इकाई – 4

इकाई – 4

पृष्ठ तनाव
(Surface Tension)

पृष्ठ तनाव (Surface Tension)

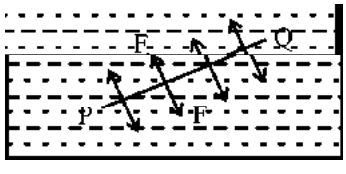
यह देखा गया है कि किसी द्रव के मुक्त पृष्ठ तथा तनी हुई प्रत्यास्थ झिल्ली के गुणों में समानता पायी जाती है जिस प्रकार प्रत्यास्थ झिल्ली सिकुड़कर अपना क्षेत्रफल कम करना चाहती है। उसी प्रकार द्रव पृष्ठ भी सिकुड़ने का प्रयास करता है अर्थात् द्रव के पृष्ठ पर तनाव होता है।

दैनिक जीवन में ऐसे अनेक उदाहरण देखते हैं जिसमें द्रव के पृष्ठ पर तनाव होता है। उदाहरण के लिए वर्षा की छोटी बूंदें, ओस की बूंदें, साबुन के बुलबुले पूर्ण गोलाकार आकृति लिये होते हैं इसी प्रकार पानी के बाहर निकालने पर चित्र बनाने वाले ब्रुश के बालों का चिपकना, पानी की सतह पर चिकनाई लगी हुई सुई का तैरना आदि ऐसी अनेक घटनाएं हैं जिनकी सरल व्याख्या पृष्ठ तनाव के गुणों से की जा सकती है। इसके अनुसार द्रव के पृष्ठ पर एक तरह का तनाव बल कार्य करता है जो द्रव के पृष्ठ के क्षेत्रफल को न्यूनतम करने का प्रयास करता है अर्थात् द्रव की मुक्त सतह में हम एक रेखा की कल्पना करें तो रेखा की लम्बाई के लम्बवत् एक बल कार्यरत है जो पृष्ठ पर तनाव उत्पन्न करता है।

पृष्ठ तनाव की परिभाषा
(Definition of Surface Tension)

द्रव की मुक्त सतह पर किसी रेखा की कल्पना करें तो इस रेखा की लम्बाई के लम्बवत् तथा द्रव तल में रेखा की प्रति एकांक लम्बाई पर कार्यरत बल को पृष्ठ तनाव बल कहते हैं।

चित्र 4.1 के अनुसार मान लीजिए L मीटर लम्बाई की रेखा PQ के लम्बवत् व तल में कार्यरत बल F न्यूटन



चित्र 4.1

है तो पृष्ठ तनाव $S = \frac{F}{L}$ (4.1)

इसकी इकाई न्यूटन प्रति मीटर या किग्रा प्रति वर्ग सैकण्ड होती है। समी. (4.1) में यदि $L = 1$ तो, $S = F$

अर्थात् द्रव के किसी पृष्ठ पर इकाई लम्बाई की रेखा के लम्बवत् कार्यकारी बल पृष्ठ तनाव कहलाता है।

$$\text{पृष्ठ तनाव की विमा} = \frac{\text{बल की विमा}}{\text{लम्बाई की विमा}} = \frac{MLT^{-2}}{L}$$

$$= MT^{-2} \quad (4.2)$$

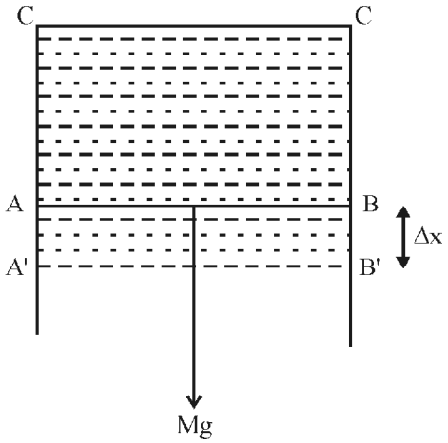
पृष्ठ तनाव के अध्ययन के दौरान सामान्यतः पृष्ठ या सतह का उल्लेख किया जाता है। आणविक स्तर पर एक ऐसी परत जिसका आकार लगभग 10–15 आणविक व्यास की कोटि का हो उसे पृष्ठ या सतह कहते हैं। दो अणुओं के मध्य कार्यरत अन्तरआणविक बल सतह से परे नगण्य होता है।

चित्र 4.1 में $\overline{PQ}$ रेखा दो पृष्ठों का निर्माण करती है। एक को हम $\overline{PQ}$ के ऊपर का तथा दूसरे को $\overline{PQ}$ के नीचे का पृष्ठ कह सकते हैं। पृष्ठ के यह दोनों भाग परस्पर निश्चित बल से खिंचते हैं जो कि लम्बाई $\overline{PQ}$ के समानुपाती होता है साथ ही यह खिंचाव $\overline{PQ}$ के लम्बवत् तथा पृष्ठ के स्पर्श रेखीय होता है। इन स्थितियों में द्रव का पृष्ठ तन्य झिल्ली की तरह कार्य करता है। कोई भी झिल्ली जिसे समस्त दिशाओं में खिंचा जाता है तनाव की दशा में होती है तथा इसका प्रत्येक अंश आसन्न भाग को अपनी तरफ खिंचता है।

