्वरूप स्केल का झुकाव)

$$\delta = \frac{Mg\ell^3}{3YI_g}$$

$$\delta = \frac{Mg\ell^3}{3Y\left(\frac{bd^3}{12}\right)} = \frac{4Mg\ell^3}{Ybd^3}$$

जहाँ M = मीटर स्केल का द्रव्यमान

g = गुरुत्वीय त्वरण

Y = छड़ के पदार्थ का यंग प्रत्यास्थता गुणांक

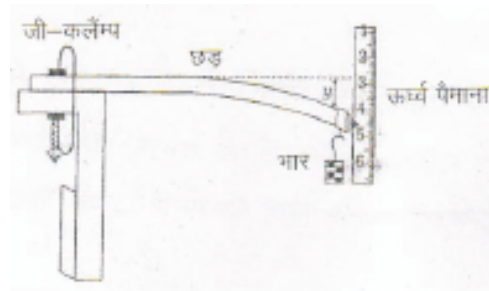
$$I_g = \text{स्केल का ज्यामितीय जड़त्व आघूर्ण} = \frac{bd^3}{12}$$

जहाँ b = स्केल की चौड़ाई

d = स्केल की मोटाई

केन्टीलीवर पर भार का अध्ययन करने हेतु δ के सूत्र में अन्य सभी नियत रखने पर

$$\delta \propto M$$



चित्र 5.1 मीटर स्केल के सिरे पर आरोपित भार

अर्थात् मीटर पैमाने के मुक्त सिरे पर निलंबित भार के मान व अवनमन परिवर्तन के मध्य रैखिक सम्बन्ध होता है।

विधि

1. क्लैम्प का प्रयोग कर मीटर पैमाने को प्रायोगिक मेज के किनारे से मजबूती से इस प्रकार कसते हैं कि पैमाने की लम्बाई, चौड़ाई क्षैतिज तल में हो और लगभग 90 cm लम्बाई बाहर निकली हुई हो। स्टैण्ड पर दूसरे मीटर पैमाने को उर्ध्व रूप से कसते हैं जिससे अवनमन ज्ञात किया जाता है।
2. क्षैतिज मीटर पैमाने के दूसरे मुक्त सिरे पर धागे का एक पाश कस कर बाँधते हैं व पाश के नीचे एक आलपिन लगाते हैं व इसे सेलोटैप की सहायता से स्थिर कर देते हैं जिससे वह संकेतक के रूप में कार्य करती है तथा कैंटिलीवर के रूप में प्रयुक्त मीटर पैमाने पर कोई भार न होने की स्थिति में संकेतक द्वारा प्रदर्शित पाठ्यांक l_0 नोट करते हैं।
3. कैंटिलीवर के मुक्त सिरे पर अवनमन उत्पन्न करने के लिए 50 ग्राम का एक हेंगर लटकाते हैं जिस पर खांचेदार बाट रखे जा सकते हैं। यदि बाट रखने पर वजन अधिक होने के कारण अवनमन ज्यादा हो तो आवश्यकतानुसार 10, 20 ग्राम के बाट प्रयोग में लाते हैं।
4. उर्ध्वाधर पैमाने पर प्रत्येक भार हेतु पाठ्यांक लेते हैं तथा इस प्रकार भार में वृद्धि करते हुए 6-7 प्रेक्षण लेते हैं तथा पुनः धीरे-धीरे हेंगर से बाट हटाते जाते हैं तथा प्रत्येक बार बाट हटने के पश्चात् संकेतक के स्थिर हो जाने पर उसका उर्ध्व पैमाने का पाठ्यांक नोट करते हैं। इस प्रकार हमें प्रत्येक भार हेतु दो पाठ्यांक प्राप्त होते हैं। फिर उनका औसत निकालकर प्रत्येक भार हेतु अवनमन ज्ञात कर अवनमन तथा आरोपित भार में ग्राफ खींचते हैं।

प्रेक्षण

कैंटिलीवर की लम्बाई $l = \dots\dots\dots\text{cm}$

कैंटिलीवर की चौड़ाई $b = \dots\dots\dots\text{cm}$

कैंटिलीवर की मोटाई $d = \dots\dots\dots\text{cm}$

कैंटिलीवर का बिना भार के पाठ्यांक $l_0 = \dots\dots\dots\text{cm}$

क्र.सं.	स्केल पर भार (g)	पैमाने के मुक्त सिरे का पाठ्यांक		माध्य $l = \frac{l_1 + l_2}{2}$ (cm)	अवनमन $\delta = l - l_0$ (cm)
		जब भार बढ़ाते हैं l_1 (cm)	जब भार घटाते हैं l_2 (cm)		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

गणना

प्रत्येक आरोपित भार हेतु भार तथा संगत अवनमन में ग्राफ खींचते हैं जो कि चित्रानुसार एक सरल रेखा प्राप्त होती है।

