प्रयोग 6

किसी द्रव अथवा तनु जलीय विलयन के पृष्ठ–तनाव का स्टैलग्मोमीटर के उपयोग द्वारा निर्धारण

प्रयोग की रूपरेखा

6.1 प्रस्तावना
उद्देश्य
6.2 पृष्ठ–तनाव
6.2.1 पृष्ठ मुक्त ऊर्जा
6.2.2 अंतरापृष्ठीय तनाव
6.2.3 केशिका क्रिया
6.2.4 पृष्ठ–तनाव को प्रभावित करने वाले कारक
6.2.5 पृष्ठ–तनाव का मापन
6.3 सिद्धांत
6.4 आवश्यकताएँ
6.5 कार्य–विधि
6.6 प्रेक्षण
6.7 परिकलन
6.8 परिणाम
6.9 उत्तर

6.1 प्रस्तावना

आप जानते हैं कि **द्रवों** के गुणधर्म, गैसों और ठोसों **के बीच** होते हैं। **द्रवों** में अपेक्षाकृत कम परास के आकर्षण बल कार्य करते हैं, जिससे उनके अणु मध्यम दूरी पर रहते हैं। यद्यपि द्रव के अणुओं की गति गैस के अणुओं की गति की अपेक्षा कम होती है, फिर भी वह इतनी तीव्र होती है कि वे निश्चित स्थिति में सीमित नहीं रहते हैं। इसलिए द्रवों का कोई विशिष्ट आकार नहीं होता है और उनके अणु आसानी से एक–दूसरे के ऊपर से फिसल जाते हैं, जिससे कि वे उस पात्र का आकार ग्रहण कर लेते हैं, जिसमें उन्हें रखा जाता है।

इस प्रकार जहाँ अणुओं की *गतिज ऊर्जा* उन्हें एक–दूसरे से पृथक रखती है, वहाँ *अंतराणुक बल* उन्हें परस्पर आकर्षित कर संबद्ध रखते हैं। पदार्थों की विशेष अवस्था ही नही बल्कि उनके भौतिक गुणधर्म भी इन दोनों के संतुलन के कारण होते हैं।

इस प्रयोग और प्रयोग 7 में आप द्रवों के एक महत्वपूर्ण गुणधर्म अर्थात् पृष्ठ–तनाव का अध्ययन करेंगे।

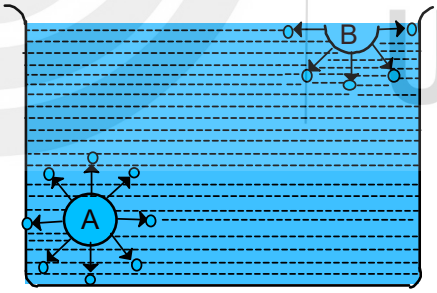
उद्देश्य

मूल संकल्पनाओं के अध्ययन और इस प्रयोग को करने के बाद, आप

- पृष्ठ–तनाव और पृष्ठ मुक्त ऊर्जा की परिभाषा दे सकेंगे और उनके मात्रकों को बता सकेंगे,
- द्रवों में अणुओं के आकर्षण बलों और पृष्ठ–तनाव की परिघटना के पारस्परिक संबंध को व्यक्त कर सकेंगे,
- अंतरापृष्ठीय तनाव और केशिका क्रिया की व्याख्या कर सकेंगे,
- पृष्ठ–तनाव को मापने की विभिन्न विधियों को सूचीबद्ध कर सकेंगे और उनमें निहित सिद्धांत की व्याख्या कर सकेंगे,
- यह चर्चा कर सकेंगे कि ताप के साथ पृष्ठ–तनाव में किस प्रकार परिवर्तन होता है और इस परिवर्तन का संभावित कारण क्या है, और
- किसी द्रव अथवा तनु जलीय विलयन के पृष्ठ–तनाव का स्टैलग्मोमीटर के उपयोग द्वारा निर्धारण कर सकेंगे।

6.2 पृष्ठ तनाव (Surface Tension)

आप चित्र 6.1 में देख सकते हैं कि किसी **द्रव के अंदर** स्थित **कोई** अणु , A, अपने चारों ओर दूसरे अणुओं से घिरा रहता है और सभी दिशाओं में समान रूप से आकर्षण बल का अनुभव करता है। दूसरी ओर, **द्रव के पृष्ठ पर स्थित** अणु B केवल नीचे की ओर से आकर्षण बलों का अनुभव करता है, जिससे वह अंदर की ओर आकर्षित होता है।



चित्र 6.1: द्रव के पृष्ठ और उसके अंदर विद्यमान अणुओं पर आकर्षण बल।

इस प्रकार, अंदर से आकर्षण के आण्विक बलों के प्रभाव से, द्रव में पृष्ठ पर संकुचित होने की प्रवृत्ति उत्पन्न हो जाती है, जिसके कारण द्रव अपने किसी निश्चित आयतन के लिए यथासंभव न्यूनतम क्षेत्र ग्रहण करता है। यही कारण है कि द्रव की बूंदे और द्रव के अंदर गैस के बुलबुले गोलीय आकार ग्रहण कर लेते हैं। इस संकुचन के फलस्वरूप द्रव–पृष्ठ अंततः तनाव की स्थिति में आ जाता है। इस प्रकार, पृष्ठ के प्रत्येक बिन्दु पर सभी दिशाओं में समान रूप से कार्य कर रहे बल को **पृष्ठ–तनाव** कहते हैं।

