9

द्रवस्थैतिकी एवं पृष्ठ तनाव

9.1 भूमिका

पिछले अध्याय में आपने पढ़ा कि अंतराणुक बल एवं ऊष्मीय गति के सम्मिश्रण से पदार्थ की तीन विभिन्न अवस्थाएँ – ठोस, द्रव एवं गैस होती हैं।

आपने देखा होगा कि द्रव पृथ्वी के गुरुत्वीय बल के कारण आनत सतह (नीचे की ओर झुकी सतह) पर बह सकता है इसलिए इसे **तरल** भी कहते हैं। तरलों में अपरूपक बलों का विरोध करने की क्षमता नहीं होती है। तरल किसी भी अपरूपक बल (Shearing forces) से विरूपित हो सकते हैं अर्थात् इनकी प्रत्यास्थता नगण्य होती है।

ठोस को स्थिर रखने के लिए केवल एक तल की आवश्यकता होती है जबकि किसी द्रव को स्थिर रखने के लिए दीवार वाले बर्तन चाहिए। जितना गहरा बर्तन होगा, उसकी दीवारें उतनी ही मजबूत होनी चाहिए । क्या आप जानते हैं? ऐसा क्यों? क्या आप विश्वास कर सकते हैं कि एक हाइड्रॉलिक लिफ्ट किसी तराजू के पलड़ों की तरह के एक प्लेटफार्म पर आप स्वयं एवं दूसरे पर हाथी को खड़ा कर आप अपने ही भार से एक हाथी को उठा सकते हैं, उसे संतुलित कर सकते हैं।

क्या आप पानी के ऊपर चल सकते हैं? किन्तु मच्छर स्थिर पानी पर खड़ा हो सकता है और चल भी सकता है। क्यों? इसी प्रकार जब किसी समतल भूमि पर पारा गिर जाता है तो छोटी–छोटी गोलाकार बूंदें बन कर यह बिखर जाता है। क्या आप जानते है ऐसा क्यों? लोहे या स्टील की सूई का पानी की सतह पर तैरना क्या आश्चर्यजनक नहीं है?

इन सभी आश्चर्यजनक प्रेक्षणों की व्याख्या की जा सकती है यदि द्रवों के कुछ मूलभूत गुणों जैसे द्रवस्थैतिक दबाव, पास्कल का नियम, पृष्ठ तनाव आदि को समझ लिया जाय। इस अध्याय में आप इन्ही सब बातों के बारे में पढ़ेंगे। अगले अध्याय में आप द्रवों के प्रवाह के विषय में पढ़ेंगे।

9.2 उद्देश्य

इस अध्याय के अध्ययन के बाद आप:

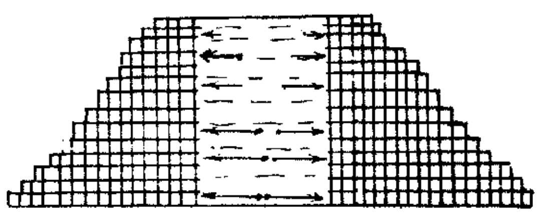
- *किसी बर्तन में रखे द्रव की निश्चित गहराई पर द्रवस्थैतिक दबाव की गणना कर सकेंगे;*

- *पॉस्कल के नियम की व्याख्या कर सकेंगे;*
- *हाइड्रॉलिक प्रेस, हाइड्रालिक लिफ्ट और हाइड्रालिक ब्रेक की क्रिया विधि की व्याख्या कर सकेंगे;*
- *द्रवों के पृष्ठ तनाव गुण की व्याख्या कर सकेंगे*
- *द्रव बूंदों का गोलाकार रूप, मच्छरों के पानी की सतह पर तैरने आदि की व्याख्या कर सकेंगे;*
- *कोशिका में जल के चढ़ने की व्याख्या एवं समीकरण की व्युत्पत्ति कर सकेंगे;*
- *पृष्ठ तनाव की परिभाषा एवं इससे दैनिक जीवन के अनेक उदाहरणों की व्याख्या कर सकेंगे।*

9.3 द्रवस्थैतिक दाब

क्या आपको किसी बाँध की बनावट देखने का मौका मिला है? चित्र 9.1 में एक ऊंचे बाँध को दिखाया गया है। इसे साधारण दीवारों की तरह समान मोटाई की न बनाकर नीचे आधार की ओर मोटी बनाई जाती है। क्या आप जानते हैं ऐसा क्यों ?

द्रव भी ठोस की तरह अपने भार के कारण नीचे आधार पर दबाव डालता है। द्रव बर्तन (बाँध) की दीवारों पर भी दाब डालता है। **द्रवतल से आधार तक की जितनी ज्यादा गहराई होती है उतना ही दाब अधिक होता है।** बाँध में चूँकि काफी ऊँचाई तक जल का संग्रह करना पड़ता है अत: बाँध की दीवारों पर दबाव भी काफी अधिक होता है। इस अत्यधिक दबाव को सहने के लिए ही बाँधों की दीवारें चित्र 9.1 की तरह से बनाई जाती हैं। यदि द्रव की गहराई ज्यादा न हो, तो कम मोटी दीवारों से भी काम चल जाता है। दीवार की मोटाई इतनी हो कि द्रव के दाब को सहन कर सके।



चित्र 9.11 : बाँध के बगल की दीवार की बनावट (विभिन्न गहराई पर तीर की लंबाई दीवार पर लग रहे जल के दबाव के परिमाण के अनुरूप हैं)

किसी बर्तन में स्थिरावस्था में रखे द्रव के द्वारा द्रव के अन्दर किसी भी बिंदु पर लगाए गए दबाव को द्रवस्थैतिक दबाव (द्रव का दबाव) कहते हैं। स्थिर अवस्था में द्रव के अध्ययन को द्रवस्थैतिकी कहते हैं।

चूँकि प्रति इकाई क्षेत्रफल पर लगने वाले बल को दाब कहते हैं अत:

$$\text{दाब} = \frac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}} \quad \frac{\text{न्यूटन}}{(\text{मीटर})^2} \qquad \text{..... (9.1)}$$

दाब का मात्रक NM^{-2}

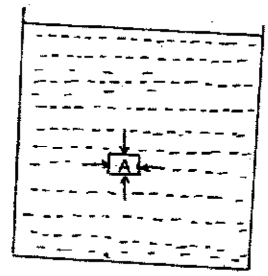
इसे फ्रांसीसी वैज्ञानिक ब्लैस पास्कल (1623-1662) के सम्मान में जिन्होंने तरलों के दाब पर बहुत से अनुसंधान कार्य किए, पॉस्कल भी कहा जाता है। पास्कल को **Pa** से प्रदर्शित करते हैं।

आइए अब हम द्रवस्थैतिक दाब के लिए समीकरण की व्युत्पत्ति करें।

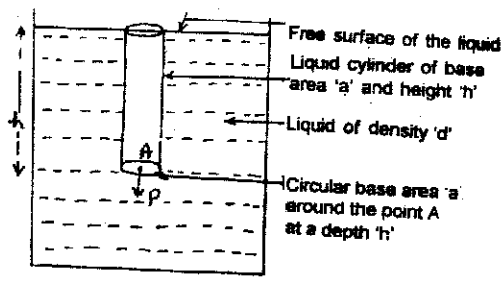
9.3.1 द्रव के भीतर किसी बिंदु पर द्रवस्थैतिक दाब

मान लीजिए कि पात्र में किसी द्रव की मुक्त सतह से 'h' गहराई पर एक छोटी वस्तु A है। द्रव पात्र की दीवारों

पर दबाव डालता है। चित्र 9.2 को ध्यान से देखिए। A बिन्दु पर दबाव P लंबवत् नीचे की ओर लग रहा है। इसका मान A बिन्दु के ऊपर, प्रति इकाई क्षेत्रफल पर द्रव के भार के बराबर होगा।



चित्र 9.2 : द्रव में डूबी हुई वस्तु के चारों ओर द्रव के द्वारा लगाया गया दबाव।



चित्र 9.3 : माना A बिंदु द्रव के मुक्त तल से 'h' गहराई पर है।

अब 'A' बिंदु के ऊपर द्रव के एक ऐसे बेलन की कल्पना करें जिसके आधार का क्षेत्रफल 'a' और ऊँचाई 'h' है (चित्र 9.3 देखिए)। इस बेलनाकार द्रव का भार

= मात्रा × गुरुत्व जन्य त्वरण

= (बेलन का आयतन) × (द्रव का घनत्व) × (गुरुत्व जनित त्वरण)

$W = (a \times h) \times (d) \times g$

यह भार A पर 'a' क्षेत्रफल पर लंबवत् नीचे की ओर कार्य करता है

$\therefore$ द्रव का A पर दाब = $\dfrac{\text{भार}}{\text{क्षेत्रफल}} \Rightarrow \dfrac{a \times h \times d \times g}{a}$

$\Rightarrow P = hdg$

$$\boxed{P = \text{गहराई} \times \text{घनत्व} \times \text{गुरुत्वीय त्वरण}}$$

यह ध्यान देने योग्य है कि द्रव के दाब के व्यंजक में क्षेत्रफल ' a ' कहीं भी नहीं आता है।

उदाहरण 9.1 : सीमेंट की 1 मीटर मोटी दीवार $10^5 \times m^{-2}$ का दाब सह सकती है। 100 मीटर गहरे पानी के बाँध के आधार पर दीवार की मोटाई कितनी होनी चाहिए? जल का घनत्व, $10^3 \ kg\, m^{-3}$ एवं गुरुत्व त्वरण $= 9.8 \ ms^{-2}$

हल :

100 मी० गहरे तल पर बाँध के बगल की दीवार पर दाब

$$P = hdg$$
$$P = 100 \times 10^3 \times 9.8 \text{ Nm}^{-2}$$
$$= 9.8 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

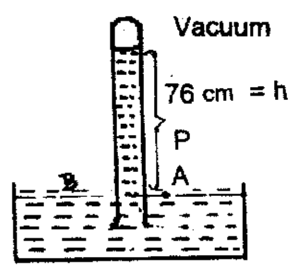
$\therefore$ दीवार की अपेक्षित मोटाई $= \dfrac{9.8 \times 10^5}{10^5}$ m

$= 9.8$ m

9.3.2 वायुमंडलीय दाब की गणना

टेरिसेली ने द्रव के दबाव के सूत्र का उपयोग वायुमंडलीय दाब का मान ज्ञान करने में किया।

उन्होंने लगभग 1 मीटर लंबी काँच की पतली नली (कोशिका नली नहीं) में 13,600 कि० ग्राम मीटर$^{-3}$ घनत्व वाला पारा भर दिया इसके खुले मुँह को अंगूठे में दबा कर इसे पारे से भरी एक नाद में उलट कर ऊर्ध्व रूप से स्थिर कर दिया। नली का कुछ पारा बाहर नाद में गिर गया और नली में मुक्त तल के ऊपर लगभग 76 से०मी० लंबे पारे का स्तम्भ (कॉलम) रह गया (चित्र 9.4 देखिए)।



चित्र 9.4

चूँकि B बिंदु पर दाब = वायुमंडलीय दाब = P, B से क्षैतिज रेखा के बिंदु A पर भी दाब