परिणाम

अवनमन तथा आरोपित भार के मध्य आलेख एक सरल रेखा प्राप्त होती है। इससे यह सिद्ध होता है कि अवनमन आरोपित भार के अनुक्रमानुपाती होता है अर्थात्

$$\delta \propto M$$

सावधानियाँ

1. प्रारंभ में बिना भार लटकाये प्रेक्षण लेना चाहिये क्योंकि मीटर पैमाने के स्वयं के भार से भी अवनमन हो सकता है।
2. छड़ (पैमाने) को प्रत्यास्थता सीमा से अधिक भारित नहीं करना चाहिये।
3. पाठ्यांक लेते समय पैमाने में (छड़ में) कोई कम्पन गति नहीं होनी चाहिये।
4. बाटों को हटाते समय पाठ्यांक दोहराने चाहिये।
5. पाठ्यांक नोट करते समय दृष्टि संकेतक पिन व उर्ध्व पैमाने के लम्बवत् होनी चाहिये।
6. मीटर पैमाने को क्लैम्प द्वारा दृढ़तापूर्वक कसना चाहिये।
7. संकेतक पिन उर्ध्व पैमाने पर छूनी नहीं चाहिये।

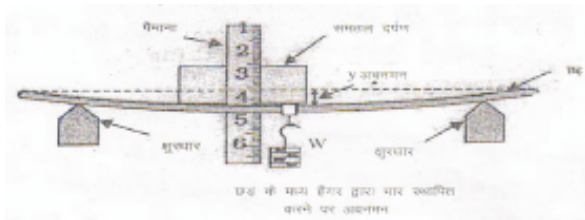
(ii) मीटर पैमाने का झुकाव (अवनमन) जबकि भार उसके मध्य में आरोपित हो

उपकरण

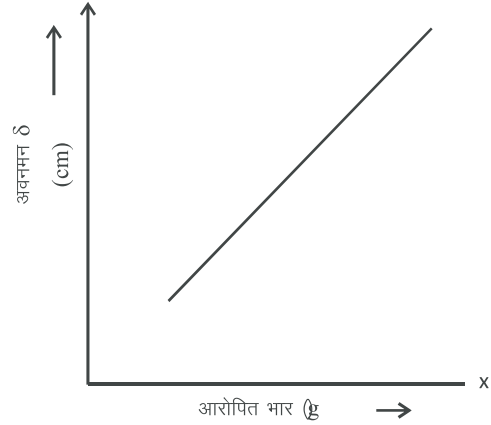
मीटर पैमाना, मीटर पैमाने को टिकाने हेतु दो तीक्ष्ण क्षुरधार, हैंगर, धागा, खांचेदार 10, 20, 50, 100, 200 g के बाट, समतल दर्पण, अन्य मीटर पैमाना व उसे कसने हेतु स्टैण्ड, संकेतक व प्लैस्टिसिन आदि।

उपकरण का वर्णन

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



चित्र 5.3 : छड़ के मध्य हैंगर द्वारा भार स्थापित करने पर अवनमन



चित्र 5.2 आरोपित भार व अवनमन के मध्य आलेख

सिद्धान्त

जब ℓ लम्बाई, b चौड़ाई व d मोटाई की छड़ (मीटर पैमाना) को क्षुरधार पर टिका कर मध्य में हैंगर से भार w लटकाते हैं तो अवनमन

$$\delta = \frac{Mg\ell^3}{48YI_g} \text{ जहां } M \text{ द्रव्यमान, } I_g = \frac{bd^3}{12}$$

$$\text{अतः } \delta = \frac{Mg\ell^3}{4Ybd^3}$$

उपरोक्त में भार के अतिरिक्त अन्य सभी नियत रखने पर

$$\delta \propto M$$

अर्थात् मीटर पैमाने के मध्य निलंबित भार व अवनमन के मध्य रैखिक सम्बन्ध होता है।

विधि

1. मीटर पैमाने (छड़) की लम्बाई, चौड़ाई और मोटाई माप लेते हैं तथा मीटर व पैमाने को दो क्षुरधार पर इस प्रकार टिकाते हैं कि लगभग 10 cm भाग दोनों ओर से बाहर निकला रहे।
2. छड़ के मध्य धागे का पाश बांधकर उससे हैंगर लटका देते हैं।
3. छड़ के रूप में प्रयुक्त क्षैतिज मीटर स्केल के पीछे एक अन्य मीटर स्केल को स्टैण्ड पर उर्ध्वाधर कर व्यवस्थित करते हैं।
4. छड़ के रूप में प्रयुक्त मीटर पैमाने के पीछे एक समतल दर्पण पट्टिका को एक तिपाई पर प्लैस्टिसिन की सहायता से लगाते हैं। यदि कोई लम्बन (Parallax) त्रुटि हो तो उसे दूर कर लेते हैं।
5. हैंगर से भार लटकाकर क्रमिक रूप से भार बढ़ाते हुए अवनमन हेतु पाठ्यांक नोट करते हैं व लगभग 7-8 प्रेक्षण नोट करते हैं तथा इन्हें भार (बाट) हटाते हुए भी क्रमिक रूप से पाठ्यांक नोट करते हैं। फिर दोनों पाठ्यांकों का औसत निकाल कर प्रत्येक भार हेतु अवनमन ज्ञात कर अवनमन तथा आरोपित भार के मध्य ग्राफ खींचते हैं।