पृष्ठ–तनाव को γ द्वारा व्यक्त किया जाता है। मात्रात्मकः पृष्ठ-तनाव की परिभाषा, SI मात्रकों में, इस प्रकार दी जाती है। पृष्ठ-तनाव न्यूटन (N) मात्रकों में वह बल है, जो द्रव के पृष्ठ पर एक मीटर लंबी किसी भी रेखा के समकोण पर कार्य करता है। इसलिए पृष्ठ–तनाव को $N\ m^{-1}$ मात्रकों में व्यक्त किया जाता है।

सी.जी.एस. (c.g.s) पद्धति में पृष्ठ–तनाव की परिभाषा इस प्रकार दी जा सकती है– पृष्ठ तनाव डाइन (dyne) में वह बल है जो द्रव के पृष्ठ पर एक सेन्टीमीटर (1cm) लंबी रेखा के समकोण पर कार्य करता है। यहाँ डाइन (dyne) मात्रकों में बल एक सेन्टीमीटर की रेखा पर कार्य करता है, इसलिए पृष्ठ–तनाव डाइन सेमी$^{-1}$(dyne cm^{-1}) में व्यक्त किया जाता है। दूसरे शब्दों में, हम यह भी कह सकते हैं कि

dynes cm^{-1} x10^{-3} =N m^{-1}

पृष्ठ–तनाव से ही संबंधित पृष्ठ मुक्त ऊर्जा है। आइए, अब इसके बारे में जानकारी प्राप्त करें।

6.2.1 पृष्ठ मुक्त ऊर्जा (Surface Free Energy)

पृष्ठ मुक्त ऊर्जा का c.g.s. मात्रक erg cm^{-2} है।

1 J = 1 N m

1 J m^{-2} = 1 N m m^{-2}

= 1 N m^{-1}

पृष्ठ मुक्त ऊर्जा, पृष्ठ का अभिलाक्षणिक गुणधर्म है और यह पृष्ठ-तनाव के कारण उत्पन्न होती है। पृष्ठ -तनाव आंतरिक बल होता है जिसके कारण द्रव के दिए गए आयतन का पृष्ठीय क्षेत्रफल न्यूनतम हो जाता है। इसलिए पृष्ठ-तनाव बल के विरूद्ध पृष्ठ का विस्तार करने के लिए कुछ कार्य करने की आवश्यकता होती है जिसके फलस्वरूप उतनी ही मात्रा में पृष्ठ की ऊर्जा में वृद्धि हो जाती है। अणुओं को द्रव के अभ्यंतर (interior) से पृष्ठ पर लाकर पृष्ठ क्षेत्रफल में एक इकाई वृद्धि करने के लिए आवश्यक कार्य को **पृष्ठ** मुक्त **ऊर्जा** कहते हैं। पृष्ठ मुक्त ऊर्जा के SI मात्रक J m^{-2} (जूल मीटर$^{-2}$) हैं। पृष्ठ मुक्त ऊर्जा (J m^{-2}) और पृष्ठ-तनाव (N m^{-1}) गणितीयः समतुल्य है। कुछ पदार्थों का पृष्ठ–तनाव सारणी 6.1 में दिया गया है।

सारणी 6.1: कुछ पदार्थों के पृष्ठ–तनाव मान

पदार्थ	ताप / ^0C	($10^3\gamma$/N m^{-1})
प्लैटिनम	2273	1900
ताँबा (कॉपर)	1404	1100
ऐलुमिनियम	700	840
सीसा (लेड)	350	453
पारा	20	472
ऐसीटोन	20	23.7
बेन्ज़ीन	20	28.88
क्लोरोफ़ॉर्म	20	27.14
एथानॉल	20	22.8
मेथैलॉल	20	22.6
जल	20	72.88
ऑक्सीजन	-203	18.3
नाइट्रोजन	-203	10.5

पृष्ठ–तनाव द्रव अवस्था में मापा जाता है। आप देखेंगे कि सारणी 6.1 में दिए गए पहले चार पदार्थों के लिए उच्च ताप का प्रयोग किया जाता है जिसकी आवश्यकता, उनके गलनांकों पर उन्हें द्रव रूप में प्राप्त करने के लिए होती है।

यदि किसी निकाय में एक से अधिक प्रावस्थाएँ हों, तो जिस क्षेत्र में ये प्रावस्थाएं मिलती है, उसे **अंतरापृष्ठ** अथवा **अंतरापृष्ठीय क्षेत्र** कहते हैं। दो अभिश्रणीय अथवा अंशतः मिश्रणीय द्रवों के बीच पाया जाने वाला पृथक्करण–पृष्ठ, अंतरापृष्ठ का आम उदाहरण है।

6.2.2 अंतरापृष्ठीय तनाव (Interfacial Tension)

द्रव का पृष्ठ वास्तव में एक पृथक्करण पृष्ठ अथवा द्रव और उसकी वाष्प प्रावस्था के बीच एक अंतरापृष्ठ होता है, और पृष्ठ–तनाव का मान इस द्रव/वाष्प अंतरापृष्ठ की प्रति इकाई लंबाई पर काम रहे बल के बराबर होता है।