द्रव का दाब = hdg

$\therefore$ वायुमंडलीय दाब = $P = hdg = 0.76 \times 13{,}600 \times 9.8 \text{ Nm}^{-2}$

$$P = 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

9.3.3 पॉस्कल का नियम

क्या आपने कभी हाइड्रॉलिक जैक देखा है ? किसी मोटर-कार्यशाला में जाइए जहां कार, ट्रक आदि की सफाई की जाती है। इन गाड़ियों को हाइड्रॉलिक जैक की मदद से लगभग 5 फीट या उससे भी अधिक ऊँचाई तक उठा दिया जाता है ताकि पानी की तेज धार से वाहन के निचले भाग की सफाई की जा सके। आपने कपास (रुई) के गट्ठर भी अवश्य देखे होंगे। इन्हें भी हाइड्रॉलिक प्रेस की मदद से बनाया जाता है। हाइड्रॉलिक जैक और हाइड्रॉलिक प्रेस दोनों एक ही सिद्धांत पर कार्य करते हैं जिसे **पॉस्कल का नियम** कहते हैं।

पॉस्कल के नियम को **द्रव के दाब के संचरण का नियम** भी कहा जाता है। नियम की परिभाषा:

निश्चित परिमाण (मात्रा) के किसी परिबद्ध द्रव के स्थिरावस्था में तल के किसी स्थान पर यदि दबाव डाला जाय तो यह दबाव समान परिमाण में पूरे द्रव पर, सभी दिशाओं में, संचरित हो जाता है। यह द्रव के सभी स्थानों पर तल के लंबवत् दिशा में लगता है।

द्रव के अंदर या परिसीमा पर कल्पना किए गये तल में द्रव के अणु टकराते एवं वापस उछलते रहते हैं। द्रव के द्वारा, इसकी परिसीमा की प्रति इकाई क्षेत्रफल पर प्रति सेकेन्ड संचरित होने वाला संवेग **दबाव** होता है।

दूसरे शब्दों में यदि कहें तो पास्कल के नियम का आशय यह है कि द्रव के अणुओं द्वारा प्रति इकाई क्षेत्रफल पर प्रति सेकण्ड संचरित संवेग संपूर्ण द्रव में एकसमान होता है।

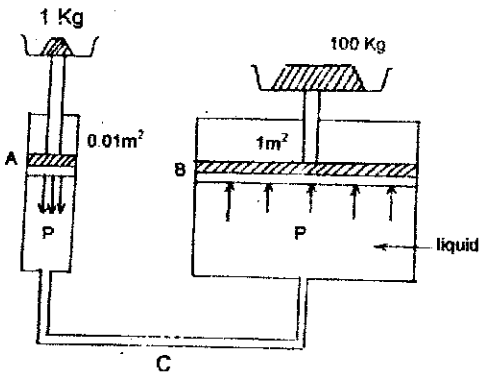
गुरुत्व जैसे बाहरी बल की अनुपस्थिति में द्रव का दबाव केवल द्रव के घनत्व एवं उसके ताप पर निर्भर करता है।

9.3.4 पॉस्कल के नियम के उपयोग

पॉस्कल के नियम का नवीनतम उपयोग चिकित्सा विज्ञान में किया गया है। पानी का बिस्तर (water mattress) (bed) बनाकर रोगी के शरीर के भार का समान वितरण कर शरीर के शूल दाहों (Be-Sores) को कम किया जाता है।

पॉस्कल के नियम के कुछ महत्वपूर्ण उपयोग हैं : (i) हाइड्रॉलिक प्रेस (हाइड्रॉलिक लिफ्ट), (ii) हाइड्रॉलिक ब्रेक और (iii) हाइड्रॉलिक जैक।

(i) हाइड्रॉलिक प्रेस : यह एक सरल युक्ति है जिसके द्वारा एक कम बल को कई गुना अधिक किया जाता है। चूंकि द्रव में दबाव सभी स्थानों पर समान परिमाण में संचरित होता है, एक कम परिमाण के दबाव को अपेक्षाकृत बड़े क्षेत्र में लगाकर उस क्षेत्र पर क्रियान्वित अधिक बल को प्राप्त किया जा सकता है। चित्र (9.5) में इसके सैद्धांतिक आरेख को दिखाया गया है।



चित्र 9.5 : हाइड्रॉलिक लिफ्ट की क्रिया को दर्शाता सैद्धांतिक आरेख।

माना कि पतले बेलन के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल 0.01 m^2 और चौड़े बेलन के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल 1 m^2 है। दोनों बेलन एक पतली ट्यूब c के माध्यम से जुड़े हुए हैं। पूरे यंत्र में तेल अथवा कोई अन्य द्रव भरा हुआ है। यदि बल = 9.8 न्यूटन (1 कि॰ग्रा॰ भार के बराबर) को A बेलन के पिस्टन पर आरोपित किया जाय तो

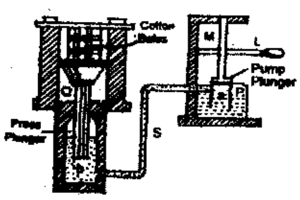


Fig. 9.6: *Hydraulic Press.*

तद्नुसार आरोपित दबाव = $P_A = \dfrac{\text{बल}}{\text{क्षेत्रफल}} = \dfrac{9.8}{0.01}\ Nm^{-2}$

$P_A = 9.8\times10^2\ Nm^{-2}$

यह दबाव B बेलन पर संचरित होता है। अब B बेलन के पिस्टन पर लगने वाला बल

$F_B = P_B \times B$ बेलन का क्षेत्रफल $= 9.8\times10^2\times1$ न्यूटन $= 9.8\times10^2\times N$ अर्थात् 9.8 न्यूटन का बल बढ़ कर 9.8×10^2 न्यूटन (100 कि॰ग्रा॰ भार के बराबर) हो जाता है यानी बल बढ़कर सौगुना हो जाता है जो कि बेलन B और A के अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल के अनुपात के बराबर होता है। संक्षेप में चूंकि

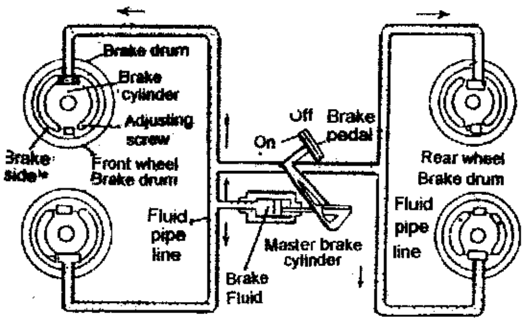
$F_B = P_B \times A_B$ और $F_A = P_A \times A_A$

$$\therefore \frac{F_B}{F_A} = \frac{P_B \cdot A_B}{P_A \cdot A_A} = \frac{A_B}{A_A} \; (\because P_A = P_A)$$

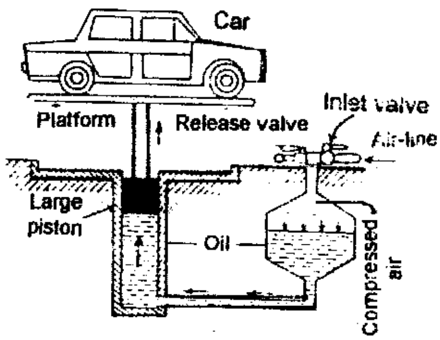
$\frac{F_B}{F_A}$ को हाइड्रॉलिक प्रेस का **यांत्रिक लाभ** कहते हैं।

इस सिद्धांत का उपयोग हाइड्रॉलिक प्रेस की क्रिया विधि में होता है। (हाइड्रॉलिक प्रेस) रूई या ऊन पर गट्ठर, तिलहन (तेल के बीज), नई छपी किताबें आदि को बिल्कुल कम बल लगाकर भी काफी अच्छी तरह दबाया जाता (चित्र 9.6) है।

(ii) हाइड्रॉलिक ब्रेक : पॉस्कल के नियम का दूसरा महत्वपूर्ण उपयोग मोटर गाड़ियों के हाइड्रॉलिक ब्रेक बनाने में होता है। जब ब्रेक-प्लेट पर पैर से कम बल भी लगाया जाता है, तब लगाया गया दबाव ब्रेक के तेल (ब्रेक ऑयल) से होकर संचरित होता है और एक बड़े क्षेत्र पर लगे पिस्टन पर कार्य करता है। पिस्टन की गति से ब्रेक-ड्रम पर लगा ब्रेक-शू खिसकता है और पहिये को रोक देता है। चित्र 9.7 देखिए।



चित्र 9.7 : हाइड्रॉलिक ब्रेक



चित्र 9.8 : हाइड्रॉलिक जैक

9.6.3 हाइड्रॉलिक जैक

क्या आपने कभी मोटर गाड़ियों का वर्कशॉप या सर्विस-स्टेशन देखा है ? वहाँ आपने देखा होगा कि मोटर कार या भारी ट्रक आदि को एक निश्चित ऊँचाई तक उठा दिया जाता है ताकि मिस्त्री सविधापूर्वक नीचे काम कर सके। इसमें भी एक कम दबाव को संचरित कर एक बड़े क्षेत्र पर लगाया जाता है ताकि वाहन को ऊपर उठाने के लिए पर्याप्त बल उत्पन्न किया जा सके। इस प्रकार यंत्र को हाइड्रॉलिक जैक कहते हैं। चित्र 9.8 देखिए।

प्रश्न 9.1

1. *दो बेलनाकार बर्तन A और B जिनके आधार के क्षेत्रफल क्रमशः $0.2\ m^2$ और $0.3\ m^2$ हैं क्रमशः $1500\ kg\ m^{-3}$ तथा $200\ kg\ m^{-3}$ घनत्व वाले द्रवों से भरे हैं। यदि A बर्तन में द्रव की ऊँचाई 0.4 m तथा B बर्तन में द्रव की ऊँचाई 0.31 m हो तो किस बर्तन के तल पर अधिक दबाव लग रहा है? दबावों की गणना करें। दिया हुआ है g = गुरुत्वीय त्वरण = 9.8 ms-2*

   ....

2. *12 $10^{-4}\ m^2$ तलीय (आधार) क्षेत्रफल और 0.07 m ऊँचाई एक कॉफी कप में 0.25 kg भार तक के किसी द्रव को रखने की क्षमता है। 3000 कि० $kg\ m^{-3}$ घनत्व वाले द्रव को इसमें किस ऊँचाई तक जा सकता है जिससे यह पलट न जाय?*

   ....

3. *पॉस्कल का नियम क्या है? हाइड्रॉलिक प्रेस के यांत्रिक लाभ की व्याख्या कीजिए।*

....

4. *एक बड़े हाइड्रॉलिक लिफ्ट के $0.1\ m^2$ क्षेत्रफल के छोटे बेलन पर $50\ mg$ भार का वजन रखा है गणना कीजिए। इसके $10\ m^2$ क्षेत्रफल वाले बड़े बेलन से अधिकतन कितना वजन उठाया जा सकता है?*

....

5. *$5000\ mg$ वजन का एक हाथी एक हाइड्रॉलिक लिफ्ट के $10\ m^2$ क्षेत्रफल वाले बड़े पिस्टन पर खड़ा है। क्या $25\ m^2$ भार का एक लड़का जो कि $0.05\ m^2$ क्षेत्रफल वाले लिफ्ट से छोटे पिस्टन पर खड़ा है, हाथी को संतुलित या ऊपर उठा सकता है ? गणना कर बताइए।*

....