प्रेक्षण

मीटर स्केल की चौड़ाई = cm

मीटर स्केल की मोटाई = cm

क्षुरधारों के बीच की दूरी cm

भार लटकाने से पूर्व मध्य बिन्दु का पाठ्यांक, $\ell_0 = \dots\dots\dots\text{cm}$

क्र.सं.	हैंगर पर भार (g)	मीटर स्केल के मध्य बिन्दु का पाठ्यांक			अवनमन $\delta = l - l_0$ (cm)
		जब भार बढ़ाते हैं (cm)	जब भार घटाते हैं l_2 (cm)	माध्य $l = \frac{l_1 + l_2}{2}$ (cm)	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

गणना

प्रत्येक आरोपित भार हेतु भार तथा संगत अवनमन में ग्राफ खींचते हैं जो कि चित्रानुसार एक सरल रेखा प्राप्त होती है।

परिणाम

अवनमन तथा आरोपित भार के मध्य आलेख एक सरल रेखा प्राप्त होती है। इससे यह सिद्ध होता है कि अवनमन आरोपित भार के अनुक्रमानुपाती होता है

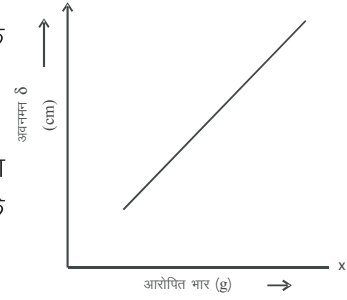
$$\text{अर्थात् } \delta \propto M$$

सावधानियाँ

1. मीटर पैमाना क्षुरधार पर स्थित होना चाहिये।
2. बाटों को धीरे-धीरे रखना या हटाना चाहिये।
3. लटकाया गया भार प्रत्यास्थता सीमा के अन्दर होना चाहिये।
4. मीटर स्केल के पाठ्यांक नोट करते समय दर्पण पट्टी का उपयोग करना चाहिये जिससे लम्बन दोष के कारण उत्पन्न त्रुटि को दूर किया जा सके।

मौखिक प्रश्न

1. क्या दण्ड में कुछ ऐसे तंतु भी होते हैं जो न तो विस्तारित होते हैं और न ही संपीडित?
2. वे कहाँ अवस्थित होते हैं?
3. प्रयुक्त समकोणीय दण्ड के ज्यामितीय जड़त्व आघूर्ण का व्यंजक क्या है?
4. उदासीन संस्तर के संदर्भ में विस्तारित व संकुचित तंतु कहाँ अवस्थित होते हैं?
5. मुड़ी हुई धरन के अनुदिश वक्रता में किस प्रकार परिवर्तन होता है?
6. मुड़ी हुई धरन के अनुदिश वक्रता त्रिज्या किस प्रकार परिवर्तित होती है?
7. बेलनाकार दण्ड हेतु I_g का मान क्या होता है?
8. धरन के अनुप्रस्थ परिच्छेद के ज्यामितीय जड़त्व आघूर्ण से आप क्या समझते हैं?



चित्र 5.4 आरोपित भार व अवनमन के मध्य आलेख

उत्तरमाला

1. हाँ, दण्ड में कुछ तंतु ऐसे होते हैं जिनमें कोई विकृति उत्पन्न नहीं होती है।
2. वे उदासीन सतह में अवस्थित होते हैं।
3. $I_g = \frac{bd^3}{12}$ जहाँ $b =$ दण्ड की चौड़ाई, $d =$ दण्ड की मोटाई है।
4. विस्तारित होने वाले तंतु मुड़ी हुई धरन के बाहर की ओर तथा संकुचित होने वाले तंतु मुड़ी हुई धरन के भीतर की ओर अवस्थित होते हैं।
5. वक्रता मध्य में न्यूनतम तथा सिरों की ओर बढ़ती जाती है।
6. वक्रता त्रिज्या धरन के मध्य में अधिकतम होती है और सिरों की ओर कम होती जाती है।
7. $I_g = \frac{\pi r^2}{4}$ जहाँ $r =$ त्रिज्या
8. यह जड़त्व आघूर्ण के सदृश एक राशि है जिसमें द्रव्यमान के स्थान पर धरन के अनुप्रस्थ परिच्छेद के क्षेत्रफल का प्रयोग किया जाता है।

क्रियाकलाप – 6

उद्देश्य

किसी पात्र में द्रव को गर्म करने पर उसके तल में परिवर्तन को नोटकर प्रेक्षणों की व्याख्या करना।

उपकरण

गोल पेंदे का फ्लास्क, एक पतली केशिका नली, ग्लिसरीन, गर्म पानी, तापमापी, स्टैंड, रबर कॉर्क, इत्यादि।