पृष्ठ तनाव को पृष्ठ ऊर्जा के रूप में भी परिभाषित कर सकते हैं। किसी द्रव पृष्ठ के क्षेत्रफल में वृद्धि करने के लिए पृष्ठ

तनाव के विरूद्ध कार्य करना पड़ता है, यह कार्य पृष्ठीय ऊर्जा के रूप में संग्रहित हो जाता है।

पृष्ठ तनाव एवं पृष्ठ ऊर्जा में सम्बन्ध ज्ञात करने के लिए चित्र 4.2 के अनुसार किसी तार के फ्रेम पर एक तार पर विचार करते हैं। तार AB फ्रेम पर बिना घर्षण के फिसल सकता है। इस



चित्र 4.2

फ्रेम को साबुन के पानी के पतले घोल में डुबो कर एक फिल्म बना लेते हैं।

अब AB तार Δx दूरी तक खिसक कर नयी स्थिति A'B' तक लाया जाता है। नयी स्थिति तक लाने में बल के विरूद्ध कार्य करना होगा तो कार्य

$$W = F\Delta x$$

परन्तु $F = SL + SL$ (दो पृष्ठ होने से)

$$F = 2SL \qquad (4.3)$$

$$\text{तो } \therefore W = 2SL \cdot \Delta x$$

$$= S2L\Delta x$$

बाह्य बल द्वारा किया गया कार्य स्थितिज ऊर्जा के रूप में संरक्षित हो जाता है। अतः पृष्ठ ऊर्जा में वृद्धि

$$U = W = S(2L \cdot \Delta x)$$

$$\therefore S = \frac{W}{2L\Delta x} = \frac{W}{\Delta A} \quad \text{यहाँ } \Delta A = 2L \cdot \Delta x$$

$\Delta A = 1$ मी^{2} तो S=W यहां मात्रक $= \frac{\text{जूल}}{\text{मी}^2}$ होगा

अतः किसी द्रव का पृष्ठ तनाव उस बल के बराबर है जो नियत ताप पर द्रव के पृष्ठ के क्षेत्रफल में एकांक वृद्धि कर दे।

उदाहरण 4.1 – साबुन के विलयन का पृष्ठ तनाव 2.1×10^{-2} न्यूटन/मीटर है तो 1.0 सेमी व्यास वाले बुलबुले को फूंककर बनाने में कितना कार्य करना पड़ेगा।

हल – $S = 2.1 \times 10^{-2}$ न्यूटन/मीटर

$$\text{त्रिज्या } R = \frac{1\times10^{-3}}{2} \text{ मीटर}$$

$$= 0.5 \times 10^{-3} \text{ मीटर}$$

$$W = T\Delta A$$

$$= S \times 8\pi R^2 \text{ यहां } \Delta A = 2\times4\pi R^2 \text{ (दो पृष्ठ)}$$

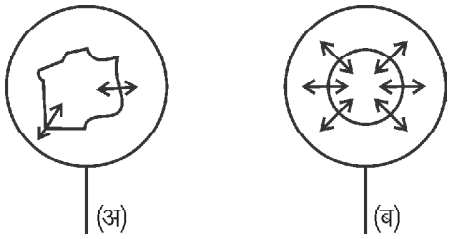
$$= 8 \times 3.14 \times (0.5 \times 10^{-3})^2 \times 2.1 \times 10^{-2}$$

$$= 1.32 \times 10^{-5} \text{ जूल}$$

प्रयोग द्वारा पृष्ठ तनाव का प्रदर्शन

(Demonstration of Surface Tension by Experiment)

एक तार की वलय बनाकर साबुन के घोल में डुबोकर बाहर निकालते हैं। बाहर लाने पर पाते हैं कि वलय का भीतरी भाग साबुन की पतली झिल्ली से आबद्ध होता है। अब हम पतले धागे का एक पाश बनाते हैं। इस भिगोकर सावधानीपूर्वक झिल्ली पर रख देते हैं। धागे का पाश अनिश्चित आकार में झिल्ली पर ठहर जाता है। धागे से बद्ध वलय के केन्द्र के परितः पृष्ठ पर सुगमता से आलपिन चुभोते हैं। हम पाते हैं कि धागे द्वारा बनायी गयी अनिश्चित आकार की बद्ध आकृति भी वलयाकार में बदल जाती है। जैसा कि चित्र 4.3 (ब) में बताया गया है।