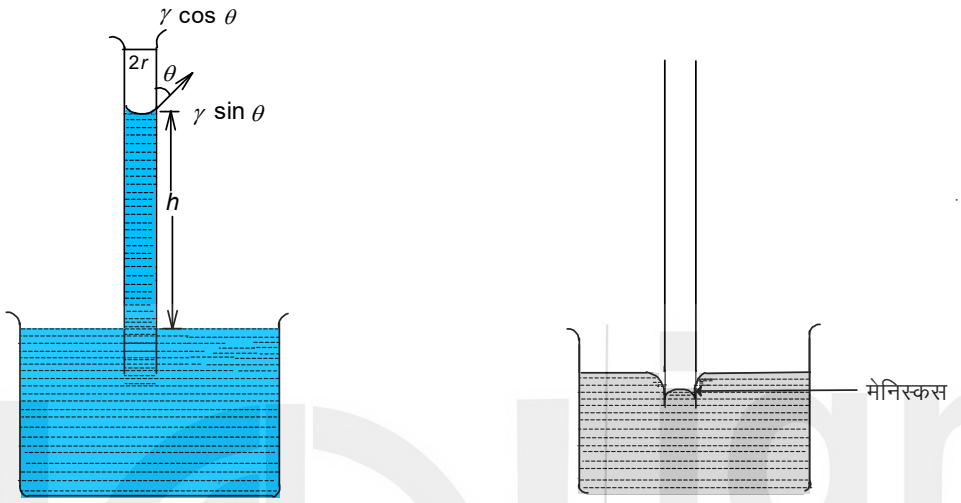
साधारण रूप से पृथक्करण पृष्ठ अथवा अंतरापृष्ठ के प्रति इकाई लंबाई में काम कर रहे बल को **अंतरापृष्ठीय तनाव** कहते हैं। इसे भी न्यूटन मीटर$^{-1}$ (N m^{-1}) में व्यक्त किया जाता है।

अंतरापृष्ठीय तनाव को समझ लेने के बाद, आइए केशिका क्रिया परिघटना पर दृष्टि डालें। आप इस तथ्य से परिचित होंगे कि जल, केशिका नली (capillary tube) में ऊपर चढ़ता है। आपने यह भी देखा होगा कि केशिका नली में पारे के तल का अवनमन होता है। किसी केशिका नली में द्रव–तल के उन्नयन अथवा अवनमन को **केशिका क्रिया** कहते हैं। क्या आप अनुमान लगा सकते हैं कि यह परिघटना क्यों होती है? केशिका में

द्रव के उन्नयन अथवा अवनमन के लिए पृष्ठ–तनाव उत्तरदायी होता है। आइए, अब इसका विस्तारपूर्वक अध्ययन करें।

6.2.3 केशिका क्रिया (Capillary Action)

केशिका नली में उपस्थित जल, पृष्ठ–तनाव के कारण उत्पन्न प्रतिक्रिया बल के कारण ऊपर को खिंचता है और गुरूत्व बल के कारण नीचे की ओर खिंचता है। जल, केशिका में तब तक ऊपर की ओर चढ़ता है, जब तक दो बलों में संतुलन न हो जाए। केशिका में जल के उन्नयन को चित्र 6.2 क) में दिखाया गया है।



क) ख)

यदि आण्विक स्तर पर काम कर रहे बलों ध्यान में रखा जाए तो इसे अधिक स्पष्ट रूप से समझा जा सकता है। जब कांच की केशिका को जल में डुबाया जाता है तो दो प्रकार के बल काम करते हैं अर्थात् **ससंजक बल** (cohesive force) और **आसंजक बल** (adhesive force)। ससंजक बल, जल के अणुओं के बीच **अंतरा–अणुक** बल होते हैं जबकि आसंजक बल, जल के अणुओं और केशिका की दीवार में उपस्थित कांच के अणुओं के बीच कार्य करते हैं। आसंजक बल जल को ऊपर की ओर खींचते हैं, जिससे केशिका की दीवारें गीली (wet) हो जाती हैं। दूसरी ओर, ससंजक बल नीचे की ओर कार्य करते हैं। केशिका में प्राप्त जल के स्तंभ की ऊँचाई, आसंजक और ससंजक बलों के संतुलन द्वारा निर्धारित होती है।

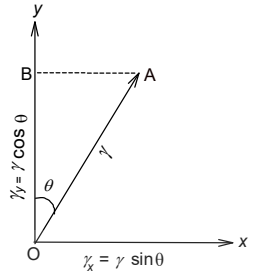
जब जल कांच की केशिका में चढ़ता है, तो उससे प्राप्त मेनिस्कस (meniscus) के आकार को आपने अवश्य देखा होगा। मेनिस्कस का आकार अवतल (concave) होता है जो इस बात का संकेत है कि जल के अणुओं के परस्पर ससंजक बलों की अपेक्षा जल और कांच के बीच के आसंजक बल अधिक प्रबल होते हैं। कुछ मामलों में, उदाहरण के लिए जैसे पारे के मामले में, मेनिस्कस का आकार उत्तल (convex) होता है केशिका के अंदर पारे के तल का अवनमन होता है, देखिए चित्र 6.2 ख)। इसका कारण यह है कि आसंजक बलों की अपेक्षा ससंजक बल अधिक प्रबल होते हैं।

आइए, अब एक ऐसे व्यंजक की व्युत्पति को समझें, जो उपुर्यक्त बलों का पृष्ठ–तनाव के साथ संबंध स्थापित करता है।

ससंजक बल, F_d, को प्राप्त करने के लिए समतल पृष्ठ से ऊपर विद्यमान द्रवस्तंभ के द्रव्यमान (m) को गुरूत्वीय त्वरण (acceleration due to gravity) (g) से गुणा किया जाता है। द्रव का द्रव्यमान उसके आयतन (V) और घनत्व (d) का गुणनफल होता है।

पृष्ठ–तनाव बल और उसके कारण उत्पन्न प्रतिक्रया–बल परिमाण में समान होते हैं।

किसी बल सदिश (जैसे γ) का दो समकोणीय घटकों में वियोजन किया जा सकता है: $\gamma \cos\theta$ और $\gamma \sin\theta$ जैसा कि नीचे दिखाया गया है।