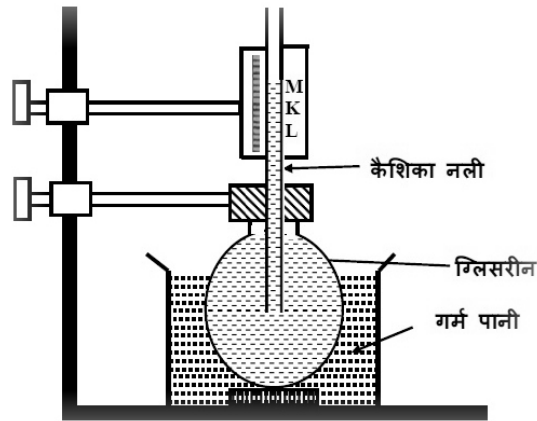
सिद्धान्त

किसी पात्र में द्रव को गर्म करते हैं तो द्रव व पात्र दोनों गर्म होते हैं व उनका प्रसार होता है अतः

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

अर्थात् द्रव में दो प्रकार के प्रसार होते हैं।

चित्र



विधि

1. चित्रानुसार प्रायोगिक व्यवस्था में एक 500 ml क्षमता का गोल पेंदे के फ्लास्क में ग्लिसरीन लेकर उसके मुँह पर एक पतली केशिका नली (20 cm लम्बी व 2 mm आन्तरिक व्यास) को कार्क से लगाते हैं तथा चित्रानुसार एक स्केल भी लगाते हैं।
2. अब उक्त प्लास्क को गर्म पानी में रखते हैं। इस वक्त ग्लिसरीन के तल का पाठयांक नोट करते रहते हैं।

परिणाम

हम देखते हैं कि पहले ग्लिसरीन का तल अपने प्रारंभिक पाठयांक (K) से नीचे बिंदु L तक गिरता है व फिर ऊँचा उठकर बिन्दु K को लांघकर बिन्दु M तक पहुँच जाता है इसका कारण यह है कि जल द्वारा ऊष्मा पहले काँच को प्राप्त होती है जिससे फ्लास्क के काँच का प्रसार होता है व तल K बिन्दु से नीचे गिरकर बिन्दु L तक पहुँचता है फिर ऊष्मा ग्लिसरीन द्रव तक पहुँचती है जिससे द्रव का प्रसार होता है व पाठयांक बिन्दु M तक पहुँचता है अतः ग्लिसरीन द्रव का वास्तविक प्रसार निम्नलिखित होगा—

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

$$ML = KM + KL$$

सावधानियाँ

1. द्रव का क्वथनांक अधिक होना चाहिए जिससे वाष्पन की क्रिया न हो तथा द्रव का वास्तविक प्रसार ज्ञात किया जा सके।
2. केशिका नली पतली व संकीर्ण होनी चाहिए।
3. पाठयांक सावधानीपूर्वक लेना चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. प्रयोग में ताप बढ़ाने पर केशिका नली का पाठयांक नीचे क्यों गिरता है ?
2. पाठयांक कुछ देर बाद उपर क्यों उठता है?
3. क्या उक्त प्रयोग पानी से किया जा सकता है ?
4. द्रव में वास्तविक प्रसार का आभासी प्रसार में सम्बंध लिखिये ।
5. फ्लास्क को गर्म करने पर किसका प्रसार पहले होता है द्रव का या फ्लास्क का ।

उत्तरमाला

1. पहले ऊष्मा काँच के फ्लास्क को मिलने से उसमें प्रसार होता है व पाठयांक नीचे गिरता है।
2. द्रव में प्रसार के कारण।
3. हाँ।
4. द्रव का वास्तविक प्रसार = द्रव का आभासी प्रसार + पात्र का प्रसार ।
5. फ्लास्क का ।

क्रियाकलाप - 7

उद्देश्य

किसी द्रव की ऊष्मा क्षति की दर को प्रभावित करने वाले कारकों का अध्ययन करना।

उपकरण

ढक्कन सहित दो कैलोरीमापी A व B तथा तीसरा कैलोरीमापी C जिसका आन्तरिक व्यास A व B का लगभग दुगुना हो, दो तापमापी, विराम घड़ी, बर्नर, पानी को गर्म करने हेतु पात्र, स्टेण्ड इत्यादि।