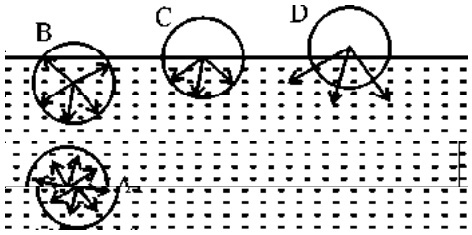
चित्र 4.3

इस प्रयोग में धागे का लूप बनने के पश्चात् इसके परितः बाह्य एवं अन्तः पृष्ठ बनते हैं। दोनों ही पृष्ठ धागे पर बल लगाते हैं। अतः परिणामी बल शून्य होता है एवं लूप एक अनिश्चित आकार निर्धारित कर लेता है। जैसे ही वलय केन्द्र को घेरने वाले पृष्ठ को पंक्चर करते हैं तो बाह्य पृष्ठ का बल धागे को खिंचता है तथा धागा वर्तुलाकार प्राप्त कर लेता है।

द्रव की निम्नतम पृष्ठीय क्षेत्रफल प्राप्त करने की प्रवृत्ति भी पृष्ठ तनाव का परिणाम है। उपरोक्त प्रयोग में पंक्चर के बाद शेष क्षेत्रफल पुर्नव्यवस्थित होकर वर्तुलाकार प्राप्त करता है। निश्चित आयतन की आकृति विभिन्न आकार ले सकती है। लेकिन गोलों का पृष्ठीय क्षेत्रफल इन सबमें से न्यूनतम होता अतः यह वर्तुलाकार हो जाता है। यही कारण है कि द्रव बूंद भी गोलाकार होती हैं। गुरुत्वाकर्षण के कारण गोलीय आकृति में कुछ विकृति आ सकती है लेकिन छोटी बूंदों में इसका प्रभाव नगण्य होता है।

पृष्ठ तनाव की आणविक बलों के आधार पर व्याख्या (Explanation of Surface Tension on the Basis of Molecular Forces)

पृष्ठ तनाव की व्याख्या अन्तराणविक बलों के आधार पर की जा सकती है। इसके लिए द्रव सतह में प्रत्येक अणु को केन्द्र मानकर आणविक परास के तुल्य त्रिज्या के आणविक प्रभाव के गोलों की कल्पना करते हैं। इस गोले के अन्दर के सभी अणु केन्द्रीय अणु को अपनी ओर ससंजक बल (Cohesive force) से आकर्षित करते है। चित्र 4.4 में आणविक प्रभाव विभिन्न गोले दर्शाये गये हैं। माना कि इकाई पृष्ठ पर पानी द्वारा कार्यरत बल वायु की तुलना में अधिक है।



चित्र 4.4

A आणविक प्रभाव का गोला पूर्णतः द्रव के भीतर है अतः इस पर सभी ओर से कार्यरत अन्तराणविक बलों के कारण परिणामी बल शून्य होगा। B गोले को नीचे की ओर खींचने वाला बल ऊपर की ओर खींचने वाले बल से अधिक होगा। C गोला आधा द्रव के अन्दर और आधा बाहर है अतः नीचे की ओर लगने वाला परिणामी बल B से अधिक है; इसी प्रकार D गोले पर नीचे की ओर परिणामी बल अधिकतम होगा। यदि ये समस्त गोले कम से कम 10–15 आणविक व्यास से ज्यादा गहराई पर हो।

इस प्रकार द्रव सतह के अणुओं पर नीचे की ओर लम्बवत् बल कार्यरत होता है इससे सतह के क्षेत्रफल का परिमाण कम होता है जिससे सतह खींची हुई रबड़ की झिल्ली की तरह व्यवहार करती है। इस प्रकार यदि किसी अन्दर के अणु को सतह पर लाया जाता है तो उसे अन्दर की ओर लगने वाले आकर्षण बल के विरूद्ध कार्य करना पड़ता है। यह कार्य अणु की स्थितिज ऊर्जा के रूप में सतह पर संचित होता है चूंकि प्रत्येक अणु न्यूनतम स्थितिज ऊर्जा प्राप्त करने का प्रयास कर द्रव के अन्दर की ओर जाने का प्रयास करता है जिससे द्रव सतह के सिकुड़ने को समझा सकते है, अतः द्रव सतह पर पृष्ठ तनाव होता है।

ससंजक तथा आसंजक बल

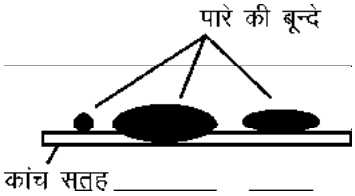
अन्तराणविक बलों को निम्न दो भागों में वर्गीकृत कर सकते हैं –

(अ) ससंजक बल (Cohesive force) – एक ही द्रव के अणुओं के मध्य लगने वाले आकर्षण बल को ससंजक बल कहते हैं जैसे पानी के अणुओं के मध्य लगने वाला बला।

(ब) आसंजक बल (Adhesive force) – दो विभिन्न द्रव्यों के अणुओं के मध्य लगने वाले आकर्षण बल को आसंजक बल कहते हैं जैसे पारा (Hg) और कांच के अणुओं के मध्य लगने वाला बल।

उदाहरण 4.2 – कांच की पट्टिका पर जल चिपक जाता है पारा नहीं। क्यों?

