BT-01

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

आधारभूत भौतिकी, रसायन शास्त्र एवं जीव विज्ञान 1

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

BT-01

आधारभूत भौतिकी, रसायन शास्त्र एवं जीव विज्ञान 1

पाठ्यक्रम अभिकल्प समिति

अध्यक्ष

प्रो. नरेश दाधीच
कुलपति
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

विषय समन्वयक

प्रो. सी. के. ओझा
निदेशक
महात्मा गांधी इंस्टीट्यूट ऑफ एप्लाइड साइंसेज, जयपुर (राज.)

सदस्य सचिव / समन्वयक

डॉ. अशोक शर्मा
एसोसिएट प्रोफेसर
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

सदस्य

1. **प्रो. जी. एस. रंधावा**
   विभागाध्यक्ष, जैव प्रौद्योगिकी विभाग
   इंडियन इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नोलॉजी, रुड़की (उत्तर प्रदेश)
2. **प्रो. एस. पी. बोहरा**
   विभागाध्यक्ष, वनस्पति शास्त्र विभाग
   जय नारायन व्यास विश्वविद्यालय, जोधपुर (राज.)
3. **प्रो. के. के. शर्मा**
   विभागाध्यक्ष, प्राणीशास्त्र विभाग
   महर्षि दयानन्द सरस्वती विश्वविद्यालय, अजमेर (राज.)
4. **डॉ. कनिका शर्मा**
   सहायक आचार्य, वनस्पति शास्त्र विभाग
   मोहनलाल सुखड़िया विश्वविद्यालय, उदयपुर (राज.)
5. **डॉ. आर. एन. जाट**
   सहआचार्य, गणित विभाग
   राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर(राज.)
6. **डॉ. अरविन्द पारीक**
   सहायक आचार्य, वनस्पति शास्त्र विभाग
   महात्मा गांधी इंस्टीट्यूट ऑफ एप्लाइड साइंसेज, जयपुर (राज.)

सम्पादन एवं पाठ लेखन

सम्पादक

प्रो. सी. के. ओझा
निदेशक
महात्मा गांधी इंस्टीट्यूट ऑफ एप्लाइड साइंसेज, जयपुर

लेखक

1. **डॉ. के. बी. शर्मा**
   प्राचार्य, एस.एस. जैन सुबोध महाविद्यालय, जयपुर
2. **डॉ. के. के. शर्मा**
   सेवानिवृत्त उपप्राचार्य,
   (कॉलेज शिक्षा राज. सरकार), अजमेर
3. **प्रो. के. के. शर्मा**
   विभागाध्यक्ष, प्राणीशास्त्र विभाग
   महर्षि दयानन्द सरस्वती विश्वविद्यालय, अजमेर
4. **डॉ. अरविन्द पारीक**
   सहायक आचार्य, वनस्पति शास्त्र विभाग
   महात्मा गांधी इंस्टीट्यूट ऑफ एप्लाइड साइंसेज, जयपुर

पाठ्यक्रम निर्देशन एवं उत्पादन

निदेशक (अकादमिक)
प्रो. अनाम जेटली
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

निदेशक (सामग्री उत्पादन एवं वितरण विभाग)
प्रो. पी. के. शर्मा
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

उत्पादन - जुलाई, 2007

सर्वाधिकार सुरक्षित : इस सामग्री के किसी भी अंश की वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा की लिखित अनुमति के बिना किसी भी रूप में मिमियोग्राफी (चक्रमुद्रण) के द्वारा या अन्यथा पुनः प्रस्तुत करने की अनुमति नहीं है।

निदेशक (अकादमिक) द्वारा वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा के लिए मुद्रित एवं प्रकाशित

अनुक्रमणिका

क्रम सं.	इकाई का नाम	पृष्ठ संख्या
1.	बल	7–27
2.	दाब तथा पृष्ठ तनाव	28–47
3.	प्रशीतिकरण	48–64
4.	किरण प्रकाशिकी	65–80
5.	विद्युत चुम्बकीय बल	81–101
6.	द्रव्य के अनुसंख्य गुणधर्म	102–120
7.	ऊष्मागतिकी	121–144