सिद्धान्त

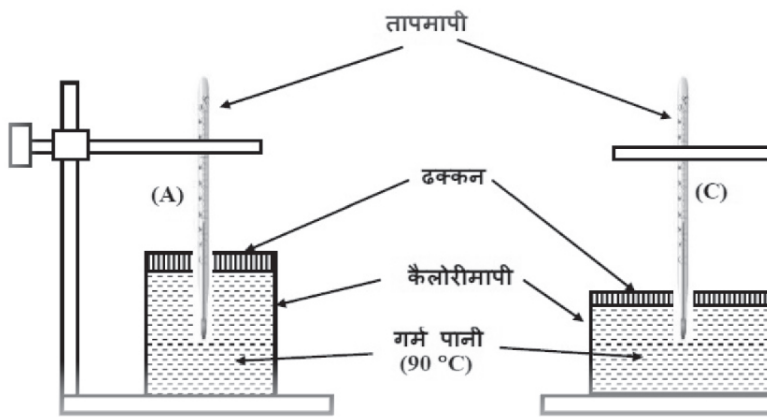
किसी गर्म वस्तु को कम ताप के वातावरण के सम्पर्क में लाने पर उसमें ऊष्मा क्षति होती है। अब यदि m द्रव्यमान की वस्तु जिसकी विशिष्ट ऊष्मा s है और dT तापान्तर में dQ ऊष्मा क्षति होने में dt समय लगता है तब

$$\frac{dQ}{dt} = m s \frac{dT}{dt}$$

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

- (अ) ऊष्मा उत्सर्जित करने वाली वस्तु के मुक्त पृष्ठ (सतह) के क्षेत्रफल पर।
- (ब) ऊष्मा उत्सर्जित करने वाली वस्तु के मुक्त पृष्ठ की भौतिक प्रकृति पर।
- (स) ऊष्मा उत्सर्जित करने वाली वस्तु तथा वातावरण के तापान्तर पर।

चित्र



विधि

- (अ) ऊष्मा क्षति की दर वस्तु के मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल पर निर्भर करती हैं—

(1) प्रायोगिक व्यवस्था में लगे तापमापी का अल्पतमांक व कमरे के ताप का पाठयाक नोट करते हैं।

(2) प्रायोगिक व्यवस्थानुसार दो कैलोरीमापी A व C में अलग-अलग लगभग 90°C तक का 100 ml पानी लेकर तापमापी की सहायता से प्रत्येक 1 min पर पाठयाक नोट करते हैं। उक्त पाठयाक का अन्तराल बाद में 1 min से 2 min करते हैं।

(3) अब कैलोरीमापी A व C के लिए ताप का समय के साथ वक्र खींचते हैं जो चित्रानुसार प्राप्त होता है

जिसकी प्रवणता ऋणात्मक है जो यह प्रदर्शित करता है की ऊष्मा क्षति की दर वस्तु के मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल के समानुपाती होती है।

ग्राफ से स्पष्ट है कि कैलोरीमापी C के मुक्त पृष्ठ का क्षेत्रफल अधिक होने के कारण उसकी शीतलन की दर कैलोरीमापी A की तुलना से अधिक है।

(ब) ऊष्मा क्षति की दर वस्तु के मुक्त पृष्ठ के भौतिक प्रकृति पर निर्भर करती हैं—

(1) अब दो एक समान कैलोरीमापी A व B लेते हैं जिसमें A की बाहरी सतह चमकीली व B की बाहरी सतह को काली लेते हैं।

(2) अब इन दो कैलोरीमापी A व B में अलग-अलग लगभग 90°C का पानी लेकर समय के साथ तापमापी का पाठयाक नोट करते हैं तथा समय व ताप का वक्र खींचते हैं जो चित्रानुसार प्राप्त होता है

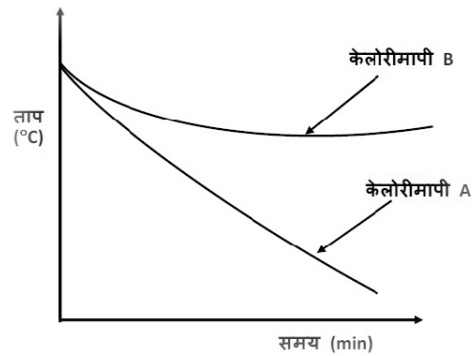
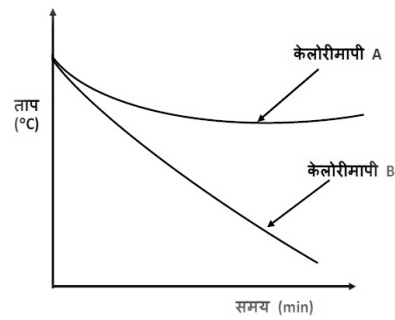
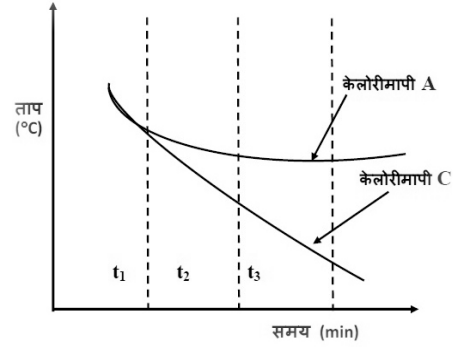
ग्राफ से स्पष्ट है कि काले बाहरी पृष्ठ वाले कैलोरीमापी में ऊष्मा क्षति तेजी से होती है जबकी चमकीली वाले में धीमी। अतः ऊष्मा क्षति की दर वस्तु के मुक्त पृष्ठ की भौतिक प्रकृति पर निर्भर करती है।