चित्र 6.3: बलसदिश का समकोणीय घटकों में वियोजन।

द्रव के उस विशिष्ट अंश को बेलनाकार मानने से, उसके आयतन को $\pi r^2 h$ सूत्र द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।

$$F_d = mg = V.d.g = \pi r^2 hdg \quad \ldots (6.1)$$

जिसमें r केशिका की त्रिज्या और h द्रव–स्तंभ की ऊंचाई है।

उपरिमुखी बल, F_u, अर्थात् आसंजक बल, पृष्ठ–तनाव के कारण उत्पन्न प्रतिक्रिया बल के उर्ध्वाधर घटक $(=\gamma \cos\theta)$ (देखें, (चित्र 6.3)) और केशिका की परिधि $(2\pi r)$ के गुणनफल के बराबर होता है। अतः F_u को इस प्रकार निरूपित कर सकते हैं :

$$F_u = 2\pi r \gamma \cos\theta \quad \ldots (6.2)$$

जिसमें θ, स्पर्श–कोण (contact angle) है जैसा कि चित्र 6.2 में दिखाया गया है। साम्यावस्था पर, $F_d = F_u$ है, इसलिए समीकरणों 6.1 और 6.2 से हम लिख सकते हैं कि

$$\pi r^2 hdg = 2\pi r \gamma \cos\theta$$

अथवा

$$\gamma = \frac{rhdg}{2 \cos\theta} \quad \ldots (6.3)$$

समीकरण 6.3 का उपयोग पृष्ठ–तनाव (γ) के निर्धारण के लिए किया जा सकता है। उपर्युक्त परिचर्चा को समझ लेने के बाद आप निम्नलिखित बोध प्रश्न का उत्तर दीजिए।

बोध प्रश्न 1

i) द्रव की छोटी–छोटी बूंदें गोलाकर क्यों दिखाई देती है?

ii) द्रव का पृष्ठ–तनाव, द्रव के ..... पर एक मीटर लंबी रेखा के समकोण पर न्यूटन मात्रकों में लगने वाला ..... होता है।

iii) पृष्ठ मुक्त ऊर्जा क्या होती है?

iv) अंतरापृष्ठीय तनाव का मात्रक ..... होता है और मुक्त ऊर्जा का मात्रक ..... होता है।

6.2.4 पृष्ठ–तनाव को प्रभावित करने वाले कारक

अब हम अपना ध्यान उन कारकों पर केन्द्रित करेंगे, जो पृष्ठ–तनाव को प्रभावित करते हैं। पहले पृष्ठ–सक्रियकों के प्रभाव की व्याख्या की जाएगी और उसके बाद ताप के प्रभाव की चर्चा की जाएगी।

1. पृष्ठ–सक्रियकों का प्रभाव

पृष्ठ–सक्रियक (surfactants), पृष्ठ सक्रिय पदार्थ होते हैं ओर उनके अणुओं में ध्रुवीय और अध्रुवी भाग होते हैं। इन भागों की स्वयं को, दो अमिश्रणीय अथवा अंशतः मिश्रणीय द्रवों के अंतरापृष्ठ पर अभिविन्यस्त करने की प्रबल प्रवृत्ति होती है। पृष्ठ सक्रियक अणुओं की अंतरापृष्ठ पर संरेखण की प्रवृत्ति उसके (अंतरापृष्ठ) के प्रसार में सहायक होती है। यह प्रसार, पृष्ठ–तनाव बल के प्रभाव से अंतरापृष्ठ के संकुचित होने की

प्रवृत्ति द्वारा संतुलित होना चाहिए। यही कारण है कि जलीय विलयनों में पृष्ठ सक्रियकों की उपस्थिति से पृष्ठ–तनाव कम हो जाता है अर्थात् हम कह सकते हैं कि

$$\gamma = \gamma_0 - \pi \quad \ldots (6.4)$$

जिसमें π, पृष्ठ–सक्रियक की अवशोषित परत के कारण उत्पन्न प्रसारी दाब अथवा पृष्ठ दाब है और γ_0 पृष्ठ–सक्रियक की अनुपस्थिति में विलायक (जल) का पृष्ठ–तनाव है।

2. ताप का प्रभाव

जब ताप बढ़ता है, तो अणुओं की गतिज–ऊर्जा भी बढ़ जाती है। इससे उनके अंतराअणुक आकर्षण बलों में कमी हो जाती है। फलस्वरूप, द्रव के पृष्ठ–तनाव में भी कमी हो जाती है। अधिकांश यौगिकों के लिए पृष्ठ–तनाव की ताप–निर्भरता को इस प्रकार लिखा जा सकता है:

$$\gamma = A - BT \quad \ldots (6.5)$$

जिसमें A और B स्थिरांक है और T डिग्री सेल्सियस में ताप है।

अब तक किए अनुसंधान कार्य के फलस्वरूप अनेक यौगिकों के लिए A और B के मान उपलब्ध हैं।

इस भाग को पढ़ने के बाद आप निम्नलिखित बोध प्रश्न का उत्तर दीजिए।

बोध प्रश्न 2

i) जल में अपमार्जक मिलाने से उसका पृष्ठ–तनाव ... हो जाएगा।

ii) उच्च ताप पर द्रव का पृष्ठ–तनाव.....हो जाता है क्योंकि .... घट जाते हैं।

6.2.5 पृष्ठ–तनाव का मापन

द्रव का पृष्ठ–तनाव ज्ञात करने की अनेक विधियां हैं। उनके नाम नीचे दिए गए हैं:

i) केशिका उन्नयन विधि (Capillary rise method)

ii) विमोटन–तुला विधि (Torsion balance method)

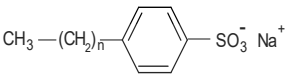
iii) अधिकतम बुदबुद दाब विधि (Maximum bubble pressure method)

iv) स्टैलग्मोमीटर विधि (Stalagmometer method)