हल – जल के अणुओं के मध्य लगने वाला ससंजक बल जल व कांच के अणुओं के मध्य लगने वाले आसंजक बल से कम होता है जिससे कांच पट्टिका पर जल चिपक जाता है जबकि पारे के अणुओं के मध्य लगने वाला ससंजक बल, पारा और कांच के अणुओं के मध्य लगने वाले आसंजक बल से अधिक होता है। इसलिए पारा, पट्टिका से चिपकता नहीं है बल्कि छोटी–छोटी नव चन्द्रकार रूप धारण कर लेता है, यदि बूंद छोटी हो तो वृत्ताकार रूप धारण कर लेती है।

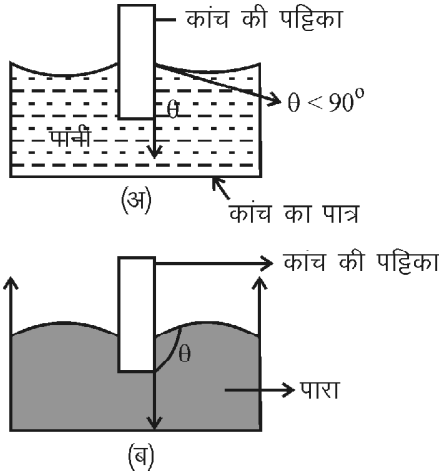


चित्र 4.5

स्पर्श कोण या सम्पर्क कोण (Contact Angle)

जब ठोस सतह (कांच) पर द्रव (पानी, पारा) डाला जाता है, तो सम्पर्क के स्थान पर द्रव की सतह वक्राकार हो जाती है। उदाहरण के लिए यदि पानी कांच के सम्पर्क में आता है तो पानी की सतह अवतल (Concave) तथा पारा कांच के सम्पर्क में आता है तो पारे की सतह उत्तल (Convex) हो जाती है। स्पर्श कोण का मान ठोस ओर उसके सम्पर्क में आने वाले द्रव की प्रकृति पर निर्भर करता है इसका मान 0° से 180° के बीच हो सकता है।

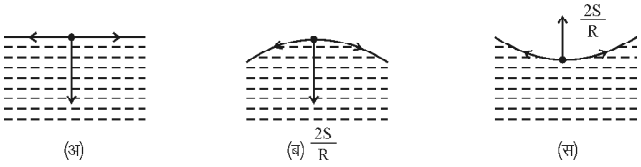
जब द्रव, ठोस के सम्पर्क में आता है तो द्रव के वक्र भाग पर खींची गई स्पर्श रेखा तथा ठोस के स्पर्शीय पृष्ठ पर खींची स्पर्श रेखा के बीच बने कोण को सम्पर्क या स्पर्श कोण (θ) कहते हैं। सम्पर्क कोण का मान न्यून या अधिक कोण हो सकता है। ये स्थितियां चित्र 4.6 (अ) एवं (ब) में दर्शायी गयी है। अवतल सतह तब बनती है जब आसंजक बल का मान ससंजक बल से अधिक हो। ऐसे में सम्पर्क कोण का मान 90° से कम होता है ($\theta < 90$) जैसे पानी–कांच उत्तल सतह तब बनती है जब ससंजक बल का मान आसंजक बल से कम हो। ऐसे में सम्पर्क कोण का मान 90° से अधिक तथा 180° से कम रहता है ($90 < \theta < 180°$) द्रव सतह की यह प्रकृति होती है कि आसंजक व ससंजक बल के परिणामी बल के लम्बवत् होती है। यह स्थिति पारे, कांच एवं पानी–मोम के मध्य बनती है।



चित्र 4.6

द्रव के वक्र का दाब आधिक्य

द्रव सतह पृष्ठ तनाव के कारण खींची हुई झिल्ली की तरह होती है। मुक्त सतह समतल हो तो सतह पर स्थित प्रत्येक अणु दूसरे अणुओं द्वारा सभी दिशाओं में समान बलों द्वारा आकर्षित होता है, अतः पृष्ठ तनाव के कारण परिणामी बल शून्य होता है जैसा चित्र (4.7) में दर्शाया है।