(स) ऊष्मा क्षति की दर ऊष्मा उत्सर्जन करने वाली वस्तु के आसपास के वातावरण के तापान्तर पर निर्भर करती है।

(1) दो कैलोरीमापी क्रमशः A में (90°C) व B (60°C) ताप पर 100 ml पानी लेकर समय के साथ ताप का पाठयाक नोट करते हैं।

(2) समय व तापमापी के मध्य वक्र खींचते हैं जो संलग्न चित्रानुसार प्राप्त होते हैं।

वक्र से स्पष्ट है कि शीतलन की दर A में



अधिक है क्योंकि वस्तु व वातावरण में तापान्तर अधिक है अतः ऊष्मा क्षति की दर आसपास के वातावरण पर निर्भर करती है ।

प्रेक्षण व प्रेक्षण सारणी (Observation and Observation Tables)

तापमापी का अल्पतमांक = °C

कमरे का ताप = °C

(अ) ऊष्मा क्षति की दर पर मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल का प्रभाव

क्र.स.	कैलोरीमापी A		कैलोरीमापी C	
	समय (min)	ताप (T_A) (°C)	समय (min)	ताप (T_C) (°C)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

(ब) ऊष्मा क्षति की दर पर मुक्त पृष्ठ की भौतिक प्रकृति का प्रभाव

क्र.स.	कैलोरीमापी A (चमकीली सतह)		कैलोरीमापी B (काली सतह)	
	समय (min)	ताप (T_A) (°C)	समय (min)	ताप (T_B) (°C)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

(स) ऊष्मा क्षति की दर पर वातावरण का प्रभाव

क्र.स.	कैलोरीमापी A (90 °C)		कैलोरीमापी B (60 °C)	
1.	समय (min)	ताप (T_A) (°C)	समय (min)	ताप (T_B) (°C)
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

परिणाम

उपरोक्त प्रेक्षणों व वक्रों से स्पष्ट हैं कि ऊष्मा क्षति की दर मुक्त पृष्ठ (सतह) के क्षेत्रफल, उसकी भौतिक प्रकृति व आसपास के वातावरण के ताप पर निर्भर करती हैं।

सावधानियां

1. प्रयोग के दौरान पानी को नहीं हिलाना चाहिए।
2. पाठ्यांक सावधानीपूर्वक लेना व ग्राफ में अधिक बिन्दुओं को लेना चाहिए।

मौखिक प्रश्न

1. किसी वस्तु की ऊष्मा क्षति की दर किन कारकों पर निर्भर करती है ?
2. ताप से क्या अभिप्राय है?
3. ऊष्मा से क्या अभिप्राय है?
4. ताप मापने के उपकरण को क्या कहते हैं?
5. आदर्श कृष्णिका क्या होती है ।
6. ऊष्मा व ताप में अन्तर स्पष्ट करो।
7. 1 cal कितने J के बराबर होता है।
8. ऊष्मापापी प्रायः तांबे के क्यों लेते हैं।
9. विशिष्ट ऊष्मा को परिभाषित कीजिए।

उत्तरमाला

1. वस्तु की ऊष्मा क्षति की दर वस्तु के मुक्त पृष्ठ के क्षेत्रफल, उसकी भौतिक प्रकृति तथा वस्तु के आसपास के वातावरण के ताप पर निर्भर करती है।
2. ताप किसी भी वस्तु की उष्णता का मापक होता है। ताप अधिक होने पर वस्तु अधिक उष्ण

- प्रतीत होती है वरन् ताप कम होने पर तुलनात्मक ठंडी प्रतीत होती है।
3. ऊष्मा ऊर्जा का ही एक स्वरूप है जो सदैव गतिशील है तथा जिसका एक निकाय से दूसरे निकाय अथवा एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानान्तरण होता है बशर्त दोनों निकाय अथवा वस्तु के ताप में अन्तर हो।
 4. तापमापी ।
 5. यदि कोई वस्तु अपने पृष्ठ पर आपतित विकिरणों का न तो परावर्तन करती है और न ही पारगमन अर्थात् वस्तु अपने पृष्ठ पर आपतित सभी तरंगदैर्घ्यों के विकिरणों का पूर्णतया अवशोषण करती है वह आदर्श कृष्णिका (Perfect Blackbody) कहलाती हैं।
 6. कोई वस्तु कितनी गर्म है इसका मापन ताप से करते हैं जबकि दो वस्तुओं के ताप में अंतर होने से गर्म वस्तु से ठण्डी वस्तु में ऊर्जा का स्थानान्तरण ऊष्मा है।
 7. 4.18 J
 8. चूंकि तांबे की विशिष्ट ऊष्मा कम होती है अतः ऊष्मामापी का ताप बढ़ाने पर बहुत कम ऊष्मा ऊष्मामापी द्वारा अवशोषित होती है तथा अधिकांश भाग द्रव के ताप वृद्धि में काम आता है।
 9. किसी पदार्थ के एक ग्राम का ताप एक डिग्री सेल्सियस बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा उस पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा कहलाती है। इसका मात्रक $\text{Jgm}^{-1}\text{K}^{-1}$ है।