9.4 पृष्ठ तनाव

थोड़ा पारा लें। इसे लगभग आधे मीटर की ऊँचाई से किसी चिपटी सतह पर बड़ी सी परात में गिराएं। आप देखेंगे कि कि पारा छोटी-छोटी बूँदों के रूप में बिखर गया है। क्यों? इन छोटी-छोटी बूँदों को इकट्ठा कीजिए। देखिए क्या होता है? क्या आपने जाड़े के दिनों में सुबह पेड़-पौधों की पत्तियों पर ओस (जल-बूंदों) को देखा है ? यहां भी जल की छोटी बूदें गोल होती हैं। द्रवों की छोटी बूंदें गोल आकार की क्यों होती हैं?

बरसात में पानी के तालाब पर जब वर्षा की बूंदें पड़ती हैं तो जल की सतह पर हवा के बुलबुले बनते हैं। आपने अपने बचपन में साबुन के बुलबुलों से खेला भी होगा?

क्रियाकलाप 9.1

1.साबुन का घोल तैयार करें।

2.इसमें थोड़ा ग्लिसरीन मिलाएँ।

3.किसी बड़े प्लास्टिक या काँच की नली या लकड़ी की नली के के एक सिरे को घोल में डुबाएँ ताकि इसमें थोड़ा घोल भर जाये।

4.इसे बाहर निकालें और दूसरे सिरे को मूँह से फूंकें। देखिए क्या होता है।

5.बड़े आकार के साबुन के बुलबुले बनेंगे।

6.नली को थोड़ा झटका देकर बुलबुले को नली से अलग करें। देखिए बुलबुला हवा में तैरता है।

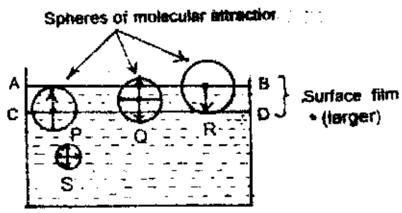
क्या आप जानते हैं कि उपर्युक्त विधि से साबुन के बुलबुले बनाना, शुद्ध जल के बुलबुले बनाने से, ज्यादा आसान है। दैनिक जीवन के ये उदाहरण जैसे कि द्रव की गोल बूंदें, साबुन के बुलबुले आदि द्रव के पृष्ठतनाव गुण के कारण होता है। द्रवों के इस गुण को समझने के लिए अणुओं के बीच आकर्षण बल पर एक बार और चर्चा करें।

प्रत्येक वस्तु सूक्ष्म कणों से बनी होती है जिन्हें हम परमाणु कहते हैं। परमाणुओं के रासायनिक रूप से जुड़े समूह को अणु कहते है। अणुओं के मिलने से यौगिक बनता है। जब द्रव किसी खुले बर्तन में रखा होता है इसका मुक्त तल हमेशा क्षैतिज होता है। आणविक सिद्धांत के अनुसार सभी अणु एक दूसरे को आकर्षित करते हैं। ***एक जैसे (यानी एक ही पदार्थ के) अणुओं के बीच के आकर्षण बल को संसंजन बल कहते हैं। दो असमान किस्म के अणुओं (यानी द्रव एवं ठोस बर्तन के अणु) के बीच के आकर्षण बल को आसंजन बल कहते हैं।*** संसजन एवं आसंजन के ये बल जितनी दूरी तक प्रभावी होते हैं उसे ***आणविक आकर्षण (विस्तार) का क्षेत्र*** कहते हैं। इसका मान लगभग 10[illegible] m (अणु के आकार के लगभग) होता है।

9.4.1 पृष्ठ ऊर्जा

द्रव के सतरह की वह पतली परत जिसकी मोटाई आणविक आकर्षण (बल) क्षेत्र के बराबर होती है, पृष्ठ तल या पृष्ठ–परत कहलाती है।

चित्र (9.9) देखें। P अणु जो कि पूर्णत: द्रव के भीतर है, इसके प्रभाव क्षेत्र के गोले के भीतर के अणुओं द्वारा सभी दिशाओं में आकर्षण का बल लगता है। (प्रभाव क्षेत्र का विस्तार वह काल्पनिक गोला है जिसकी त्रिज्या आणविक आकर्षण की विस्तार दूरी के बराबर और केन्द्र बिन्दु P है)। फलस्वरूप P पर परिणामी संसंजन बल शून्य होता है। परंतु Q,R आदि अणुओं के लिए जो कि पृष्ठ तल के नीचे हैं, के लिए प्रभाव क्षेत्र के गोले का आधा भाग द्रव तल के बाहर होता है जहाँ द्रव के अणु नहीं हैं। फलस्वरूप Q,R अणु पर परिणामी संसंजन बल नीचे की ओर कार्य करता है क्योंकि ऊपरी गोलार्द्ध में अणुओं की संख्या नीचे वाले गोलार्द्ध की अपेक्षा बहुत कम होती है।



चित्र 9.9

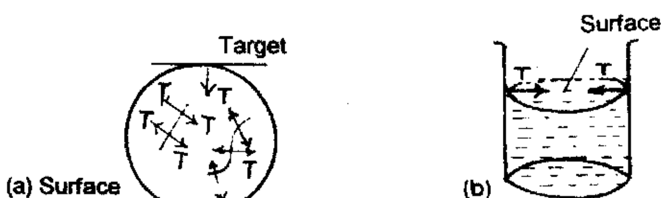
चित्र 9.9 को ध्यान से देखिए। द्रव के तल ABCD पर स्थित सभी अणु नीचे की ओर एक परिणामी संसंजन बल का अनुभव करते हैं। जैसे-जैसे अणुओं की स्थिति CD तल से ऊपरी तल AB की ओर बढ़ती है तैसे-तैसे इस बल का परिमाण बढ़ता है। अत: द्रव के किसी अणु को द्रव के भीतर (CD के नीचे) से ABCD तल तक लाने में नीचे की ओर लगने बल के विरुद्ध कार्य करना पड़ेगा। परिणामस्वरूप पृष्ठ तल के अणुओं की स्थितिज ऊर्जा बढ़ जाती है। चूँकि प्रत्येक निकाय साम्यावस्था की स्थिति में अपनी स्थितिज ऊर्जा न्यूनतम करना चाहता है जिसके लिए आवश्यक है कि तल में अणुओं की संख्या भी कम से कम हो अर्थात् तल का क्षेत्रफल भी न्यूनतम हो। इसी कारण से किसी बर्तन में रखे द्रव का तल का समरूप क्षैतिज होता है। क्योंकि एक क्षैतिज समतल जो बर्तन के रूप और आकार के अनुसार निश्चित सीमावद्ध होता है, का क्षेत्रफल न्यूनतम होता है।

किसी द्रव के तल पर स्थित सभी द्रव अणुओं की ऊर्जाओं का योग को पृष्ठ ऊर्जा कहते हैं। पृष्ठ ऊर्जा एक प्रकार की स्थितिज ऊर्जा है।

9.4.2 पृष्ठ-तनाव एवं पृष्ठ ऊर्जा

पृष्ठ के क्षेत्रफल को न्यूनतम करने के लिए द्रव का पृष्ठ खिंची या तनी हुई झिल्ली जैसी हो जाती है जिससे पृष्ठ तनाव उत्पन्न होता है। यह तनाव सभी बिंदुओं पर लंबवत् सभी दिशाओं में पृष्ठ के स्पर्शज्या दिशा में कार्य करता है।

अत: द्रव के तल पर खिंची किसी काल्पनिक रेखा की प्रति इकाई लम्बाई पर लगने वाले लंबवत् बल को उस द्रव का पृष्ठ-तनाव कहते हैं। चित्र (9.10)। इसकी माप Nm^{-1} न्यूटन प्रतिमीटर होती है और इसे T द्वारा दर्शाया जाता हे। इसका विमीय सूत्र $[MT^{-2}]$ होता है। छोर पर अर्थात् उस रेखा पर जहां द्रव बर्तन की दीवार को स्पर्श करता है, T की दिशा दीवार के लंबवत् और द्रव तल पर स्पर्शज्या की दिशा में होती है।



चित्र 9.10 : किनारे पर पृष्ठ तनाव बर्तन की दिवाल के लंबवत् क्रियाशील है।

किसी द्रव के लिए पृष्ठ तनाव का मान द्रव अणुओं पर लगने वाले परिणामी संसंजन बल पर निर्भर करता है। इस बल का मान अणुओं के बीच की दूरी के अनुसार बदलता है। अणुओं के बीच की दूरी ताप के अनुसार परिवर्तित होती रहती है। ताप के बढ़ने से पृष्ठ तनाव कम होता है (अंतर आणविक दूरा बढ़ने के कारण)।

पृष्ठ तनाव का बल किसी द्रव के पृष्ठ के क्षेत्रफल को कम करने की चेष्ठा करता है। अत: किसी द्रव के पृष्ठ के क्षेत्रफल में वृद्धि के लिए पृष्ठ तनाव बल के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है। यह कार्य अतिरिक्त पृष्ठ ऊर्जा के रूप में संचित हो जाती है।

जब किसी द्रव की छोटी बूँदें आपस में मिल कर एक बड़ी बूँद बनाती हैं तो इसके क्षेत्रफल में कुछ कमी हो जाती है। फलत: पृष्ठ ऊर्जा भी कम हो जाती है। ऊर्जा का यह अंतर ऊष्मा उर्जा के रूप में उत्सर्जित होता है फलस्वरूप बूंद का ताप बढ़ जाता है।

उसी प्रकार जब एक बड़ी बूँद छोटी-बूँदों में बिखर जाती है तो इसके क्षेत्रफल में वृद्धि हो जाती है। फलस्वरूप पृष्ठ ऊर्जा का मान भी बढ़ जाता है। यह अतिरिक्त ऊर्जा बूंद की ऊष्मीय ऊर्जा से ली जाती है फलत: बूँदें ठंडी हो जाती है।

क्या आपने बड़े भवनों के वातानुकूलित संयंत्र में प्रवाहित जल को फुहारों द्वारा ठंडा करते देखा हैं ? अब तो आप इसका कारण बता सकते हैं?