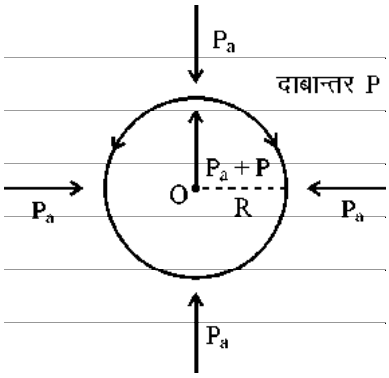


चित्र 4.7

अब यदि द्रव पृष्ठ वक्रीय होता है तो पृष्ठ के किसी अणु पर पृष्ठ तनाव के कारण लगने वाला बल शून्य नहीं होता है द्रव पृष्ठ उत्तल होने पर परिणामी बल पृष्ठ के लम्बवत् नीचे (अन्दर) की ओर चित्र (4.7 अ) तथा द्रव पृष्ठ के अवतल होने पर यह पृष्ठ के लम्बवत् ऊपर (बाहर) की ओर (चित्र 4.7 ब) लगता है। वक्र पृष्ठ के सन्तुलन के लिए आवश्यक है कि कोई अन्य विपरीत बल भी द्रव पृष्ठ पर लगे। यह बल वक्रीय द्रव पृष्ठ के दोनों ओर के दाबान्तर के कारण उत्पन्न होता है। द्रव पृष्ठ के अवतल पृष्ठ पर दाब उत्तल पृष्ठ से अधिक होता है। यह दाबान्तर $\frac{2S}{R}$ जहां S-पृष्ठ तनाव तथा R वक्र तल की वक्रता त्रिज्या है।

द्रव की गोल बूंद तथा बुलबुले के अन्दर दाब आधिक्य (Excess Pressure in a Soap Bubble)

किसी गोद बूंद का पृष्ठ उत्तल होता है अतः प्रत्येक अणु द्वारा अन्दर की ओर बल अनुभव किया जाता है। जैसा कि चित्र 4.8 में दर्शाया गया है।

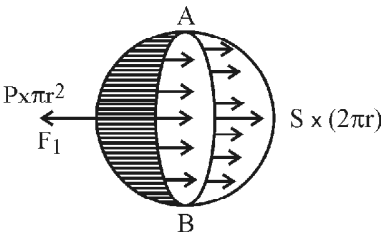


चित्र 4.8

साम्यावस्था के लिए अवतल पृष्ठ की ओर एक अतिरिक्त दाब के कारण बल लगाना आवश्यक होता है। यहां बाह्य दाब एवं पृष्ठ तनाव के कारण उत्पन्न दाब, दोनों को, अन्दर का दाब सन्तुलित करता है। अतः अन्दर का दाब बाह्य दाब से अधिक होता है तथा $P_a + P - P_a = \frac{2S}{r}$ द्रव बूंद में एक ही पृष्ठ होता है।

अब हम आधी बूंद के सन्तुलन पर विचार करते हैं जो कि चित्र 4.9 में दर्शायी गयी है।

1. समतल पृष्ठ A B की परिधि (लम्बाई) पर पृष्ठ तनाव के कारण बल $F = S \times 2\pi R$



चित्र 4.9

2. चूंकि दाब आधिक्य p है जो तीर की ओर कार्य करता है तो बूंद के काट क्षेत्र πR^2 होने से कार्यरत बल $F_1 = p \times \pi R^2$

अतएव बूंद को सन्तुलन में रखने के लिए

$$p\pi R^2 = S \times 2\pi R$$

या $$p = \frac{2S}{R} \qquad (4.5)$$

यदि बूंद के स्थान पर साबुन के घोल के बुलबुले पर विचार करें तो इसके अन्दर व बाहर दो तल होंगे। दोनों तल अन्दर की ओर होंगे तो पृष्ठ तनाव S के कारण बल $S \times 2 \times 2\pi R$ होगा एवं

$$p\pi R^2 = S \times 2 \times 2\pi R$$

या $$p = \frac{4S}{R}$$

या $p = 2\times\left(\frac{2S}{R}\right)$ (4.6)

उदाहरण 4.3 – पानी की 10^{-2} मी. त्रिज्या की एक बूंद 1000 समान बूंदों में टूट जाती है। पृष्ठ ऊर्जा में वृद्धि ज्ञात कीजिये। पानी का पृष्ठ तनाव 0.075 N/m² है।

हल – मूल बूंद का आयतन

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\times\pi\times\left(10^{-2}\right)^3$$

$$= \frac{4}{3}\pi\cdot 10^{-6}$$

एवं $A_1 = 4\pi R^2 = 10^{-4}\cdot 4\pi$

1000 छोटी बूंदों का आयतन भी $V = 1000\times\frac{4}{3}\pi r^3$;

(प्रत्येक छोटी बूंद की त्रिज्या r)