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
10	0000	0043	0086	0128	0170						5 9 13	17 21 26	30 34 38
						0212	0253	0294	0334	0374	4 8 12	16 20 24	28 32 36
11	0414	0453	0492	0531	0569						4 8 12	16 20 23	27 31 35
						0607	0645	0682	0719	0755	4 7 11	15 18 22	26 29 33
12	0732	0828	0864	0899	0934						3 7 11	14 18 21	25 28 32
						0969	1004	1038	1072	1106	3 7 10	14 17 20	24 27 31
13	1139	1173	1206	1239	1271						3 6 10	13 16 19	23 26 29
						1303	1335	1367	1399	1430	3 7 10	13 16 19	22 25 29
14	1461	1492	1523	1553	1584						3 5 9	12 15 19	22 25 28
						1614	1644	2673	1703	1732	3 5 9	12 14 17	20 23 26
15	1761	1790	1818	1847	1875						3 5 9	11 14 17	20 23 26
						1903	1931	1959	1987	2014	3 5 8	11 14 17	19 22 25
16	2041	2068	2095	2122	2148						3 5 8	11 14 16	19 22 24
						2175	2201	2227	2253	2279	3 5 8	10 13 16	18 21 23
17	2304	2330	2355	2380	2405						3 5 8	10 13 15	18 20 23
						2430	2455	2480	2504	2529	3 5 8	10 12 15	17 20 22
18	2553	2577	2601	2625	2648						2 5 7	9 12 14	17 19 21
						2672	2695	2718	2742	2765	2 4 7	9 11 14	16 18 21
19	2788	2810	2833	2856	2878						2 4 7	9 11 13	16 18 20
						2900	2923	2945	2967	2989	2 4 6	8 11 13	15 17 19
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3119	3160	3161	3201	2 4 6	8 11 13	15 17 19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2 4 6	8 10 12	14 16 18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2 4 6	8 10 12	14 15 17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2 4 6	7 9 11	13 15 17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2 4 5	7 9 11	12 14 16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2 3 5	7 9 10	12 14 15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2 3 5	7 8 10	11 13 15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2 3 5	6 8 9	11 13 14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2 3 5	6 8 9	11 12 14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1 3 4	6 7 9	10 12 13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4885	4900	1 3 4	6 7 9	10 11 13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1 3 4	6 7 8	10 11 12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1 3 4	5 7 8	9 11 12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1 3 4	5 6 8	9 10 12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1 3 4	5 6 8	9 10 11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1 2 4	5 6 7	9 10 11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1 2 4	5 6 7	9 10 11
37	5682	5694	5706	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1 2 3	5 6 7	8 9 10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1 2 3	5 6 7	8 9 10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1 2 3	4 5 7	8 9 10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1 2 3	4 5 6	8 9 10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1 2 3	4 5 6	8 9 10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1 2 3	4 5 6	7 8 9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1 2 3	4 5 6	7 8 9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1 2 3	4 5 6	7 8 9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1 2 3	4 5 6	7 8 9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1 2 3	4 5 6	7 7 8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1 2 3	4 5 5	6 7 8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1 2 3	4 4 5	6 7 8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1 2 3	4 4 5	6 7 8

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
50	6900	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1 2 3	3 4 5	6 7 8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1 2 3	3 4 5	6 7 8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1 2 2	3 4 5	6 7 7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1 2 2	3 4 5	6 6 7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1 2 2	3 4 5	6 6 7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1 2 2	3 4 5	5 6 7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1 2 2	3 4 5	5 6 7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1 2 2	3 4 5	5 6 7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1 1 2	3 4 4	5 6 7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1 1 2	3 4 4	5 6 7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1 1 2	3 4 4	5 6 6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1 1 2	3 4 4	5 6 6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1 1 2	3 3 4	5 6 6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1 1 2	3 3 4	5 5 6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1 1 2	3 3 4	5 5 6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1 1 2	3 3 4	5 5 6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1 1 2	3 3 4	5 5 6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1 1 2	3 3 4	5 5 6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1 1 2	3 3 4	4 5 6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1 1 2	2 3 4	4 5 6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1 1 2	2 3 4	4 5 6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1 1 2	2 3 4	4 5 6
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1 1 2	2 3 4	4 5 6
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1 1 2	2 3 4	4 5 5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1 1 2	2 3 4	4 5 5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1 1 2	2 3 3	4 5 5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1 1 2	2 3 3	4 5 5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1 1 2	2 3 3	4 4 5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8948	8954	8960	8965	8971	1 1 2	2 3 3	4 4 5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1 1 2	2 3 3	4 4 5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1 1 2	2 3 3	4 4 5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1 1 2	2 3 3	4 4 5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9185	1 1 2	2 3 3	4 4 5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1 1 2	2 3 3	4 4 5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1 1 2	2 3 3	4 4 5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1 1 2	2 3 3	4 4 5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1 1 2	2 3 3	4 4 5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0 1 1	2 2 2	3 4 4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0 1 1	2 2 2	3 4 4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0 1 1	2 2 2	3 4 4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0 1 1	2 2 2	3 4 4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0 1 1	2 2 2	3 4 4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0 1 1	2 2 2	3 4 4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0 1 1	2 2 2	3 4 4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9761	9766	9773	0 1 1	2 2 2	3 4 4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0 1 1	2 2 2	3 4 4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0 1 1	2 2 2	3 4 4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0 1 1	2 2 2	3 4 4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0 1 1	2 2 2	3 4 4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0 1 1	2 2 2	3 4 4