प्रस्तावना

यह पुस्तक वर्धमान माहावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा के बी. एससी. प्रथम वर्ष, जैव प्रौद्योगिकी प्रथम प्रश्न पत्र के पाठ्यक्रम के अनुसार लिखी गई है ।

जैव प्रौद्योगिकी के बढ़ते क्लेवर के साथ विद्यार्थी को इसके आधारभूत सिद्वान्तों सिद्धान्तों से परिचित कराना आवश्यक था । इसी को ध्यान में रखते हुये आधारभूत भौतिकी, रसायन और जीव विज्ञान से सम्बन्धित रागुचित सामग्री का समावेश किया गया है ।

पुस्तक की भाषा यथासंभव सरल और सारगर्भित रखी गई है । तकनीकी हिन्दी शब्द, भारत सरकार द्वारा प्रकाशित पारिभाषिक वैज्ञानिक शब्दावली से लिए गए है । यथास्थान कोष्ठक में अंग्रेजी शब्द भी दिये गए है जो विद्यार्थी के लिए उपयोगी सिद्ध होंगे ।

पुस्तक को यथासम्भव त्रुटिरहित रखने का प्रयास किया गया है फिर भी मानव स्वभाव जनित त्रुटियाँ रहना संभव है। वृद्धजनों से इस हेतु सुझाव आमंत्रित है ।

इकाई 1

बल

FORCE

रूपरेखा

1.0 उद्देश्य (Object)

1.1 प्रस्तावना (Introduction)

1.2 अदिश एवं सदिश राशियाँ (Scalar & Vector Quantities)

1.3 मूलभूत बल की अभिधारणा (Concept of Fundamental Force)

1.4 न्यूटन के गति के नियम (Newton's Law of Motion)

1.4.1 न्यूटन का गति का प्रथम नियम (Newton's First Law of Motion)

1.4.2 जड़त्व (Inertia)

1.4.3 संवेग (Momentum)

1.4.4 न्यूटन का गति का द्वितीय नियम (Newton's Second Law of Motion)

1.5 रेखीय संवेग संरक्षण का नियम (Law of Consevation of Linear Momentum)

1.6 कार्य (Work)

1.7 ऊर्जा (Energy)

1.8 कार्य-ऊर्जा प्रमेय (Work-Energy Theorem)

1.9 सारांश (Summary)

1.10 शब्दावली (Glossary)

1.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference Books)

1.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer's of SAQ's)

1.13 अभ्यासार्थ प्रश्न Exercise Question:

1.0 उद्देश्य (Objects):

इस इकाई में हम लगभग सभी भौतिक राशियों को दो भागों में विभाजित करेंगे - सदिश एवं अदिश। इस इकाई के अध्ययन के बाद हम यह बता सकते हैं कि कौन सी भौतिक राशि सदिश (अर्थात् जिसके लिए परिमाण के साथ-साथ दिशा का ज्ञान होना आवश्यक है) है तथा कौन सी भौतिक राशि अदिश (अर्थात् जिसके लिए केवल परिमाण का ज्ञान होना आवश्यक है) है। इस इकाई में हम पिण्ड की गति का अध्ययन करेंगे जिसे यांत्रिकी में गतिकी (kinematics) कहते है। इस इकाई में हम विभिन्न प्रश्नों के उत्तर जानने का प्रयास करेंगे जैसे- बल क्या होते है?, बल क्या करते है? द्रव्यमान गति में सहायक होता है अथवा बाधक? आदि । इसके लिए न्यूटन

के गति नियमों का उल्लेख करेंगे । दैनिक जीवन में हम कई व्यक्तियों को कार्य करते हुए देखते है जैसे किसी कुली द्वारा वजन उठाना, मजदूर द्वारा पत्थर तोड़ना, बालक द्वारा साइकिल चलाना आदि । वैज्ञानिक दृष्टिकोण से उपर्युक्त उदाहरणों में से कुछ में कार्य किया जाता है तथा कुछ में नहीं । इस इकाई में उन बिन्दुओं का अध्ययन करेंगे जिसमें वैज्ञानिक दृष्टिकोण से कार्य किया जाता है या नहीं ।