$10^{-9} = r^3$

$\Rightarrow r = 10^{-3}$ m

1000 छोटी बूंदों का पृष्ठीय क्षेत्रफल $A_2 = 1000\times 4\pi r^2$

$$= 1000\times 4\pi\left(10^{-3}\right)^2$$

$$= 4\pi\cdot 10^{-3}$$

पृष्ठीय क्षेत्रफल में वृद्धि

$$\Delta A = A_2 - A_1 = 4\pi\times 10^{-3} - 4\pi\times 10^{-4}$$

$$= 4\pi\times 10^{-3}(1-.1)$$

$$= 3.6\pi\times 10^{-3}$$

पृष्ठ ऊर्जा में वृद्धि $= \Delta U = S\Delta A$

$$= 0.075\times 3.6\pi\times 10^{-3}$$

$$= 8.5\times 10^{-4}\text{ जूल}$$

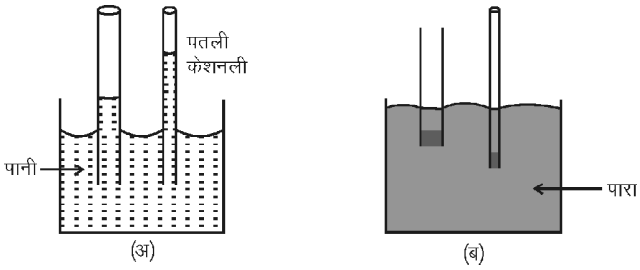
उदाहरण 4.4 – पारे की 1.5 मी.मी. की बूंद के अन्दर दाब आधिक्य ज्ञात कीजिये। पारे का पृष्ठ तनाव S=0.464 न्यूटन प्रति मीटर²

हल – दाब आधिक्य $\Delta\rho = \frac{2S}{R}$

$$= \frac{2\times 0.464}{1.5\times 10^{-3}} = 0.619 \text{ न्यूटन प्रति मी}^2$$

केशिका नली एवं केशिकात्व
(Capillary and Capillary Action)

केश के समान बारीक छिद्र वाली नली को केशिका या केश नली कहते हैं। जब कांच की केश नली को किसी द्रव में सीधी खड़ी करें तो पृष्ठ तनाव के कारण द्रव उसमें ऊपर चढ़ जाता है या नीचे गिर जाता है। केश नली का सुराख जितना बारीक होगा यह क्रिया उतनी अधिक प्रभावी होगी। विभिन्न स्थितियों को चित्र 4.10 में दर्शाया गया है।



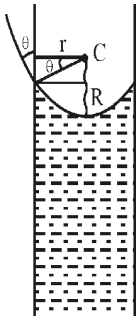
चित्र 4.10

जो द्रव केश नलिका को भिगोते हैं अर्थात् सम्पर्क कोण $\theta < 90°$ (आसंजक बल > ससंजक बल) वे कांच की केश नली में ऊपर चढ़ते है जैसा चित्र 4.10 (अ) में दर्शाया है दूसरी ओर वे द्रव जो केश नलिका को नहीं भिगोते हैं जैसे पारा, सम्पर्क को अधिक कोण (आसंजक बल > आसंजक बल) हो वे केश नलिका में नीचे गिरते हैं जैसा चित्र 4.10 (ब) में दर्शाया है।

केश नलिका में द्रव के ऊपर चढ़ने या नीचे उतरने की घटना को केशिकात्व कहते हैं।

केशिकात्व का कारण (Causes of Capillary Action)

केशिकात्व का मूल कारण पृष्ठ तनाव है जब केश नली को द्रव में डुबोया जाता है तो नली के अन्दर द्रव की सतह वक्रीय होती है (जल की अवतल व पारे की उत्तल होती है)। माना कि केशिका नली की त्रिज्या r, द्रव का पृष्ठ तनाव S एवं P है। केशिका नली की त्रिज्या अतिन्यून एवं इसमें द्रव पृष्ठ लगभग गोलाकार है। यह स्थिति चित्र 4.11 में दर्शायी गयी है। चित्र में वक्र की त्रिज्या R है। अवतल सतह के ठीक नीचे जल में दाब, सतह के ऊपरी दाब से कम होता है। यह R वक्र तल की त्रिज्या तथा S पृष्ठ तनाव है। इस कारण यदि पृष्ठ के ऊपर दाब ρ (वायुमण्डलीय दाब) है तो नीचे द्रव में दाब $\left(\rho - \frac{2S}{R}\right)$ होगा। दाब की इस कमी को पूरा करने के लिए द्रव निश्चित ऊंचाई h तक नली में चढ़ेगा। साम्यावस्था में



चित्र 4.11

$$\frac{2S}{R} = \rho g h \qquad (4.7)$$

यहां ρ = द्रव का घनत्व एवं g = गुरुत्वीय त्वरण है।

माना केशनलिका की त्रिज्या r है, जल व कांच के बीच सम्पर्क कोण θ है। r के न्यूनमान के लिए :

$$\text{Cos}\,\theta = \frac{r}{R}$$

$$\text{या}\, R = \frac{r}{\text{Cos}\,\theta} \qquad (4.8)$$

समी. (4.8) का मान (4.7) में रखने पर

$$\rho g h = \frac{2S}{\frac{r}{\text{Cos}\,\theta}}$$

$$= \frac{2S\,\text{Cos}\,\theta}{r}$$

$$h = \frac{2S\,\text{Cos}\,\theta}{r\rho g} \qquad (4.9)$$

या $\quad h \propto \frac{1}{r}$

सूत्र से स्पष्ट है r का मान जितना कम होगा h का मान उतना ही अधिक होगा।

$S = \frac{hr\rho g}{2\,\text{Cos}\,\theta}$ से पृष्ठ तनाव ज्ञात कर सकते हैं। (4.10)