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
.00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0 0 1	1 1 1	2 2 2
.01	1023	1026	1028	1030	1033	1036	1038	1040	1042	1045	0 0 1	1 1 1	2 2 2
.02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0 0 1	1 1 1	2 2 2
.03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0 0 1	1 1 1	2 2 2
.04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0 1 1	1 1 2	2 2 2
.05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0 1 1	1 1 2	2 2 2
.06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0 1 1	1 1 2	2 2 2
.07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0 1 1	1 1 2	2 2 2
.08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0 1 1	1 1 2	2 2 3
.09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0 1 1	1 1 2	2 2 3
.10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0 1 1	1 1 2	2 2 3
.11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0 1 1	1 2 2	2 2 3
.12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0 1 1	1 2 2	2 2 3
.13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0 1 1	1 2 2	2 3 3
.14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0 1 1	1 2 2	2 3 3
.15	1413	1416	1419	1422	1425	1429	1432	1435	1439	1442	0 1 1	1 2 2	2 3 3
.16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0 1 1	1 2 2	2 3 3
.17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0 1 1	1 2 2	2 3 3
.18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0 1 1	1 2 2	2 3 3
.19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0 1 1	1 2 2	2 3 3
.20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0 1 1	1 2 2	2 3 3
.21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0 1 1	2 2 2	2 3 3
.22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1688	1690	1694	0 1 1	2 2 2	2 3 3
.23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0 1 1	2 2 2	2 3 4
.34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1 1 2	2 2 2	2 3 4
.49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1 1 2	2 2 2	2 3 4

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 2 3	4 5 6	7 8 9
50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1 1 2	3 4 4	5 6 7
51	3236	3243	3251	3258	3168	3273	3281	3289	3296	3304	1 2 2	3 4 5	5 6 7
52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1 2 2	3 4 5	5 6 7
53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1 2 2	3 4 5	6 6 7
54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1 2 2	3 4 5	6 6 7
55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1 2 2	3 4 5	6 7 7
56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1 2 3	3 4 5	6 7 8
57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1 2 3	3 4 5	6 7 8
58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1 2 3	4 4 5	6 7 8
59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1 2 3	4 5 5	6 7 8
60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1 2 3	4 5 6	6 7 8
61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1 2 3	4 5 6	7 8 9
62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1 2 3	4 5 6	7 8 9
63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1 2 3	4 5 6	7 8 9
64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1 2 3	4 5 6	7 8 9
65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1 2 3	4 5 6	7 8 9
66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1 2 3	4 5 6	7 9 10
67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1 2 3	4 5 7	8 9 10
68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1 2 3	4 6 7	8 9 10
69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1 2 3	5 6 7	8 9 10
70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1 2 4	5 6 7	8 9 11
71	5129	5040	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1 2 4	5 6 7	8 10 11
72	5248	5160	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1 2 4	5 6 7	9 10 11
73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1 3 4	5 6 8	9 10 11
74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1 3 4	5 6 8	9 10 12
75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1-3 4	5 7 8	9 10 12
76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1 3 4	5 7 8	9 11 12
77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1 3 4	5 7 8	10 11 12
78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6136	6152	1 3 4	6 7 8	10 11 13
79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1 3 4	6 7 9	10 11 13
80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1 3 4	6 7 9	10 12 13
81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2 3 5	6 8 9	11 12 14
82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2 3 5	6 8 9	11 12 14
83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2 3 5	6 8 9	11 13 14
84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2 3 5	6 8 10	11 13 15
85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2 3 5	7 8 10	12 13 15
86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2 3 5	7 8 10	12 13 15
87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2 3 5	7 9 10	12 14 16
88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2 4 5	7 9 11	12 14 16
89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2 4 5	7 9 11	13 14 16
90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2 4 6	7 9 11	13 15 17
91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2 4 6	8 9 11	13 15 17
92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2 4 6	8 10 12	14 15 17
93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2 4 6	8 10 12	14 16 18
94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2 4 6	8 10 12	14 16 18
95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2 4 6	8 10 12	15 17 19
96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2 4 8	8 11 13	15 17 19
97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2 4 7	9 11 13	15 17 20
98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2 4 7	9 11 13	16 18 20
99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2 5 7	9 11 14	16 18 20