1.1 प्रस्तावना (Introduction):

यदि किसी पिण्ड की किसी अन्य पिण्ड के सापेक्ष स्थिति में परिवर्तन होता है तो उस पिण्ड को गतिशील कहा जाता है । यदि कोई पिण्ड किसी सीधी रेखा में गतिशील होता है तो उसकी गति को एक विमीय गति कहते है। जैसे - सीधी रेल की पटरी पर गतिशील रेलगाड़ी की गति। किसी तल में वक्रीय पथ पर किसी पिण्ड की गति द्विविमीय गति कहलाती है। जैसे- प्रक्षेप्य गति। इसी प्रकार आकाश में किसी कण की गति त्रिविमीय होती है जैसे- पतंग की गति ।

किसी कण या पिण्ड की गति का वर्णन करने के लिए समय व स्थिति के मूल बिन्दु माने जाते है जो स्वैच्छिक होते है। मूल बिन्दु पर समय व स्थिति शून्य होते है। इसी प्रकार समय व स्थिति के लिए उचित मात्रकों का चयन किया जाता है।

गतिशील पिण्ड की अंतिम बिन्दु से प्रारम्भिक बिन्दु के बीच की दूरी को विस्थापन कहते है तथा पिण्ड के द्वारा वास्तव में तय की गई दूरी विस्थापन के बराबर या उससे अधिक होती है। किसी पिण्ड के द्वारा प्रति सेकण्ड तय की गई दूरी को चाल कहते है। तथा किसी पिण्ड की किसी निश्चित दिशा में स्थिति परिवर्तन की दर को वेग कहते है। किसी पिण्ड के वेग में समय के साथ परिवर्तन की दर को त्वरण कहते है।

1.2 अदिश एवं सदिश राशियाँ (Scalar and Vector Quantities):

किसी भौतिक राशि को उसके मात्रक एवं उस मात्रक में आंकिक मान के द्वारा व्यक्त किया जाता है। लेकिन कई भौतिक राशियाँ ऐसी भी होती है जिसको प्रदर्शित करने के लिए मात्रक तथा आंकिक मान पर्याप्त नहीं होते है, उसके लिए दिशा के ज्ञान की भी आवश्यकता होती है। अत: सभी भौतिक राशियों को दो भागों में विभाजित किया जाता है

1. अदिश राशियाँ
2. सदिश राशियाँ

1. अदिश राशियाँ (Scalar Quantities)

जिन भौतिक राशियों को पूर्णतया व्यक्त करने के लिए केवल परिमाण तथा मात्रक की आवश्यकता होती है, उन राशियों को अदिश राशियाँ कहते है। उदाहरण - समय (Time) कार्य (Work), ऊर्जा (Energy), शक्ति (Power) आदि। अदिश राशियाँ जोड, बाकी, गुणा, भाग आदि में सामान्य बीजगणित (Algebra) का पालन करती है ।

2. सदिश राशियाँ

जिन भौतिक राशियों को पूर्णतया व्यक्त करने के लिए परिमाण के साथ दिशा का ज्ञान होना भी आवश्यक होता है, उन राशियों को सदिश राशियाँ कहते है। उदाहरण के लिए यदि किसी वस्तु पर बल कार्यरत है तो वस्तु पर बल के सम्पूर्ण प्रभाव की जानकारी के लिए बल के परिमाण के

साथ-साथ इसके दिशा के ज्ञान की भी आवश्यकता होती है। बल के केवल परिमाण से यह पता नहीं चल पायेगा कि बल के प्रभाव से वस्तु किस दिशा में गतिशील होगी। सदिश राशियों के अन्य उदाहरण है- विस्थापन (Displacement), वेग (Velocity)s, त्वरण (Acceleration), संवेग (Momentum) आदि।

सदिश राशि को भौतिक राशि के ऊपर तीर का निशान लगाकर प्रदर्शित करते है तथा चित्र में एक रेखा के द्वारा व्यक्त करते है जिसकी लम्बाई सदिश के परिमाण के समानुपाती होती है तथा दिशा उस रेखा के अंतिम बिन्दु पर तीर का निशान लगाकर प्रदर्शित करते है।