उदाहरण 9.2: *मिलीमीटर त्रिज्या की जल की बूंद के स्प्रे (फुहार) द्वारा समान आयतन के 1000 नन्हीं बूंदों में बदल दिया गया है। बूंद के ताप में वृद्धि या ह्रास की गणना करें। दिया गया है जल का घनत्व* $= 1000\ kgm^{-3}$ *पृष्ठ तनाव* $= 0.72$ *न्यूटन* Nm^{-1}, *जल की विशिष्ट ऊष्मा* $= S = 4.2\times10^{3}\ J\,kg^{-1}\,{}^{o}c$

हल :

R त्रिज्या की बड़ी बूंद का आयतन $= \frac{4}{3}\pi R^3$

r त्रिज्या की प्रत्येक छोटी बूंद का आयतन $= \frac{4}{3}\pi r^3$

$$\boxed{\text{अत: } 1000\ \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi R^3}$$

$\therefore$ छोटी बूँद की त्रिज्या

$$r^3 = \frac{R^3}{1000} \Rightarrow r = \frac{R}{10}$$

$\therefore$ क्षेत्रफल में वृद्धि $4\pi\left(1000r^2 - R^2\right) = 4\pi\left(1000\frac{R^2}{100} - R^2\right)$

$$\Delta A = 4\pi\cdot 9R^2$$

$\therefore$ अतिरिक्त पृष्ठ ऊर्जा में वृद्धि $= T\cdot\Delta A = T\left(4\cdot\pi 9R^2\right)$

$\therefore$ वह ऊर्जा 1000 छोटी बूंदों की ऊष्मीय ऊर्जा से ली जाती है। यदि इसके कारण ताप में कमी $\Delta\theta$ हो तो $1000\, ms\,\Delta\theta = T 4\pi 9 R^2$

$$1000\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)s\Delta\theta = T\cdot 4\pi\cdot 9\times 100 r^2$$

$$\boxed{\Delta\theta = \frac{27T}{\rho rs}}$$

व्यंजक में मान रखने पर

$$\Delta\theta = 23\cdot 1\times 10^{-6}\,{}^\circ c$$

या $E = T\times(l\times b)$

= द्रव का पृष्ठ तनाव × क्षेत्रफल में वृद्धि

$$\therefore T = \frac{E}{(l\times b)}$$

$$= \frac{\text{पृष्ठ ऊर्जा में वृद्धि}}{\text{क्षेत्रफल में वृद्धि}} = \frac{\text{किया गया कार्य}}{\text{क्षेत्रफल में वृद्धि}}$$

अर्थात् ***पृष्ठ तनाव की परिभाषा द्रव के तल के प्रति इकाई क्षेत्रफल वृद्धि हेतु किया गया कार्य के रूप की जा सकती है।*** इस दशा में इसकी माप जूल प्रति वर्ग मी० (Jm^{-2}) में होती है। ध्यान दीजिए, विमीय सूत्र समान ही रहता है। अर्थात्

$$\frac{ML^2T^{-2}}{L^2} = \left[MT^{-2}\right]$$

यदि S = द्रव के तल का कुल क्षेत्रफल

T = पृष्ठ तनाव

तो कुल पृष्ठ ऊर्जा = $T\times S$ जूल

द्रव की छोटी बूंदें गोलाकार रूप लेती है क्योंकि किसी आयतन के गोलाकार तल का क्षेत्रफल न्यूनतम होता है। फलस्वरूप बूंद की स्थैतिज ऊर्जा (पृष्ठ ऊर्जा) भी न्यूनतम हो जाती है।

पृष्ठ तनाव के उदाहरण

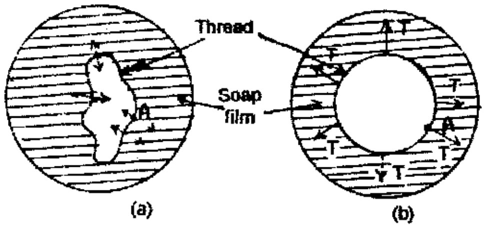
द्रव का तल क्षैतिज होता है। यदि आप द्रव में उंगली डालें तो द्रव उंगली को भीतर जाने देता है। उंगली के द्रव को छूने वाले रेखा पर द्रव तल की रेखा वक्र हो जाती है। अब यदि आप उंगली बाहर निकाल लें तो द्रव तल पुन: क्षैतिज हो जाता है। इससे यह स्पष्ट होता है कि द्रव का तल एक तनी झिल्ली की तरह हमेशा तनाव में रहता है जो द्रव और उंगली के स्पर्श रेखा पर वक्र हो जाती है और बल को हटाते ही पुन: क्षैतिज हो जाती है। द्रव की छोटी बूँदों का गोलाकार रूप पृष्ठतनाव की वजह से होता है।

क्रियाकलाप 9.2

मूठ लगा पतले तार का एक छल्ला लें। इसे साबुन के घोल में डुबा कर निकाल लें। गोलाकार तार में साबुन की पतली झिल्ली बन जाती है। अब रूई के पतले धागे का एक छोटा लूप बनाएँ और इसे सावधानीपूर्वक साबुन की क्षैतिज पतली झिल्ली पर रख दें। यह झिल्ली के ऊपर बिना उसे फाड़े उस पर सधा रहता

अब एक आलपीन की नोक को गर्म कर इसे लूप के बीच से होकर झिल्ली में स्पर्श करा दें। ध्यान से देखिए क्या होता है? (चित्र 9.11)

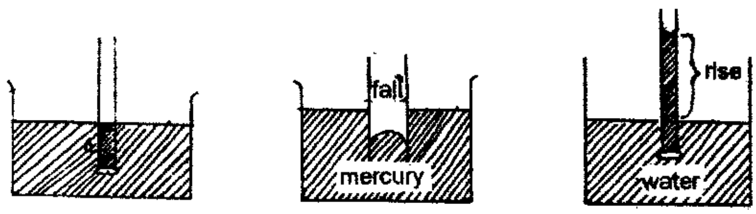
लूप के भीतर की झिल्ली फट जाती है और लूप वृत्ताकार हो इस प्रकार तन जाता है जैसे केन्द्र से परिधि की दिशा में सभी ओर बल कार्य कर रहे हों। यह पृष्ठ तनाव के स्पर्शीय बल को दिखलाता (चित्र 9.11 b) है। प्रारंभ में साबुन की झिल्ली लूप के दोनों ओर होने के कारण पृष्ठ तनाव का बल लूप के भीतर और बाहर बराबर था अतः एक दूसरे को निष्क्रिय कर देता है। परंतु भीतरी झिल्ली के पटने पर पृष्ठ का बल केवल बाहर की ओर ही कार्य करता है। ये बल लूप के सभी स्थानों पर लम्बवत् तथा झिल्ली की स्पर्शज्या दिशा में कार्य करते हैं। परिणामस्वरूप लूप वृत्ताकार रूप में तन जाता है। (वृत्त की परिधि पर लम्ब त्रिज्या की दिशा में होता है)।



चित्र (9.11) : (a) साबुन की झिल्ली पर धागे का बंद लूप। (b) झिल्ली के भीतरी भाग के फटने पर लूप का आकार।

9.4.3 : पृष्ठ तनाव के उपयोग

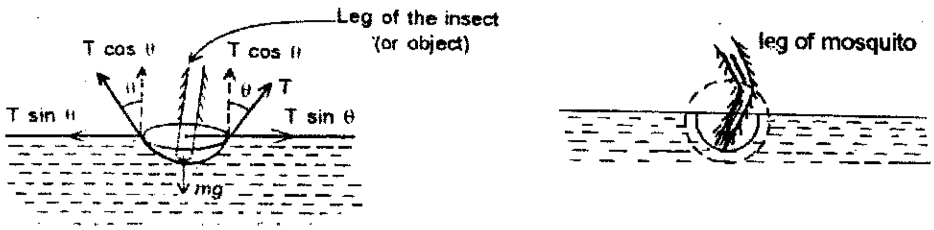
काँच की कोशिका नली (बहुत संकरी नली) में पानी का तल क्षैतिज न होकर अवतल होता है। उसी प्रकार कोशिका नली में पारे का नवचन्द्रक उत्तल होता है। ये सभी पृष्ठ तनाव के प्रभाव हैं। कोशिका नली में बर्तन के द्रव के तल से अधिक ऊँचाई तक द्रव के चढ़ने का भी कारण पृष्ठ तनाव ही है चित्र (9.12)।



चित्र (9.12) : (a) समतल नवचन्द्रक (चढ़ाव या उतार नहीं) (b) तल का नीचे गिरना, उत्तल नवचन्द्रक (c) तल का ऊपर चढ़ना, अवतल नवचन्द्रक

(a) मच्छरों का जल-तल पर बैठना

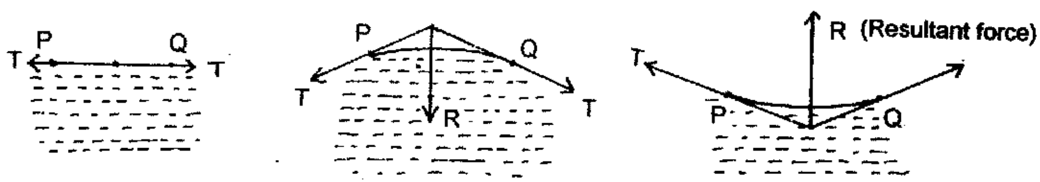
आपने मच्छरों को जल की सतह पर बैठे देखा है ? ये पानी में डूबते नहीं हैं। क्यों यह पृष्ठ तनाव के बल के कारण होता है जो मच्छर के भार को संभालता है। उस बिन्दु पर जहाँ मच्छर के पैर पानी में डूबते हैं, द्रव का तल अवतल हो जाता है। पृष्ठ तनाव का बल तल में स्पर्शीय दिशा में कार्य करता है। फलस्वरूप यह क्षैतिज के साथ एक कोण बनाता है। इस बल का ऊर्ध्व घटक, मच्छर के भार के रूप में नीचे लगने बल को संतुलित करता है फलस्वरूप मच्छर पानी पर तैरता रहता है। चित्र 9.13 ध्यान से देखिए।



चित्र (9.13): मच्छर का भार पृष्ठ तनाव के बल $= 2\pi r T\cos\theta$ द्वारा संतुलित होता है।
(a) अवतल पृष्ठ बनाने के लिए पैर को तल में डुबाना (b) आवर्द्धित चित्र

(b) गोलीय तल के भीतर अतिरिक्त दबाव

किसी पृष्ठ तल के एक बहुत छोटे से भाग की, इकाई लम्बाई की एक रेखा PQ, पर कल्पना करें। चित्र (9.14) यदि पृष्ठ समतल है अर्थात् $Q = 90^\circ$ तो PQ पर का बल एवं पृष्ठ तनाव का बल दोनों समान हैं और विपरीत दिशा में कार्य करते हैं। फलस्वरूप परिणामी स्पर्शीय बल (स्पर्शरेखीय बल) शून्य होता है चित्र 9.14 (a) । यदि पृष्ठ उत्तल हो चित्र 14(b) या अवतल 14 (c), PQ के किनारे पर लगते पृष्ठ तनाव बलों का परिणामी तल के वक्रता केन्द्र की ओर क्रियाशील होगा।



चित्र 9.14 : समतल पृष्ठ $R = 0$, उत्तल पृष्ठ, R अवतल पृष्ठ की ओर कार्य करता है। अवतल पृष्ठ, R अवतल पृष्ठ की ओर कार्य करता है।

जब कोई पृष्ठ वक्र होता है तो (द्रव और बर्तन के दिवाल के संपर्क की जगह) पृष्ठ तनाव दबाव उत्पन्न करता है जो पृष्ठ की वक्रता केन्द्र की ओर कार्य करता है। इस दबाव को पृष्ठ पर लगते हुए एक समान और विपरीत दबाव संतुलित करता है (चित्र 9.14) अत: द्रव पृष्ठ के अवतल पृष्ठ पर हमेशा अपेक्षाकृत थोड़ा अधिक दबाव कार्य करता है।

(i) गोलाकार बूंद

द्रव को बूंदों में केवल एक बाहरी तल होता है। (द्रव का वह क्षेत्र जो हवा के संपर्क में रहता है द्रव का पृष्ठ कहलाता है):

माना r = द्रव के बूंद की छोटी त्रिज्या, और

p = बूंद के भीतर का अतिरिक्त दबाव (जो कि भीतर से अवतल और बाहर से उत्तल होता है)

$= (P_i - P_0)$ (माना)