यहाँ केवल, स्टैलग्मोमीटर विधि की चर्चा की जाएगी क्योंकि आप इस विधि का उपयोग, प्रयोग 6 और प्रयोग 7 में पृष्ठ–तनाव को ज्ञात करने के लिए करेंगे।

इस प्रयोग में आप स्टैलग्मोमीटर का उपयोग करेंगे। इसे चित्र 6.4 में दिखाया गया है। इसका नाम ट्राउबे स्टैलग्मोमीटर (Traube's Stalagmometer) है। यह एक साधारण उपकरण है और प्रायः इसका उपयोग तब किया जाता है, जब दो या अधिक भिन्न–भिन्न द्रवों के पृष्ठ–तनाव के मानों की तुलना करनी होती है।

पृष्ठ सक्रियकों के सुविदित उदाहरण साबुन, और अपमार्जक (detergents) है। साबुन, दीर्घ श्रृंखला वाले वसा अम्लों के लवण होते हैं। अपमार्जक दो प्रकार के होते हैं – ऋणायनी और धनायनी। ऋणायनी अपमार्जक रैखिक ऐल्किलबेन्ज़ीन (linear alkylbenzene) (एल.ए.बी.) सल्फ़ोनिक अम्लों के सोडियम लवण होते हैं। उनकी सामान्य संरचना इस प्रकार निरूपित की जा सकती है:

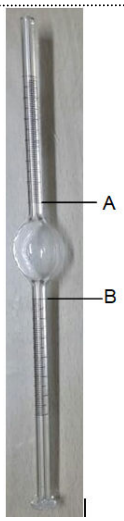


धनायनी अपमार्जक चतुष्क अमोनियम लवण होते हैं जैसा कि नीचे दिया गया है,

$(CH_3)_3RN^+Cl^-$

यहाँ R ऐल्किल श्रृंखला है जिसमें 12–18 कार्बन परमाणु होते हैं।

पृष्ठ–तनाव के अवनमन द्वारा अपमार्जक ग्रीज़ अथवा मैल (अधुवी) के कणों को जल में घोलने में सहायक होते हैं। इस प्रकार प्राप्त विलेयीकृत ग्रीज़ जल से घुल जाती है। साबुनों और अपमार्जकों की **शोधन–क्रिया** इसी सिद्धांत पर आधारित है।

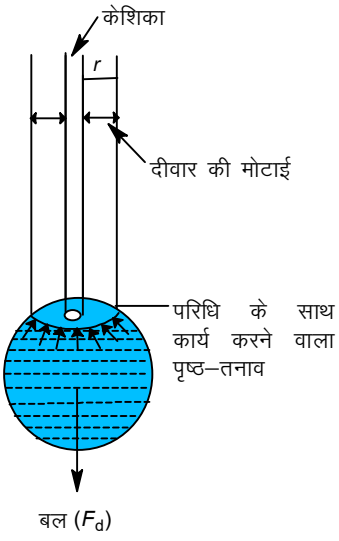


चित्र 6.4 : ट्राउबे स्टैलग्मोमीटर।

इसमें एक बल्ब युक्त केशिका नली होती है, जिसके सिरे को चपटा बनाकर सावधानीपूर्वक घिस दिया जाता है ताकि विस्तृत बिन्दु पातन–पृष्ठ (dropping surface) प्राप्त हो सके। इसमें A और B दो चिह्न अंकित होते हैं। एक चिह्न बल्ब के ऊपर और दूसरा बल्ब के नीचे होता है। द्रव को A चिह्न तक भर लिया जाता है और उसे बूंद–बूंद करके गिरने दिया जाता है ताकि वह B चिह्न तक पहुंच जाए। केशिका के ऊपरी सिरे पर पेंचदार पिंच कॉक (screw pinch cock) के साथ रबर की नली का टुकड़ा लगाकर बूंद बनने के गति को नियंत्रित किया जा सकता है। इस विधि का विस्तृत अध्ययन करने से पहले आपको इस विधि में निहित सिद्धांत को समझ लेना चाहिए, जिसे नीचे दिया गया है।

6.3 सिद्धान्त

जब किसी द्रव को केशिका–नली में प्रवाहित किया जाता है, तो उसके निचले सिरे पर बूंद का बनना आरंभ होता है और फिर आकार में कुछ बड़ी होने के बाद बूंद गिर जाती है। बूंद का आमाप केशिका की त्रिज्या और द्रव के पृष्ठ–तनाव पर निर्भर करता है। बूंद को सहारा देने वाला कुल पृष्ठ–तनाव $2\pi r.\gamma$ है, जिसमें r केशिका नली का बाहरी त्रिज्या है (देखिए चित्र 6.5)।



चित्र 6.5: केशिका के सिरे पर बूंद का बनना।

जब बूंद का भार, परिधि के साथ काम कर रहे पृष्ठ–तनाव से अधिक हो जाता है, तो बूंद गिर जाती है। इसलिए

$$w = 2\pi r\gamma \qquad \ldots (6.6)$$

जिसमें w, बूंद का भार और $2\pi r$ केशिका नली की बाहरी परिधि है।

उपर्युक्त व्यंजक से स्पष्ट है कि यदि एक बूंद का भार w और बिन्दु पातन नली का बाहरी त्रिज्या r ज्ञात हों, तो द्रव का पृष्ठ–तनाव ज्ञात किया जा सकता है।