सदिश राशियों से सम्बन्धित महत्वपूर्ण परिभाषायें

(i) एकांक सदिश (Unit Vector)

वह सदिश जिसका परिमाण एकांक होता है, एकांक सदिश कहलाता है। इसे भौतिक राशि के ऊपर केप लगाकर प्रदर्शित करते हैं। जैसे $\hat{F}, \hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ आदि ।

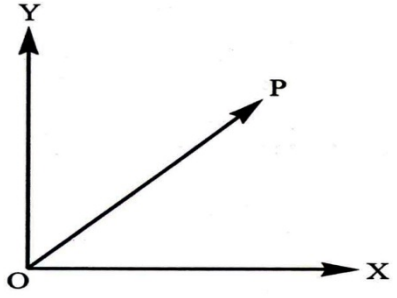
सदिश $\hat{F}$ के एकांक सदिश $\hat{F}$ को निम्न प्रकार परिभाषित करते है -

$$\hat{F} = \frac{\hat{F}}{\left\lfloor \hat{F} \right\rfloor} = \frac{\text{सदिश}}{\text{सदिश का परिमाण}}$$

या $$\hat{F} = \left|F\right| \hat{F}$$

(ii) स्थिति सदिश (Position Vector)

किसी कण की मूल बिन्दु के सापेक्ष स्थिति प्रदर्शित करने वाले सदिश को स्थिति सदिश कहते है। इसे सदिश $\vec{r}$ के द्वारा प्रदर्शित किया जाता है ।



किसी तल में स्थित सदिश $\vec{OP}$

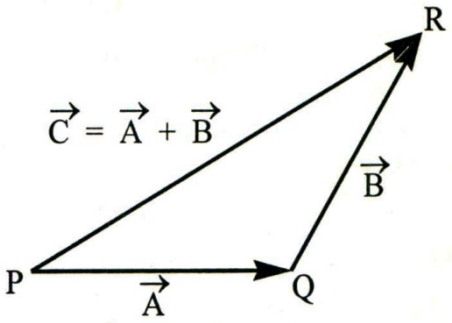
चित्र 1.1 - किसी तल में स्थिति सदिश $O\vec{P}$

(iii) सदिशों का संयोजन (Composition of Vectors)

सदिशों का संयोजन निम्न तीन नियमों में से किसी एक के द्वारा किया जाता है-

(अ) सदिशों के त्रिभुज का नियम

इस नियम के अनुसार यदि दो सदिशों को परिमाण व दिशा में त्रिभुज की दो क्रमागत भुजाओं से समान क्रम में निरूपित करें तो त्रिभुज की तीसरी भुजा विपरीत क्रम में परिमाण व दिशा में परिणामी सदिश को प्रदर्शित करेगी ।



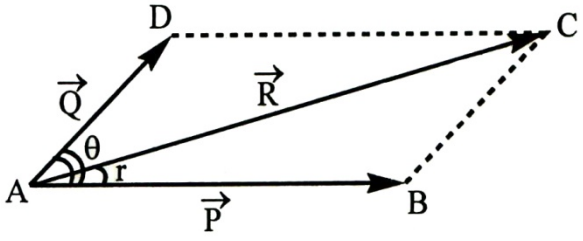
चित्र 1 .2 - सदिशों के त्रिभुज का नियम

दो सदिश $\vec{A}$ तथा $\vec{B}$ को क्रमश: रेखाओं PQ तथा QR के द्वारा समान क्रम (वामावर्त) में प्रदर्शित किया गया है अत: तीसरी भुजा इनके योग (परिणामी) सदिश को विपरीत क्रम (दक्षिणावर्त) में प्रदर्शित करती है।

यदि दो सदिशों $\vec{A}$ व $\vec{B}$ के मध्य कोण θ हो तो परिणामी सदिश के परिमाण को निम्न प्रकार व्यक्त करते है- $C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2ABCos\theta}$