जहाँ p और p_0 बूंद के क्रमशः भीतरी और बाहरी दबाव (चित्र 9.15a) हैं।

अब यदि हम लगते हुए अतिरिक्त अचर दबाव p के कारण बूंद की त्रिज्या r में अल्प वृद्धि = Δr माने तो बूंद के पृष्ठ के क्षेत्रफल में वृद्धि

चित्र 9.15 (a): गोलाकार बूँद

$$= 4\pi(r+\Delta r)^2 - 4\pi r^2$$

$$\Delta A = 8\pi r\,\Delta r + (\Delta r)^2$$

या $$\Delta A \cong 8\pi r\,\Delta r$$

यदि T = पृष्ठ तनाव (बूंद के द्रव का)

= प्रति इकाई क्षेत्रफल वृद्धि में किया गया कार्य (परिभाषा से) तो $8\pi r\Delta r$ क्षेत्रफल बढ़ाने में किया गया कार्य

$$W = T(8\pi r\,\Delta r)$$

किन्तु अतिरिक्त दाब P के कारण किया गया कार्य $W' = P \times \Delta V$

यहां Δr = आयतन में वृद्धि $= \frac{4}{3}\pi(r+\Delta r)^3 - \frac{4}{3}\pi r^3$

$$= \frac{4}{3}\pi\left(3r^2\,\Delta r + 3r(\Delta r)^2 + (\Delta r)^3\right)$$

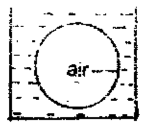
चूँकि Δr का मान बहुत कम है अतः इसके उच्च घात को नगण्य मान लेने पर

$$\Delta V = \frac{4}{3}\pi\left[3r^2\,\Delta r\right] = 4\pi r^2\,\Delta r$$

$$\therefore W' = P \times 4\pi r^2\,\Delta r$$

किन्तु $W' = W$

$$\therefore P.4\pi r^2\,\Delta r = T \cdot 8\pi r \cdot \Delta r$$



या $$\boxed{P = \frac{2T}{r}}$$

चित्र (9.15) (b) : हवा के बुलबुले

अर्थात् r त्रिज्या और T पृष्ठ तनाव वाले द्रव के भीतर अतिरिक्त दबाव

$$\boxed{P = \frac{2T}{r}}$$

(ii) जल में हवा के बुलबुले

इसमें भी केवल एक पृष्ठ होता है जो कि भीतर होता है चित्र 9.15(b)। अतः T पृष्ठ तनाव वालें जल के भीतर r त्रिज्या के हवा के बुलबुले के भीतर अतिरिक्त दबाव

$$\boxed{P = \frac{2T}{r}}$$

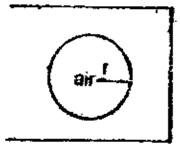
(iii) हवा में तैरते साबुन के बुलबुले

साबुन के बुलबुले के समान क्षेत्रफल के दो बाहरी और भीतरी पृष्ठ होते हैं चित्र 9.15 (c)।

अतः इसकी त्रिज्या में Δr वृद्धि से क्षेत्रफल में भी दुगनी वृद्धि होगी।

अर्थात्

$$\Delta A = 2\left[4\pi(r+\Delta r)^2\right] - 2\left[4\pi r^2\right]$$
$$= 2.8\pi r\cdot\Delta r - 16\pi r\Delta r$$



चित्र (9.15) (c) : हवा के बुलबुले

किया गया कार्य = $W = T\cdot(6\pi r\cdot\Delta r)$

यदि P = अतिरिक्त भीतरी दबाव, तो आयतन में समान परिवर्तन के लिए अर्थात् $\Delta V = 4\pi r^2\,\Delta r$,
किया गया कार्य $W' = P\Delta V = P\cdot 4\pi r^2\,\Delta r$.

W′ से W को बराबर मानने पर

$P\cdot 4\pi r^2\cdot\Delta r = T\cdot 16\pi r\cdot\Delta r$, जहां $T=$ साबुन के घोल का

पृष्ठ तनाव $\therefore \quad P = \dfrac{4T}{r}$

अर्थात् हवा में तैरते हुए साबुन के बुलबुले के भीतर, का अतिरिक्त दबाव

$p = \dfrac{4T}{r} =$ ध्यान दीजिए यह समान त्रिज्या के पानी के भीतर हवा के बुलबुले के भीतर का दबाव का दूना है।

उदाहरण 9.3: *1 मिली मी० त्रिज्या के प्रत्येक गोलाकार बुलबुले/बूंद के भीतरी और बाहरी दबाव के अंतर की गणना करें जब (i) साबुन का बुलबुला हवा में हो (ii) हवा का बुलबुला पानी में हो (iii) पानी की बूंद हो। दिया हुआ है – जल का पृष्ठ तनाव =* $7\cdot 2\times 10^{-2}\,Nm^{-1}$ *साबुन के घोल का पृष्ठ तनाव* $= 2.5\times 10^{-2}\,Nm^{-1}$

हल

(i) हवा में साबुन के r त्रिज्या के बुलबुले के भीतर अतिरिक्त दबाव

$$P = \frac{4T}{r}$$
$$= \frac{4\times 2.5\times 10^{-2}}{1\times 10^{-3}}\ Nm^{-2}$$
$$= 100\ Nm^{-1}$$

(ii) पानी में हवा के बुलबुले के भीतर का अतिरिक्त दबाव

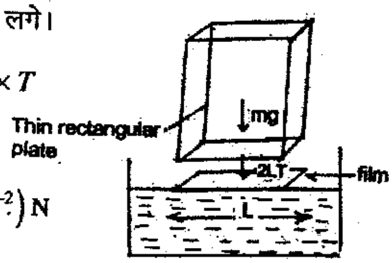
$$P = \frac{2T'}{r} = \frac{2\times 7\cdot 2\times 10^{-2}}{1\times 10^{-3}}\ Nm^{-2}$$
$$= 144\ Nm^{-1}$$

उदाहरण 9.4 : आयताकार चकती के किनारे की लंबाई 20 से०मी० है। $2.5\times10^{-2}\ Nm^{-1}$ पृष्ठतनाव के द्रव तल पर ऊर्ध्वाधर (विरान अवस्था में) खड़ी है, इसको थोड़ा ऊपर उठा लिया जाता है। उस खिंचाव की गणना करें जिससे चकती द्रव तल के ऊपर खींचा जाती है। चकती का भार $=1000$ न्यूटन मान लीजिए।

हल

चकती को द्रव तल के ऊपर उठाने पर द्रव तल पर एक झिल्ली बन जायेगी। अर्थात् चकती के भार W के अतिरिक्त इस पर द्रव के पृष्ठ तनाव का भी बल F नीचे की ओर लगे।

यहां F =चकती के किनारे की कुल लम्बाई X पृष्ठ तनाव $=2L\times T$



चित्र (9.15) (d) :

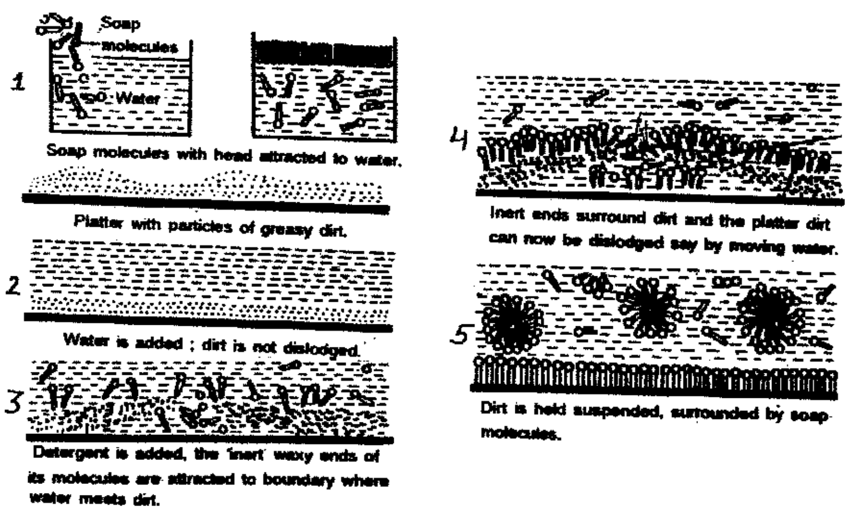
कुल खिंचाव $= \quad W+2LT$

$$= (1000+)\left(2\times20\times10^{-2}\times2\cdot5\times10^{-2}\right)\text{N}$$
$$= (1000+0.01)\ \text{N}$$
$$= 1000.01\ \text{N}$$

(c) डिटर्जेन्ट एवं पृष्ठ तनाव

डिटर्जेन्ट कपड़ों में लगे तेल के धब्बे आदि हटा सकता है। पानी धोने के माध्यम के रूप में प्रयुक्त होता है।

साबुन और डिटर्जेन्ट पानी के पृष्ठ तनाव को कम करती हैं। यह धोने और सफाई के लिए वांछित है। क्योंकि शुद्ध पानी के पृष्ठ तनाव का मान अधिक होने के कारण यह कपड़े के रेशों के बीच फंसे धूल-गंदगी के कणों या तेल के अणुओं तक आसानी से पहुँच नहीं पाता है। आप जानते हैं कि साबुन के घोल का पृष्ठ तनाव शुद्ध पानी के पृष्ठ तनाव की अपेक्षा और भी कम होता है जिससे ये साबुन की अपेक्षा अधिक प्रभावी होते हैं। डिटर्जेन्ट को पानी में घोल कर उपयोग में लाने से मैल कणों की कपड़े के रेशे से पकड़ कमजोर हो जाती है फलस्वरूप कपड़े को रगड़ने पर मैल आसानी से घुल जाता है।



चित्र (9.16) : डिटर्जेंट के अणुओं की क्रियाविधि

डिटर्जेन्ट मिलाने पर इसके अणु एक ओर जल और दूसरी ओर तेल (माना) को आकर्षित करते हैं। डिटर्जेंट के मिलाने से जल-तेल का पृष्ठ तनाव बहुत ही कम हो जाता है। मैल के कणों के इर्द-गिर्द डिटर्जेन्ट और फिर पानी से घिर कर सूक्ष्म गोलों के रूप में अन्तरापृष्ठों का बन जाना लाभदायक होता है।

डिटर्जेन्ट के गुण का उपयोग केवल कपड़े धोने में ही नहीं है अपितु खनिज अयस्क, तेल आदि के निकालने में भी होता है।

(d) मोम-बतख का पानी पर तैरना

यह ध्यान देने योग्य है कि अशुद्धियां (Impurities) मिले द्रव का पृष्ठतनाव कम हो जाता है।

यदि आप कपूर की एक छोटी टिकिया को मोम के बत्तख (खिलौने) की पेंदी में चिपका कर स्थिर पानी के तल पर छोड़ दें तो आप देखेंगे कि कुछ समय पश्चात् मोम-बत्तख पानी पर इधर-उधर चलने लगता है।

कपूर के पानी में घुलने से बतख के ठीक नीचे के पानी के पृष्ठ तनाव का मान चारों ओर के पानी के पृष्ठ तनाव के मान से कम हो जाता है। पृष्ठ तनाव बलों का कुल अंतर बतख को शुद्ध जल की ओर ले जाना चाहता है फलस्वरूप बतख चलने लगती है।

चित्र (9.17) : पृष्ठ तनाव के प्रभाव के कारण बतख की गति

पाठगत प्रश्न 9.2

1. *संसंजन एवं आसंजन बलों में क्या अंतर है?*

   ....