यदि हमारे पास दो द्रव 1 और 2 हों, तो

$$w_1 = 2\pi r\gamma_1, \quad \text{और}$$

$$w_2 = 2\pi r\gamma_2,$$

अतः हम कह सकते हैं कि

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \qquad \ldots (6.7)$$

यदि एक द्रव के लिए γ_1 ज्ञात हो, तो केशिका के बिन्दु पातन सिरे की बाहरी त्रिज्या, r, को मापे बिना, दूसरे द्रव का γ_2 ज्ञात किया जा सकता है, बशर्ते दोनों द्रवों की एक बूंद का भार ज्ञात हो। इस निर्धारण–विधि को **बूंद–भार विधि** (Drop Weight Method) भी कहते हैं। वैकल्पिक रूप से, पृष्ठ–तनाव को **बूंद–संख्या विधि** (Drop Number Method) से भी ज्ञात किया जा सकता है, जैसा कि नीचे दिया गया है।

किसी वस्तु का भार उसके द्वारा गुरूत्वाकर्षण के कारण अनुभव किया गया बल होता है जब उस वस्तु को मुक्त रूप से निलंबित किया गया हो (जैसा, कमानीदार तुला (spring balance) में होता है)। इसलिए,
भार = द्रव्यमान × गुरूत्वीय–त्वरण

अथवा $w = m \times g$

$w_1 = m_1 \times g$

और $w_2 = m_2 \times g$

इस प्रकार,

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{m_1 \times g}{m_2 \times g} = \frac{m_1}{m_2}$$

बूंद संख्या विधि (Drop Number Method)

अलग–अलग बूंदों का भार ज्ञात करने की अपेक्षा दो द्रवों के समान आयतनों द्वारा निर्मित बूंदों की संख्या की गणना करना आसान है। समान आयतन वाले दो द्रवों का भार उनके घनत्वों के समानुपाती होता है। इसलिए, यदि दो द्रवों के समान आयतन, V द्वारा बनने वाली बूंदों की संख्या क्रमशः n_1 और n_2 हों, तो

पहले द्रव (द्रव 1) की एक बूंद की आयतन = V/n_1

इस प्रकार,

पहले द्रव की एक बूंद का भार = $w_1 = V/n_1 \times d_1 \times g$

जिसमें d_1 पहले द्रव का घनत्व है।

और, दूसरे द्रव की एक बूंद का भार = $w_2 = V/n_2 \times d_2 \times g$ जिसमें d_2 दूसरे द्रव का घनत्व है।

w_1 और w_2 के उपर्युक्त मानों को समीकरण 6.7 में प्रतिस्थापित करने पर,

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{(V/n_1) \times d_1 \times g}{(V/n_2) \times d_2 \times g} = \frac{d_1/n_1}{d_2/n_2} = \frac{n_2 d_1}{n_1/n_2} \quad \ldots (6.8)$$

जिसमें γ_1 और γ_2 क्रमशः दो द्रवों के पृष्ठ तनाव हैं और d_1 और d_2 उनके घनत्व हैं। इस प्रकार, किसी द्रव के पृष्ठ–तनाव को निर्धारित करने के लिए संदर्भ द्रव (reference liquid) (अर्थात् जल) के पृष्ठ–तनाव के अतिरिक्त दो द्रवों के समान आयतन से प्राप्त बूंदों की संख्या और उनके घनत्व ज्ञात होने चाहिए।

अब आप निम्नलिखित बोध प्रश्न का उत्तर देकर पृष्ठ–तनाव के निर्धारण में प्रयुक्त समीकरण 6.8 के बारे में अपने ज्ञान की जांच कर सकते हैं।

बोध प्रश्न 3

यदि पारे और जल का घनत्व क्रमशः 13.6 kg dm^{-3} और 1.00 kg dm^{-3} हो, तो जल की बूंदों की संख्या का पारे की बूंदों की संख्या के साथ अनुपात परिकलित कीजिए। आप इन द्रवों के सारणी 6.1 में दिए–गए पृष्ठ तनावों के मान का प्रयोग कर सकते हैं।

आइए, अब प्रयोग की आवश्यकताओं और कार्य–विधि की ओर अपना ध्यान केन्द्रित करें।

6.4 आवश्यकताएँ

उपकरण	संख्या
ट्राउबे स्टैलग्मोमीटर	1
तोल बोतल / आपेक्षिक घनत्व बोतल	1
रबर की डाट	1
रबर की नली (छोटा टुकड़ा)	1
पिंच कॉक	1
क्लैंप स्टैंड	1
थर्मामीटकर (110°) – डिग्री के $\frac{1}{10}$ भाग तक अंशाकित	1
बड़ा बीकर अथवा कांच की द्रोणी (छोटा टब)	1

इसके अतिरिक्त आपको 3 अथवा 4 भिन्न द्रव/तनु विलयन दिए जाएंगे। साथ ही आसुत जल भी उपलब्ध रहेगा।

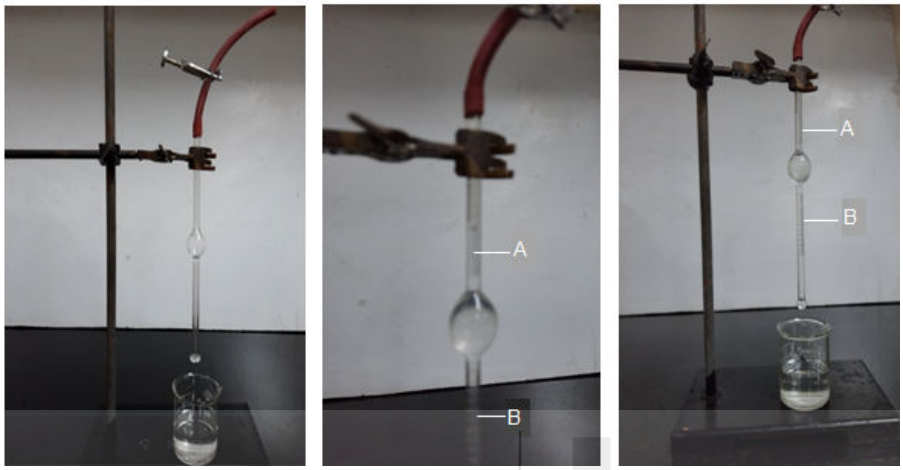
क्रोमिक अम्ल बनाने के लिए पोटैशियम डाइक्रोमेट ($K_2Cr_2O_7$) को सान्द्र H_2SO_4 में घोला जाता है।