(ब) सदिशों के समान्तर चतुर्भुज का नियम

यदि दो सदिश परिमाण व दिशा में समान्तर चतुर्भुज की दो आसन्न भुजाओं को निरूपित करें जो एक बिन्दु से गुजरती है तो उनका परिणामी सदिश परिमाण व दिशा में उस बिन्दु से गुजरने वाले विकर्ण को प्रदर्शित करेगा।

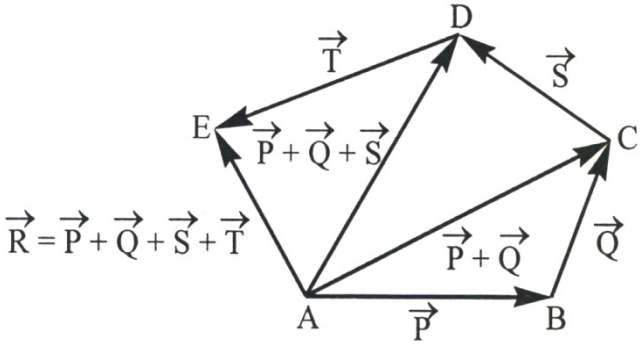


चित्र 1.3 - सदिशों के समान्तर चतुर्भुज का नियम

समान्तर चतुर्भुज की आसन्न भुजाओं AB व AD के द्वारा क्रमश: सदिश $\vec{P}$ व $\vec{Q}$ को प्रदर्शित किया गया है । विकर्ण AC इनके परिणामी सदिश $\vec{R}$ को निरूपित करता है ।

(स) सदिशों के बहुभुज का नियम

इस नियम के अनुसार यदि दो से अधिक सदिशों के परिमाण व दिशा में एक खुले बहुभुज की भुजाओं के द्वारा समान क्रम में निरूपित किया जाता है तो बहुभुज को बन्द करने वाली भुजा परिमाण व दिशा में उनके परिणामी सदिश को विपरीत क्रम में पदर्शित करेगी ।



चित्र 1.4 - सदिशों के बहुभुज का नियम

चार सदिश $\vec{P},\vec{Q},\vec{S}$ व $\vec{T}$ है। बहुभुज के नियम से सदिशों $\vec{P},\vec{Q},\vec{S},\vec{T}$ का परिणामी सदिश $\vec{R}$ प्राप्त किया गया है।

उदाहरण : 1 यदि 3 व 4 न्यूटन के दो बल समकोण पर लग रहे है तो परिणामों बल कितना होगा।

हल : यदि दो सदिश राशियों $\vec{A}$ व $\vec{B}$ के मध्य कोण θ हो तो परिणामी सदिश C के परिणाम को निम्न प्रकार व्यक्त करते है -

$$C=\sqrt{A^2+B^2+2ABCos\theta}$$

∵ बल एक सदिश राशि है । अत: 3 व 4 न्यूटन के दो बल यदि समकोण $\theta=90^\circ=0$ पर है तो परिणामी बल

$$F=\sqrt{(3)^2+(4)^2+2(3)(4)Cos\theta}$$

$$F=\sqrt{9+16+0} \qquad \because Cos90^\circ = 0$$

$$F=\sqrt{25}$$

= 5 न्यूटन

बोध प्रश्न

1. निम्न भौतिक राशियाँ अदिश है या सदिश -
   - (अ) आयतन
   - (ब) क्षेत्रफल
   - (स) विस्थापन
   - (द) घनत्व

   .....

2. एकांक सदिश क्या होता है ?

   .....

1.3 मूलभूत बल की अभिधारणा (Concept of fundamental force):

विरामावस्था (Rest)

यदि किसी वस्तु की स्थिति में समय के साथ कोई परिवर्तन न हो तो उसे स्थिर वस्तु कहते हैं।

उदाहरण : 1. एक पुस्तक का टेबल पर रखी होना ।
2. एक व्यक्ति का कुर्सी पर बैठे होना ।

गति (Motion)

जब किसी वस्तु या कण की स्थिति निर्देश बिन्दु के सापेक्ष समयानुसार परिवर्तित होती है तो उसे उसकी गतिक अवस्था कहते है ।

उदाहरण :