इसमें यदि नवचन्द्रक (द्रव की सबसे उपरी सतह का आकार) में स्थित द्रव के कारण त्रुटि संशोधन करते हैं तो

$$h = \frac{2S}{\rho g r} - \frac{r}{3} \qquad (4.11)$$

यह मान रखकर S का मान ज्ञात किया जा सकता है। समी. (4.9) एवं (4.11) से यह समझाया जा सकता है कि यदि नली की लम्बाई, h से कम हो तो द्रव बाहर नहीं आयेगा।

इसी तरह द्रव के नीचे उतरने को भी समझाया जा सकता है।

पृष्ठ तनाव पर विभिन्न कारकों का प्रभाव

(Effect of Various Factors on Surface Tension)

(i) ताप का प्रभाव – ताप बढ़ाने पर अणुओं के मध्य दूरी बढ़ती है जिससे इनमें लगने वाला ससंजक बल कम हो जाता है अतः ताप बढ़ाने पर पृष्ठ तनाव घटता है एक निश्चित ताप (क्रान्तिक ताप) पर इसका मान शून्य हो जाता है। इसीलिए ठण्डा सूप के स्थान पर गरम सूप अच्छा लगता है, पृष्ठ तनाव कम होने से हमारी जिव्हा में फैलता है।

(ii) विलेय का प्रभाव – यदि विलेय घुलनशील हो (जैसे पानी में नमक, चीनी) तो द्रव का पृष्ठ तनाव बढ़ जाता है यदि विलेय कम घुलनशील पदार्थ (जैसे पानी में, मिट्टी का तेल, साबुन, फिनोल) डालने पर पृष्ठ तनाव घट जाता है, पानी में मिट्टी का तेल डालने से पृष्ठ तनाव कम हो जाता है मच्छर पानी की सतह पर तैर नहीं पाते हैं तथा मरने लगते हैं।

(iii) संदूषण का प्रभाव – किसी द्रव की सतह पर कोई चिकनाई जैसे कि ग्रीस, तेल आदि हो तो पृष्ठ तनाव घट जाता है, इसी प्रकार अपमार्जक पानी में मिलाया जाता है तो पृष्ठ तनाव कम होता है जिससे अपमार्जक युक्त पानी कपड़े को आसानी से गिला कर आसानी से कपड़ों के छिद्रों तक पहुंचता है जिससे कपड़ों की अच्छी सफाई हो जाती है।

महत्वपूर्ण बिन्दु

1. द्रव का वह गुण जिसके कारण द्रव की सतह खींची हुई झिल्ली की तरह व्यवहार करती है अर्थात् द्रव अपनी सतह को न्यूनतम करना चाहता है पृष्ठ तनाव कहलाता है।
2. द्रव की मुक्त सतह में खींची गई काल्पनिक रेखा पर प्रति एकांक लम्बाई पर लगने वाला बल को पृष्ठ तनाव कहते हैं अथवा द्रव की मुक्त सतह में एकांक क्षेत्रफल की वृद्धि करने के लिए आवश्यक कार्य द्रव के पृष्ठ तनाव के बराबर होता है।
3. ससंजक बल – समान द्रव के अणुओं के बीच लगने वाला बल।
4. आसंजक बल – विभिन्न द्रवों के अणुओं के मध्य लगने वाला बल।
5. स्पर्श कोण – किसी द्रव सतह पर खींची गई स्पर्श रेखा तथा द्रव के भीतर की ठोस सतह के मध्य के कोण को स्पर्श कोण कहते हैं।
6. किसी द्रव बूंद के अन्दर का दाब आधिक्य $\frac{2S}{r}$ होता है।

   साबुन के बुलबले का दाब आधिक्य $\frac{4S}{r}$ होता है।
7. यदि S पृष्ठ तनाव के द्रव में r त्रिज्या की केश नली को डुबोया जाता है। उसमें पानी h ऊँचाई तक चढ़ता है तथा

   $S = \frac{hr\rho g}{2\,\text{Cos}\,\theta}$

8. पृष्ठ तनाव द्रव की प्रकृति, ताप व विलेय पर निर्भर करता है ताप बढ़ने से पृष्ठ तनाव कम होता है, अशुद्धि (साबुन) मिलाने पर भी कम होता है।