6.5 कार्य–विधि

प्रयोग आरंभ करने से पहले स्टैलग्मोमीटर को क्रोमिक अम्ल विलयन से धो लेना चाहिए ताकि भीतरी केशिका पृष्ठ पर चिपके तेल, ग्रीज़ आदि साफ हो जाएं। उसके बाद आसुत जल से धोने के बाद अंत में ऐसीटीन अथवा ऐल्कोहॉल से खंगाल लीजिए और फिर हवा प्रवाहित कर सुखा लीजिए।

1. स्टैलग्मोमीटर के ऊपरी सिरे पर पेंचदार पिंच कॉक के साथ छोटी सी रबर की नलिका लगा लीजिए।

2. फिर स्टैलग्मोमीटर को क्लैंप की सहायता से चित्र 6.6 क) में दिखाए गए अनुसार स्टैंड पर लगा दीजिए। तत्पश्चात् स्टैलग्मोमीटर के नीचे एक बीकर रखिए जो आसुत जल से आधा भरा हुआ हो।



क) ख) ग)

चित्र 6.6: पृष्ठ–तनाव निर्धारित करने का उपकरण।

3. रबर नली की सहायता से चूसकर स्टैलग्मोमीटर में निशान "A" से कुछ ऊपर तक आसुत जल भर लीजिए। देखें चित्र 6.6 ख)।

4. फिर पिंच कॉक बंद कर दीजिए और स्टैलग्मोमीटर को बीकर में प्रविष्ट कीजिए।

5. अब पिंच कॉक को धीरे–से खोलिए ताकि द्रव धीरे–धीरे निकले। हवा के अंतर्वाह को इस प्रकार नियंत्रित कीजिए ताकि प्रति मिनट बूंदों के बनने की संख्या 15 से अधिक न हो। देखिए चित्र 6.6 ग)।

6. चिह्न "A" और "B" के बीच के जल के निश्चित आयतन के प्रवाहित होने से प्राप्त बूंदों की संख्या गिन लीजिए। अर्थात् तल के, जल के चिह्न A से चिह्न B तक पहुंचने से प्राप्त बूंदों की संख्या गिन लीजिए।

7. अब स्टैलग्मोमीटर को दुबारा भरिए और फिर से प्राप्त बूंदों को गिन लीजिए। यह क्रिया तीन बार दोहराइए। प्राप्त परिणामों को प्रेक्षण तालिका 6.2 में लिख लीजिए।

8. अब स्टैलग्मोमीटर को तोल–बोतल से निकालकर भलीभांति धोकर सुखा लीजिए।

9. उसमें दिए गए अन्य द्रव/दिए गए तनु विलयन (जैसे S_1) आदि को भरकर दुबारा तोल–बोतल में सेट कर लीजिए। द्रव/दिए गए तनु विलयन के समान आयतन के चिह्न A से B तक पहुंचने में प्राप्त बूंदों की संख्या गिन लीजिए। इस प्रक्रिया को तीन बार दोहराइए और परिणाम को प्रेक्षण तालिका में रिकॉर्ड कर लीजिए।

10. इसी प्रकार, दिए गए अन्य सभी दव्रों (S_2, S_3 ,S_4 आदि) के प्रेक्षण तालिका में रिकॉर्ड कर लीजिए।

प्रयोग करते समय निम्नलिखित सावधानियां रखनी चाहिए।

सावधानियां

1. उपयोग से पहले स्टैलग्मोमीटर को धोकर सुखा लेना चाहिए।
2. द्रव को स्टैलग्मोमीटर में भरते समय हवा का कोई बुलबुला नहीं बनना चाहिए।
3. बूंदों को गिनने के प्रक्रम के पूरे समय स्टैलग्मोमीटर को उर्ध्वाधर स्थिति में रखना चाहिए।
4. बूंद बनने की क्रिया मंद दर पर नियंत्रित करनी चाहिए और यह दर पन्द्रह बूंद प्रति मिनट से अधिक नहीं होनी चाहिए।

आप अपने प्रेक्षणों को नीचे दिए गए स्थान में लिख सकते हैं :

6.6 प्रेक्षण

आपेक्षिक घनत्व का प्रयोग कभी–कभी घनत्व के स्थान पर किया जाता है। किसी पदार्थ के घनत्व के जल के घनत्व के साथ अनुपात को **आपेक्षिक घनत्व** कहते हैं। आपेक्षिक घनत्व दो घनत्वों का अनुपात है, अतः उसे मात्रकों के बिना व्यक्त किया जता है।

आपेक्षिक घनत्व = $\frac{\text{द्रव का घनत्व}(\text{kg dm}^{-3}\text{ में})}{\text{जल का घनत्व}(\text{kg dm}^{-3}\text{ में})}$

जल का घनत्व kg dm^{-3} होता है, इसलिए किसी द्रव अथवा विलयन का आपेक्षिक घनत्व उसका वह घनत्व होता है, जिसे मात्रकों के बिना व्यक्त किया जाता है।