2. *पृष्ठ-तल की मोटाई कितनी होती है ? पृष्ठ ऊर्जा का मान किन बातों पर निर्भर करता है ?*

   ....

3. *क्या ठोस पदार्थ भी पृष्ठ तनाव के गुण दर्शाते हैं? क्यों?*

   ....

4. *पारे को समतल पर गिराने पर बूंदों में क्यों बिखर जाता है?*

   ....

5. *इनमें किसके भीतर अतिरिक्त दबाव का मान अधिक है? –*

   (i) पानी के अंदर अर्धव्यास के हवा के वुल वुले के जब कि जल का पृष्ठ तनाव 7.27×10^{-3} न्यूटन. मी०$^{-1}$ है।

   (ii) हवा में त्रिज्या 4 से०मी० का साबुन का बुलबुला साबुन का घोल का पृष्ठ तनाव = $2,5 \times 10^{-3}$ न्यूटन मी०^{1} है।

   ....

9.5 स्पर्श कोण (Angle of Contact)

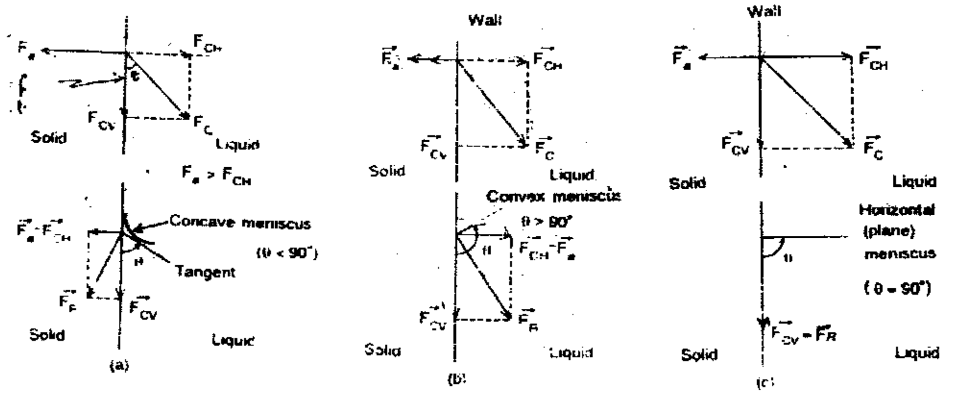
ऐसा देखा जाता है कि चौड़े मुँह वाले बर्तन में रखे सभी द्रवों का मुक्त तल क्षैतिज और समतल होता है परंतु द्रव एवं बर्तन की दिवार के संपर्क बिंदु पर द्रव तल वक्र (अवतल गोलाकार या उत्तल गोलाकार) हो जाता है। उदाहरण के लिए काँच के गिलास में जब पानी भरा जाता है तो गिलास की दीवार और पानी के संपर्क बिन्दु पर तल, अवतल होता है। परन्तु मोम के बर्तन में पानी भरने पर किनारे पर जल का तल उत्तल दीखता है। पारे को जब काँच के गिलास में भरा जाता है तब उसका तल उत्तल होता है इससे स्पष्ट है कि द्रव के पृष्ठ का वर्तन की दीवार

के संपर्क बिन्दु पर वक्रता बर्तन के पदार्थ एवं द्रव की प्रकृति पर निर्भर करती है।

द्रव के छोर पर द्रव के तल पर खींची स्पर्श रेखा बर्तन की दीवार के साथ द्रव से जो कोण बनती है उसे *स्पर्श कोण* कहते हैं। देखें चित्र 9.18 (a)।

स्पष्टत: अवतल गोलीय नवचन्द्रक (कम क्षेत्रफल के पृष्ठ जैसे केशिका नली में) स्पर्श कोण, *न्यून कोण* (अर्थात् 90^0 से कम) होता है और उत्तल गोलीय नवचन्द्रक में स्पर्श कोण *अधिक कोण* (अर्थात 90^0 से अधिक) होता है। उदाहरण के लिए, जल और कांच के संपर्क के लिए स्पर्श कोण 8^0 और पारा और काँच के संपर्क के लिए स्पर्शकोण 130^0 होता है।

चित्र 9.18 किसी बर्तन में रखे द्रव के छोर पर किसी अणु पर लगने वाले विभिन्न बलों को दर्शाता है। चूंकि द्रव केवल निचले भाग में है, P बिंदु के अणु पर लगते परिणामी संसंजक बल F_c समरूप दिशा में कार्य करता है, जैसा



चित्र (9.18) : द्रव नव चन्द्रक के विभिन्न रूप

कि चित्र 9.18 में दिखाया गया है। उसी प्रकार समरूपता के कारण परिणामी आसंजक बल F_a बर्तन के दिवार के लंबवत् बाहर की ओर कार्य करता है। F_c बल को परस्पर दो लंबवत् घटकों में विघटित किया जा सकता है। लम्ब रूप से नीचे की ओर क्रियाशील $F_c \cos\theta$ और किनारे के लम्बवत् क्रियाशील $F_c \sin\theta$ और F_a बल यह बल और F_c तथा F_a के सापेक्षिक मान पर निर्भर करता है।

स्थिति 1:

यदि $F_a > F_c \sin\theta$ हो, कुल क्षैतिज बल बाहर की ओर कार्य करता है और तब $(F_a - F_c \sin\theta)$ और fc $\sin\theta$ का परिणामी दिवार के बाहर स्थित होता है। चूँकि द्रव लगातार लगते विरूपक बल के विरुद्ध स्थिर नहीं रह सकता है। द्रव तल के सभी अणु किनारे पर F_c के लंबवत् व्यवस्थित हो जाते हैं। इससे F_R का कोई भी घटक द्रव पृष्ठ के स्पर्शज्या रेखा की दिशा में कार्य नहीं करता है। निश्चित रूप से ऐसे पृष्ठ किनारे पर गोलीय अवतल होते हैं। (चूंकि किसी वृत्त की त्रिज्या, परिधि के प्रत्येक बिन्दु पर लंबवत् होती है)। यह स्थिति काँच नली में भरे जल के साथ पायी जाती है।

स्थिति 2:

यदि $F_c < F_c \sin\theta$ हों, $(F_c \sin\theta - F_a)$ का क्षैतिज रूप से क्रियाशील परिणामी बल F_R और $F_c \cos\theta$ जो कि लंबवत् नीचे की ओर क्रियाशील होता है, द्रव के निचले गोलार्द्ध में ही कार्य करते हैं।

द्रव की सतह, बाउण्डरी पर फलत: इस प्रकार व्यवस्थित हो जाती हैं कि यह F_R के लंबवत् होता है, फलस्वरूप द्रव तल उत्तल गोलीय होता है। यह काँच नली में भरे पारे के लिए सत्य है।

स्थिति 3

यदि $F_a = F_c \sin\theta$ हो, तो परिणामी $F_R = F_c \cos\theta$ हो जाता है जो लंबवत् नीचे की ओर कार्य करता है फलस्वरुप द्रव का तल किनारे पर क्षैतिज या समतल होता है।

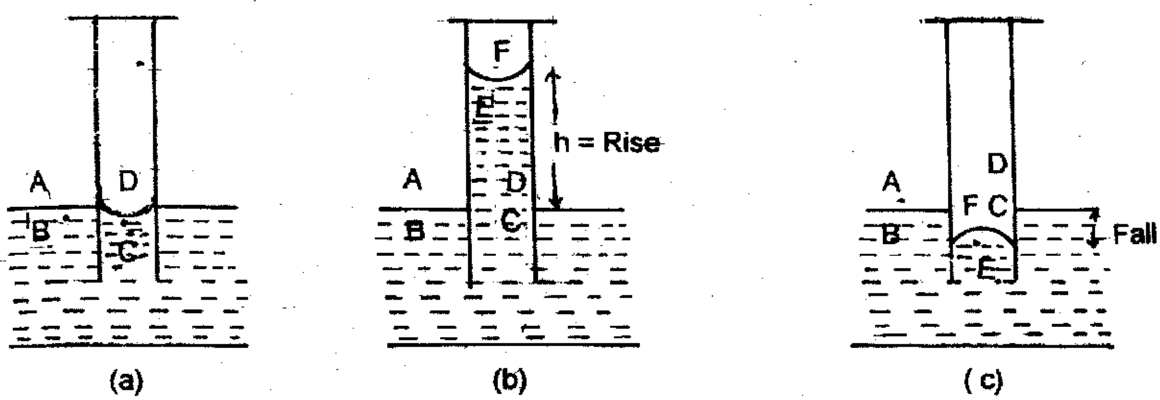
9.6 केशिकार्षण (Capillary Action)

वर्षा के दिनों में पुराने मकान की दिवारें जमीन से कुछ ऊँचाई तक नम हो जाती है। क्या आप इसका कारण जानते हैं? जमीन का पानी दिवार पर बनी संकरी हवा नलियों (केशिकाओं) से (होकर) रिस कर ऊपर चढ़ जाता है। आपने अपनी पुस्तिकाओं पर गिरे अतिरिक्त स्याही को हटाने के लिए (सोखन पत्र) ब्लाटिंग पेपर का अवश्य उपयोग किया होगा। यह एक विशेष किस्म का कागज होता है जिसमें सूक्ष्म नलिकाएँ होती है। स्याही ब्लाटिंग पेपर में स्थित सूक्ष्म हवा की नलियों में शीघ्रता से चढ़ कर पूर्णत: सोख लेती है।

किसी केशिका नली में गुरुत्व के विरुद्ध द्रव के ऊपर चढ़ने की प्रक्रिया को कोशिकार्षण कहते हैं। 1mm व्यास वाली नली को केशिका नली कहा जाता है।

खुली केशिका नली में द्रव का द्रव तल से ऊपर चढ़ना पृष्ठ तनाव के कारण उत्पन्न एक महत्वपूर्ण क्रिया है। । ऐसा अवतल नवचन्द्रक वाले द्रव के लिए ही होता है। ऐसे द्रव जिनके नवचन्द्रक उत्तल होते हैं, केशिका नली में द्रव तल का अवनमन depression देखा जा सकता है।

किसी द्रव में केशिका नली के डालने पर बर्तन में द्रव के तल की अपेक्षा नली के अन्दर द्रव तल के चढ़ने या उतरने की प्रक्रिया को केशिकार्षण कहते हैं। चित्र 9.19 को ध्यान पूर्वक देखिए।



चित्र 9.19 : केशिका नली में द्रव तल के अवतल और उत्तल नवचन्द्रक के कारण जल का चढ़ना व गिरना।

यदि आप के पास केशिका नली हो तो आप स्वयं घर में इसे किसी द्रव में डूबा कर केशिकार्षण देख सकते हैं।

मान लीजिए कि एक केशिका नली को किसी द्रव में डुबाया हुआ है और द्रव का नवचन्द्रक अवतल है। साथ ही हम यह भी कल्पना करें कि केशिका नली में द्रव की ऊँचाई उतनी ही है जितनी बाहरी बर्तन में, जैसा कि किसी चौड़े छेद वाली नली में होता है। हमें यह देखना है कि यह स्थिति स्थाई संतुलन की है या नहीं।