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. पृष्ठ तनाव का मात्रक है –
   (अ) न्यूटन–मीटर (ब) जूल
   (स) न्यूटन (द) न्यूटन/मीटर
2. एक द्रव के अणुओं के मध्य लगने वाले बल को कहते हैं–
   (अ) आसंजक तथा ससंजक बलों का योग
   (ब) केवल आसंजक बल
   (स) केवल ससंजक बल
   (द) गुरुत्वीय तथा आसंजक बलों का योग
3. एक साबुन के बुलबुले की त्रिज्या 0.2 cm है यदि पृष्ठ तनाव S डाइन/सेमी है तो बुलबुले के अन्दर का दाब आधिक्य होगा –
   (अ) T (ब) 10 T
   (स) T/2 (द) 4T
4. पारा कांच की छड़ के साथ कोण बनाता है –
   (अ) समकोण (ब) न्यून कोण
   (स) अधिक कोण (द) ऋजु कोण
5. अशुद्धि मिलाने पर द्रव का पृष्ठ तनाव –
   (अ) घटता है।
   (ब) बढ़ता है।
   (स) स्थिर होकर बढ़ता है।
   (द) अपरिवर्तित रहता है।
6. दो द्रव बूंदों की त्रिज्याओं का अनुपात 1 : 2 है, दाब आधिक्यों का अनुपात होगा –
   (अ) 1 : 2 (ब) 2 : 1
   (स) 1 : 4 (द) 4 : 1

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. पृष्ठ तनाव व पृष्ठ ऊर्जा में क्या सम्बन्ध है?
2. आसंजक बल को परिभाषित कीजिये।
3. पारे की छोटी–छोटी बूंदों को पास लाने पर वे मिलकर बड़ी बूंद क्यों बना देती है?
4. खेतों में बरसात के तुरन्त बाद जुताई कर दी जाती है क्यों?
5. चाँदी की केशनली में जल का नवचन्द्रक समतल होता है क्यों?
6. जल का ताप बढ़ाने पर उसके पृष्ठ तनाव पर क्या प्रभाव पड़ता है?

लघुत्तरात्मक प्रश्न

1. पृष्ठ तनाव किसे कहते हैं? इसे आणविक बलों के आधार पर स्पष्ट करो।
2. सम्पर्क कोण किसे कहते हैं? समझाइये।
3. साबुन का घोल शुद्ध जल के सापेक्ष कपड़ों की अच्छी धुलाई करता है, समझाइये।
4. पृष्ठ तनाव को प्रभावित करने वाले कारक लिखिये।
5. पारे की छोटी बूंद गोल परन्तु बड़ी बूंद चपटी क्यों होती है?
6. केशिकात्व का क्या कारण है, समझाइये।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. सिद्ध कीजिये साबुन के बुलबुले में दाब आधिक्य $\frac{4S}{r}$ होता है। यदि S साबुन के घोल का पृष्ठ तनाव है व r बुलबुले की त्रिज्या है।
2. केशिकात्व क्या है? केशनली में चढ़े जल स्तम्भ की ऊँचाई का सूत्र स्थापित कीजिये।
3. पृष्ठ तनाव पर आधारित कुछ दैनिक घटनाओं का वर्णन कीजिये।
4. केशिकात्व पर आधारित कुछ व्यवहारिक उदाहरणों का उल्लेख कीजिये।
5. पानी पर तैरती हुई सुई की लम्बाई 2.5 सेमी है। सुई को पानी के तल के ऊपर उठाने के लिए सुई भार के अतिरिक्त कम से कम कितना बल लगाना पड़ेगा? पानी का पृष्ठ तनाव 7.2 न्यूटन/सेमी है।
6. किसी द्रव की एक आयताकार फिलम 5 सेमी लम्बी तथा 3 सेमी चौड़ी है। यदि उसका आकार 6 सेमी × 5 सेमी करने के लिए 3×10^{-4} जूल कार्य करना पड़े तो द्रव का पृष्ठ तनाव ज्ञात कीजिये।
7. सिद्ध करो R त्रिज्या की पानी की बड़ी बूंद को r त्रिज्या की छोटी बूंदों में फुहारने पर पृष्ठ ऊर्जा में वृद्धि $S \cdot 4\pi R^2\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{R}\right)$ होगी T पृष्ठ तनाव है।
8. 2×10^{-3} मीटर त्रिज्या के साबुन क बुलबुले के दाब आधिक्य का परिकलन करो। साबुन के घोल का पृष्ठ तनाव 0.04 न्यूटन/मी है।
9. दो केशनलियां जिनके व्यास क्रमशः 5.0 व 4.0 मिमी है, एक–एक करके जल में खड़ी की जाती है। प्रत्येक नली में जल कितनी ऊँचाई तक चढ़ेगा?

उत्तरमालाः 1 (द) 2 (स) 3 (ब) 4 (स) 5 (अ) 6 (ब)