ताप, t = ... ^{o}C

t^0C पर जल का घनत्व = d_w =..... kg dm^{-3}

t^0C पर जल का पृष्ठ तनाव = γ_w =..... N m^{-1}

(सारणी 6.3 से γ_w के मान का प्रयोग कीजिए)

सारणी 6.2

द्रवों के समान आयतन से बनी बूंदों की संख्या					
क्रमांक	जल	अपमार्जक विलयन			
		S_1	S_2	S_3	S_4
(i)	.....	.....	.....	.....	.....
(ii)	.....	.....	.....	.....	.....
(iii)	.....	.....	.....	.....	.....
औसत	..... n_{w_1}	..... n_{s_1}	..... n_{s_2}	..... n_{s_3}	..... n_{s_4}

रिक्त आपेक्षिक घनत्व बोतल का द्रव्यमान $= w_1 =$.....g

आपेक्षिक घनत्व बोतल + द्रव का द्रव्यमान $= w_2 =$.....g

आपेक्षिक घनत्व बोतल + जल का द्रव्यमान $= w_3 =$.....g

अब आप नीचे दिए गए प्रकार से परिकलन कर सकते हैं।

6.7 परिकलन

द्रव S_1 का घनत्व $= d_{S_1} = \frac{\text{द्रव } S_1 \text{ का द्रव्यमान}}{\text{जल का द्रव्यमान}} \times \text{जल का घनत्व}$

$$d_{S_1} = \frac{w_2 - w_1}{w_3 - w_1} \times d_w$$

द्रव (S_1) का आपेक्षिक पृष्ठ–तनाव $= \frac{\gamma_{S_1}}{\gamma_w} = \frac{d_{s_1} \times n_w}{d_w \times n_{s_1}}$

द्रव (S_1) का निरपेक्ष पृष्ठ–तनाव $= \gamma_{S_1} = \gamma_w \times \frac{d_{s_1} \times n_w}{d_w \times n_{s_1}} = ...Nm^{-1}$

इसी प्रकार, अन्य द्रवों का घनत्व निर्धारण और पृष्ठ–तनाव परिकलित कीजिए और $\gamma_{S_2}, \gamma_{S_3}$..... ज्ञात कीजिए।

विभिन्न तापों पर जल का पृष्ठ–तनाव, γ_w आपकी सुविधा के लिए सारणी 6.3 में दिया गया है।

सारणी 6.3 : विभिन्न तापों पर जल पृष्ठ–तनाव

ताप/^{0}C	पृष्ठ तनाव $10^3 \gamma$ /N m^{-1}
0	75.83
5	75.09
10	74.36
15	73.62
20	72.88
21	72.73
22	72.58
23	72.43
24	72.29
25	72.14
26	71.99
27	71.84
28	71.69
29	71.55
30	71.70
35	70.66
40	69.92
45	69.18
50	68.45
55	67.71
60	66.97
100	61.80

प्राप्त परिणामों को इस प्रकार दर्शाया गया है।

निम्नलिखित पदों से आप आपेक्षिक घनत्व के मापन द्वारा द्रव के घनत्व तथा जल के घनत्व के बीच संबंध का सत्यापन कर सकते हैं।

$= \frac{\text{द्रव का घनत्व}}{\text{जल का घनत्व}}$

$= \frac{\text{द्रव का द्रव्यमान}/\text{द्रव का आयतन}}{\text{जल का द्रव्यमान}/\text{जल का समान आयतन}}$

$= \frac{\text{द्रव का द्रव्यमान}}{\text{जल का द्रव्यमान}}$

जल और द्रव के द्रव्यमानों को मापने के लिए एक ही आपेक्षिक घनत्व बोतल का प्रयोग किया जाता है। इसलिए दोनों का आयतन समान होता है। अतः

द्रव का घनत्व

$= \frac{\text{द्रव का द्रव्यमान}}{\text{जल का द्रव्यमान}} \times \text{जल का घनत्व}$

यह संबंध केवल तब लागू होता है, जब जल और द्रव के द्रव्यमानों को मापने के लिए एक ही आपेक्षिक घनत्व–बोतल का प्रयोग किया जाता है।

6.8 परिणाम

i) ------- °C ताप पर द्रवों (S_1, S_2, S , S_4) के निरपेक्ष पृष्ठ–तनाव इस प्रकार हैं:

γ_{s_1} = …….. N m^{-1}

γ_{s_2} = …….. N m^{-1}

γ_{s_3} = …….. N m^{-1}

γ_{s_4} = …….. N m^{-1}

6.9 उत्तर

बोध प्रश्न

1. i) पृष्ठ–तनाव के कारण द्रव की प्रवृत्ति उसके किसी दिए गए आयतन के लिए अल्पतम क्षेत्र घेरने की होती है। दिए गए आयतन के लिए गोले का पृष्ठ क्षेत्रफल न्यूनतम होता है।

   ii) पृष्ठ, बल

   iii) द्रव पृष्ठ क्षेत्रफल का एक इकाई प्रसार करने के लिए आवश्यक कार्य।

   iv) N m^{-1}, J m^{-2}

2. i) कम

   ii) कम, अंतराअणुक बल

3. माना पादांक 2 जल को और पादांक 1 पारे को निरूपित करता है। अतः समीकरण 6.8 के अनुसार,

$$\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_{w}} = \frac{n_w d_{Hg}}{n_{Hg} d_w}$$

अथवा $$\frac{n_w}{n_{Hg}} = \frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_w} \times \frac{d_w}{d_{Hg}} = \frac{0.472}{0.07288} \times \frac{13.6}{1.00} = 88.1 \cong 88$$

(तीन सार्थक अंकों के लगभग)