द्रव के पृष्ठ के निकट A, B, C और D बिन्दुओं पर विचार करें।

बिन्दु A और D हवा में हैं।

A एवं D बिंदुओं पर दबाव = वायुमंडलीय दबाव = P

अर्थात् $P_A + P_D = P$ (माना)

चूँकि द्रव नवचन्द्रक के अवतल भाग के दबाव का मान दूसरी ओर के दबाव की अपेक्षा $\frac{2T}{r}$ अधिक होता है,

अतः c पर दबाव = $P_c = P_D - \frac{2T}{r} = P - \frac{2T}{r}$, जहाँ r = अवतल पृष्ठ की त्रिज्या, किन्तु A पर दबाव = P_A = B पर दबाव $P_B = P$ इस प्रकार एक ही क्षैतिज तल पर स्थित केशिका नली के बाहर का बिंदु B और केशिका नली के भीतर का बिंदु C के बीच दबाव में अंतर है। अतः बिंदु B के क्षेत्र से द्रव, बिंदु C के क्षेत्र की ओर चली जाएगी। फलस्वरूप केशिका नली में कुछ द्रव चढ़ जायेगा और यह तब तक होगा जब तक C बिंदु का दबाव B बिंदु के दबाव के बराबर न हो जाए। चित्र 9.20 (b) इसी तर्क के आधार पर यह सिद्ध किया जा सकता है कि यदि केशिका नली में द्रव का नवचन्द्रक उत्तल हो तो नली में द्रव का तल नीचे गिर जाएगा। चित्र 9.20 (a)

9.6.1 केशिका नली में द्रव की ऊँचाई के लिए व्यंजक

माना h केशिका नली में द्रव की वह ऊँचाई है जिससे $P_c = P_B$ शर्त है। (स्थाई संतुलन प्राप्त करने के लिए आवश्यक शर्त है।

अब दो और बिंदुओं E एवं F पर विचार करें। चित्र 9.20 (b) को ध्यान पूर्वक देखिए।

F बिंदु वायुमंडल की ओर है और द्रव पृष्ठ के अवतल भाग में स्थित हैं अतः

$P_F - P_E = \frac{2T}{r}$ = एवं $P_F = P =$ वायुमंडलीय दाब

$$\therefore P_E = P_F - \frac{2T}{r} = P - \frac{2T}{r}$$

साथ ही $P_D = P_E + hdg$; जहां d द्रव का घनत्व है।

$$= \left(P - \frac{2T}{r}\right) + hdg$$

लेकिन $P_D = P_C$.(बहुत निकट होने के कारण)

$= P_B$(समान क्षैतिज तल में होने के कारण)

$= P_A$ (बहुत निकट होने के कारण)

या, $P_D = P =$ वायुमंडलीय = दाब

अतः, समीकरण (i) एवं (ii) की तुलना करने पर

$$P = P - \frac{2T}{r} + hdg$$

या $$hdg = \frac{2T}{r}$$

या, $$h = \frac{2T}{rdg}$$

अब चित्र 9.21 की ज्यामिति से

यदि R = केशिका नली की त्रिज्या (भीतरी)

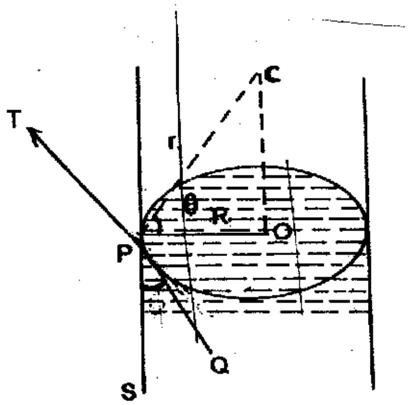
θ = द्रव तथा नली के पदार्थ का स्पर्श कोण, और

r = अवतल नवचन्द्रक की त्रिज्या

तो $r = \dfrac{R}{\cos\theta}$

केशिका नली में द्रव की ऊँचाई = $\boxed{h = \dfrac{2T\cos\theta}{R \cdot d \cdot g}}$

चूंकि केशिका नली में द्रव का तल समतल न होकर वक्र होता है और h नवचन्द्रक के निम्नतम बिंदु की ऊँचाई है, द्रव पृष्ठ के अवतल होने के कारण अतिरिक्त द्रव के साथ एक संबंध होना चाहिए। जटिल गणितीय गणना से यह स्पष्ट होता है कि h के स्थान पर $\left(h + \dfrac{R}{3}\right)$ प्रयुक्त होना चाहिए। अंतः समीकरण (iv) से



चित्र 9.21

$$h + \frac{R}{3} = \frac{2T\cos\theta}{Rdg}$$

$$T = \frac{R\left(h + \dfrac{R}{3}\right)dg}{2\cos\theta}$$

इसी प्रकार उत्तल नवचन्द्रक वाले द्रव के लिए केशिका नली में द्रव की गहराई के लिए व्यंजक प्राप्त किए जा सकते हैं। जल के लिए स्पर्श कोण का मान बहुत कम होता है अर्थात् $\theta \approx 8^\circ$. $\therefore \cos\theta \Rightarrow \cos 8^\circ \to 1$ और h की तुलना में R बहुत छोटा होने के कारण समीकरण (iv) एवं (v) को सरल रूप में लिखने पर

एवं $h = \dfrac{2T}{Rdg}$ $T = \dfrac{Rhdg}{2}$

उदाहरण 9.2: एक केशिका नली में पानी 8 cm की ऊँचाई तक चढ़ता है। इसी नली में पारे का तल 3.45 cm से नीचे गिर जाता है। पानी एवं पारे के पृष्ठ तनाव की तुलना करें। दिया हुआ है, पारे का विशिष्ट घनत्व = 13.6 और पानी तथा पारे के लिए स्पर्श का कोण क्रमश : 0° और 135°।

हल :

किसी केशिका नली में द्रव की ऊँचाई या गहराई

$h = \dfrac{2T\cos\theta}{Rdg}$, जहाँ R = केशिका नली की त्रिज्या

पानी के लिए ऊँचाई = $(h_1) = \dfrac{2T_1\cos\theta_1}{Rd_1g}$

पारे के लिए गहराई = $(h_2) = \dfrac{2T_2\cos\theta_2}{Rd_2g}$

जिससे

$$\frac{h_1}{h_2}=\left(\frac{T_1}{T_2}\right)\left(\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}\right)\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

या,

$$\frac{T_1}{T_2}=\left(\frac{h_1}{h_2}\right)\left(\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}\right)\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$$

हमें प्राप्त है

$$\frac{h_1}{h_2}=\frac{8}{-3.45};\ \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}=\frac{\cos 135^\circ}{\cos 0^\circ}=-\frac{1}{\sqrt{2}}=-\frac{1}{1.41}$$

और $\frac{d_1}{d_2}=\frac{1}{13.6}$; (पारे का विशिष्ट घनत्व = $\frac{\text{पारे का घनत्व}}{\text{पानी का घनत्व}}$

$$\therefore \frac{T_1}{T_2}=\frac{8}{(-3.45)}\times\left(-\frac{1}{1.41}\right)\times\left(\frac{1}{13.6}\right)$$

$$=\frac{8}{66.15}=0.12$$

या $\boxed{T_1=0.12T_2}$

सारणी (9.1) में कुछ सामान्य द्रवों के 20° सेल्सियस पर पृष्ठ तनाव दिए गए हैं। साथ ही कुछ द्रवों के स्पर्श कोणों के भी मान दिए गए हैं। पृष्ठ तनाव का मान ताप तथा घुली अशुद्धियों के बढ़ने पर कम होता है।

तालिका 9.1 : 20° सेल्सियस पर कुछ द्रवों के पृष्ठ तनाव

क्रम सं०	हवा के संपर्क में द्रव	पृष्ठ तनाव न्यूटन मी०$^{-1}$	दिवार	स्पर्श कोण डिग्री
1.	जल	27×10^{-1}	(i) काँच	8°
			(ii) चांदी	0°
			(iii) पैराफीन (मोम)	107°
2.	पारा*	43.5 10^{-2}	सोडा लाइम	140°
3.	साबुन का घोल	2.5×10^{-2}	(i) सोडा लाइम काँच	29°
4.	जैतून का तेल	3.2×10^{-2}	(ii) पाइरेक्स काँच	29°
5.	बेंजीन	2.89×10^{-2}	(iii) लेड/सीसा काँच	30°
6.	ग्लिसरीन	6.4×10^{-2}	(iii) फ्यूज्ड क्वार्ट्ज़	33°
7.	तारपीन	2.73×10^{-2}		
8.	कार्बन टेट्रा क्लोराईड	2.68×10^{-2}		
9.	इथेनॉल	2.27×10^{-2}		
10.	मिथाइल आयोडाइड			

* समय के साथ घटता है।

पाठगत् प्रश्न 9.3

(i) *क्या स्पर्श कोण का मान द्रव के पृष्ठ तनाव पर निर्भर करता है?*

....

(ii) *काँच की केशिका नली में पानी का नवचन्द्रक अवतल होता है, जिसके कारण पानी केशिका नली में एक निश्चित ऊँचाई तक चढ़ जाता है। तो फिर एक समुचित त्रिज्या वाले केशिका नली लेकर बिना पम्प लगाए भूतल से पानी प्रथम तल क्यों नहीं चढ़ाया जाता?*

....

(iii) *थर्मामीटर बनाने के दौरान पारे से भरे नाद में केशिका नली को सीधे डुबा कर पारा भरना क्यों मुश्किल है?*

....

(iv) *साबुन के घोल को काँच की किसी नली से फूँक कर साबुन के बुलबुले बनाए जा सकते हैं पर इस तरह से पानी के बुलबुले नहीं बनते, क्यों?*

....

(v) *उस केशिका नली के त्रिज्या की गणना करें जिसे पानी भरे बर्तन में डालने पर पानी 3 मीटर ऊँचा चढ़ जाए। दिया गया है पानी का घनत्व = 1000 कि० ग्राम मी०$^{-3}$, स्पर्श का कोण = शून्य, $g = 10$ मी० सेकेन्ड$^{-2}$*

....

9.7 आपने क्या सीखा है

- द्रव किसी भी अवधि के लिए किसी भी विरूपक बल को वर्दाश्त करने में अक्षम होते हैं।
- द्रव बर्तन की दिवारों पर भी दाव लगाता है।
- d घनत्व वाले किसी द्रव के मुक्त तल से h गहराई पर द्रवस्थैतिक दबाव P का मान होता है $P = hdg$
- पॉस्कल के द्रव के दबाव संचरण के नियम के अनुसार — ''किसी निश्चित मात्रा के परिबद्ध द्रव के स्थिर अवस्था में जब किसी स्थान पर दबाव डाला जाता है तो एक समान एवं समरूप दबाव पूरे द्रव में संचरित हो जाता है। यह दबाव बर्तन में रखें द्रव के हर स्थान पर समान परिमाण में तथा द्रव की सतह से लंबवत् कार्य करता है।
- हाइड्रॉलिक प्रेस, हाइड्रॉलिक ब्रेक एवं हाइड्रॉलिक जैक, पॉस्कल के नियम के उपयोग हैं।
- किसी द्रव के पृष्ठ की वह पतली परत जिसकी मोटाई आण्विक आकर्षण क्षेत्र के बराबर होती है पृष्ठ-तल या पृष्ठ-परत कहलाती है।
- द्रव पृष्ठ में द्रव — अणुओं में अतिरिक्त स्थतिज ऊर्जा होती है, जिसे पृष्ठ ऊर्जा कहते हैं।
- किसी बर्तन में रखे द्रव की सतह समतल होती है क्योंकि निश्चित बाउण्डरी वाले पृष्ठ का क्षेत्रफल समतल अवस्था में न्यूनतम होता है।
- किसी द्रव का पृष्ठ-तनाव वह गुण है जिसके कारण द्रव पृष्ठ किसी तनी झिल्ली की तरह व्यवहार करता है।
- पृष्ठ तनाव की परिभाषा इस प्रकार भी दी जा सकती है — ''किसी द्रव की सतह पर खींची काल्पनिक रेखा की प्रति इकाई लम्बाई पर लगने वाले बल को पृष्ठ तनाव कहते हैं''। इसकी माप न्यूटन प्रति मीटर है।

- किसी द्रव के तल पर खींची गई स्पशरेखा तथा द्रव के भीतर बर्तन की दिवार के बीच के कोण को स्पर्श कोण कहते हैं।
- पृष्ठ तनाव की परिभाषा द्रव पृष्ठ के प्रति इकाई क्षेत्रफल वृद्धि के लिए गए कार्य के रूप में भी दी जा सकती है। इसकी माप जूल प्रति मी0^{-2} है।
- केशिका नली में द्रव का तल अवतल गोलीय या उत्तल गोलीय होता है। यह बक्रता पृष्ठ तनाव के प्रभाव के कारण होती है। केशिका में द्रव का चढ़ाव (उन्नयन) $h=\frac{2T}{rdg}$
- द्रव सतह के अवतल भाग (त्रिज्या r) में अतिरिक्त दाब P का मान निम्न लिखित होता है :

(i) गोलाकार जल की बूंद के लिए $P=\frac{2T}{r}$, जहाँ T = जल का पृष्ठ तनाव,

(ii) पानी के भीर हवा के बुलबुले के लिए $P = \frac{2T}{r}$, T = साबुन के घोल का पृष्ठ तनाव

(iii) हवा में साबुन के बुलबुले के लिए $p=\frac{4T}{r}$

- पृष्ठ तनाव का उपयोग कपड़ों के मैल धोने में है। डिटर्जेन्ट तैलीय कपड़ों की बेहतर सफाई करता है क्योंकि यह पानी-तेल के पृष्ठ तनाव के मान को और अधिक कम कर देता है।

9.8 पाठान्त प्रश्न

1. द्रव दबाव की क्या विशेषता हैं?
2. द्रव की किसी ऊँचाई के लिए द्रव स्थैतिक दबाव के लिए व्यंजक प्राप्त करें।
3. पॉस्कल के नियम को लिखें। हाइड्रॉलिक प्रेस की क्रिया का वर्णन करें।
4. पृष्ठ तनाव की परिभाषा दें। इसका विमीय सूत्र प्राप्त करें
5. एक प्रयोग का वर्णन करें जिससे यह सिद्ध होता है कि द्रव के पृष्ठ तनी हुई झिल्ली की तरह व्यवहार करते है।
6. किसी बर्तन में रखे द्रव के कारण 0.9 मीटर की गहराई पर द्रवस्थैतिक दबाव 3 न्यूटन मी॰$^{-2}$ है। इस बर्तन में 0.8 मी॰ गहराई पर बगल की दिवार के एक छिद्र में द्रवस्थैतिक दबाव की गणना करिए।
7. किसी हाइड्रॉलिस प्रेस में 1000 कि॰ ग्राम मात्रा के एक भारी पत्थर को उठाने के लिए कितने भार की आवश्यकता होगी? दिया हुआ है – दोनों पिस्टनों के अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल का अनुपात = 5, क्या मशीन द्वारा किया गया कार्य मशीन पर किए गए कार्य से अधिक है? समझाएं।
8. केशिका नली में भरे द्रव का नवचन्द्रक उत्तल है। यदि = F_a आसंजन का बल, F_c = संसंजन का बल और θ = स्पर्श कोण, तो निम्न लिखित में से कौन सा संबंध सही है?

   (क) $F_a > F_c \sin\theta$ (ख) $F_a < F_c \sin\theta$ (ग) $F_a\, F_c \cos\theta = F_c$

   (घ) $F_a \sin\theta > F_c$
9. किसी त्रिज्या की पानी की 100 बूंदें आपस में मिलकर एक बड़ी जल बूंद बनाती हैं। जल बूंद के ताप में क्या परिवर्तन होता है और क्यों?

10. जब फुहार द्वारा पानी की एक बड़ी बूंद को छोटी-छोटी बूंदों में बदल दिया जाता है तब क्या होता है? दैनिक जीवन में इसके महत्व का वर्णन कीजिए।

11. "केशिकार्षण" क्या होता है? किसी केशिका नली में द्रव के चढ़ने या गिरने को कौन-कौन से कारक प्रभावित करते हैं?

12. 0.05 मीटर लंबी और 0.2×10^{-3} मी० त्रिज्या वाली एक केशिका नली को 1000 कि० ग्रा० मी०$^{-3}$ घनत्व वाले एक द्रव में डूबाया गया है। द्रव के केशिका नली में उन्नयन (चढ़ाव) की गणना करें।

    द्रव का पृष्ठतनाव 7.27×10^{-2} न्यूटन मी०$^{-1}$ दिया हुआ है।

13. समतल द्रव सतह के लिए स्पर्श कोण बताइए।

14. बताइए हवामें पानी के बुलबुले बनाना कठिन है जबकि साबुन के बुलबुले बनाना आसान है।

15. तेल लगे कपड़ों को धोने के लिए साबुन से ज्यादा वरीयता डिटर्जेंट को क्यों दी जाती है? बताइए।

16. दिखाएँ कि r त्रिज्या, और ρ घनत्व की 1000 बूंदों के मिलने से बनी एक बूंद के लिए ताप की वृद्धि ($\Delta\theta$) का मान $\Delta\theta = 2.7\left(\frac{T}{r\rho S}\right)$ होगा, जहाँ S = द्रव की विशिष्ट ऊष्मा (जूल प्रति कि0 ग्रा0 सेल्सियम) में

    T = द्रव का पृष्ठ तनाव

17. दो गोलाकार गुब्बारों में विभिन्न आकार तक हवा भरी जाती है। दोनों को एक पतली तथा लीकप्रूफ नली से जोड़ दिया जाता है। निम्नांकित प्रेक्षणों में से आपकी राय में कौन साप प्रेक्षण संभावित है।

    (i) छोटे गुब्बारे में से हवा बड़े गुब्बारे में प्रवाहित होगी और जब तक वहेगी तब तक की समस्त हवा उसमें न चली जाय।

    (ii) बड़े गुब्बारे में से हवा प्रवाहित होकर छोटे गुब्बारे में जायेगी और जबतक दोनों में हवा का आकार समान न हो जाए।

18. 3 cm त्रिज्या वाले साबुन के बुलबुलों को साबुन के घोल में, या साबुन के घोल से वाहर हवा में बुलबुले बनाने के लिए अधिक दाब की आवश्यकता होती है।

प्रश्नों के उत्तर मिलाइए

पाठगत प्रश्न 9.1

1. बर्तन = B; $P_A = 0.4 \times 1500 \times 9.8 = 5880$ न्यूटन मी०$^{-2}$

   $P_B = 0.31 \times 2000 \times 9.8 = 6076$ न्यूटन मी०$^{-2}$

2. $\frac{5}{72}$ मीटर

3. अध्याय देखें। यांत्रिक लाभ $= \frac{\text{निर्गत बल}}{\text{लगाया गया आगत बल}} = \frac{P \times A_2}{P \times A_1} = \frac{A_2}{A_1}$

   = बड़े बेलन और छोटे बेलन के क्षेत्रफल का अनुपात

   $\frac{50}{0.1} = \frac{W}{10} \Rightarrow W = 5000$ कि०ग्रा० भार

5. पॉस्कल या न्यूटन मी०$^{-2}$ (परिमेय मात्रक में) 1 न्यूटन मी०$^{-2}$ = 1 Pa

6. लड़के के भार के कारण लगाया गया दबाव = $\frac{25}{0.05} = 500$ न्यूटन मी०$^{-2}$

हाथी के भार के कारण लगाया गया दबाव $= \frac{5000}{10} = 500$ न्यूटन मी०$^{-2}$

अतः लड़का हाथी को संतुलित कर सकता है।

पाठगत प्रश्नों के 9.2

1. एक जैसे पदार्थ के अणुओं के बीच के बल को संसजन बल एवं विभिन्न पदार्थों के अणुओं के बीच के बल को आसंजन बल कहते हैं।

2. परिभाषा के लिए अध्याय देखें।

पृष्ठ तनाव का विमीय सूत्र $= \frac{\text{बल}}{\text{लंबाई}} = \frac{MLT^{-2}}{L} = \left[MT^{-2}\right]$

3. ऐसी सतह जिसकी मोटाई अणुओं के आकर्षण क्षेत्र के बराबर हो, द्रव का पृष्ठ तल कहलाती है।

4. नहीं, इनके अणु दृढ़ता से बंधें नहीं होते हैं।

5. पृष्ठ तनाव बल के कारण।

6. पानी में हवा के बुल बुले के लिए

$$P = \frac{2T}{r} = \frac{2\times727\times10^{-3}}{2\times10^{-2}}$$
$$= 227\times10^{-1} \text{ न्यूटन मि०}^{-2}$$

हवा में साबुन के बुलबुले के लिए

$$P = \frac{4T'}{r'} = \frac{4\times25\times10^{-3}}{4\times10^{-2}}$$
$$= 25\times10^{-1} \text{ न्यूटन मि०}^{-2}$$

स्पष्टतः जल में हवा के बुलबुले के भीतर अतिरिक्त दबाव का मान अधिक है।

7. (i)

8. घोल के बाहर में। क्योंकि दो सतहें बनती हैं जिनके लिए अतिरिक्त दाब $= \frac{4T}{r}$ (जबकि घोल में बुलबुले के तैराने बनाने के लिए अतिरिक्त दाब = $\frac{2T}{r}$)

पाठगत प्रश्नों के 9.3

(i) नहीं

(ii) इतनी अधिक उँचाई तक पानी के चढ़ने के लिए केशिका नली की त्रिज्या बहुत ही कम होनी चाहिए। साथ

ही दूसरे छोर पर पहुँच कर नवचन्द्रक की त्रिज्या बढ़ने लगती है ताकि अपर्याप्त लंबाई के कारण जल केशिका नली से बाहर न निकलने लगे (अर्थात लंबाई, पानी की ऊँचाई से कम हो)।

(iii) पारे में उत्तल नवचन्द्रक होता है साथ ही केशिका नली में पारे का तल नीचे हो जाता है। इन कारणों से पारा नली में भरना मुश्किल होता है।

(iv) अधिक पृष्ठ तनाव होने के कारण हवा के बुलबुले में अतिरिक्त दबाव अधिक होता है। जल की परत टूट जाती है।

(v) $r = \frac{2T}{h\rho g} = \frac{2 \times 7.2 \times 10^{-2}}{3 \times 1000 \times 10}$ m $= 4.8 \times 10^{-6}$ मीटर