1. एक व्यक्ति का सड़क पर चलना ।
2. एक पक्षी का हवा में उड़ना ।

विरामावस्था व गतिक अवस्था दोनों सापेक्ष राशियाँ है। इसका तात्पर्य यह है कि एक वस्तु एक स्थिति में स्थिर है तो वहीं वस्तु दूसरी स्थिति में गतिशील भी हो सकती है ।

उदाहरण :

1. एक गतिशील ट्रेन में बैठे हुए व्यक्ति के लिए, अपने साथ बैठे व्यक्ति के सापेक्ष वह विरामावस्था है लेकिन वही व्यक्ति ट्रेन के बाहर की वस्तुओं के सापेक्ष गतिशील अवस्था में है।
2. एक व्यक्ति अपने घर में पृथ्वी के सापेक्ष विरामावस्था में है लेकिन अन्य ग्रहों के सापेक्ष वह गतिक अवस्था में है।

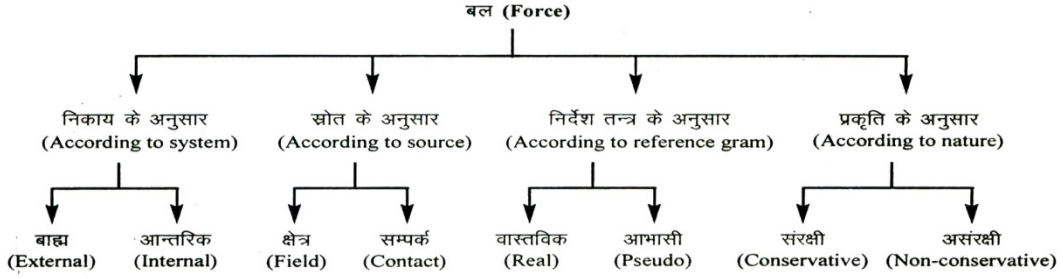
बल (Force)

यह एक धक्का या खिंचाव है, जो कि किसी स्थिर वस्तु या गतिशील वस्तु की स्थिति में परिवर्तन करता है अथवा परिवर्तन करने की कोशिश करता है।

परिणामी बल का प्रभाव (Effect of Resultant Force)

1. चाल परिवर्तित हो सकती है।
2. गति की दिशा परिवर्तित हो सकती है।
3. वस्तु का आकार या आकृति परिवर्तित हो सकता है।

बलों के प्रकार (Type of Force)



क्षेत्रीय बल (Field Force)

दो वस्तुएँ भौतिक रूप से स्पर्श किये बिना जो बल का अनुभव करती है, उसे क्षेत्रीय बल कहते है। जैसे - गुरुत्वाकर्षण बल, विद्युत चुम्बकीय बल।

सम्पर्क बल (Contact Force)

जब दो वस्तुएँ भौतिक रूप से स्पर्श करती है तो उनके द्वारा अनुभव किया गया बल, सम्पर्क बल कहलाता है। जैसे- घर्षण बल, स्प्रिंग बल ।

वास्तविक बल (Real Force)

एक वस्तु के द्वारा दूसरे पर कार्यरत बल, वास्तविक बल कहलाता है।

आभासी बल (Pseudo Force)

किसी अजड़त्वीय निर्देश तन्त्र में न्यूटन के नियम का पालन कराने के लिए आवश्यक आभासी बल, काल्पनिक बल कहलाता है।

संरक्षी बल (Conservative Force)

यदि किसी बल द्वारा किया गया, पथ पर निर्भर नहीं करता वरन् उसकी प्रारम्भिक व अन्तिम स्थितियों पर ही निर्भर करता है, संरक्षी बल कहलाता है । जैसे - गुरुत्वाकर्षण बल, कूलॉम बल आदि।\

असंरक्षी बल (Non-conservative Force)

वह बल जिसके द्वारा किया गया कार्य तय किये गये पथ पर निर्भर करता है, असंरक्षी बल कहलाता है । जैसे - घर्षण बल

1.4 (Newton's Law of Motion):

न्यूटन ने सभी प्रकार की गतियों को समझाने के लिए तीन आधारभूत नियम दिये जिन्हें न्यूटन के गति के नियम कहते है।

1.4.1 न्यूटन की गति का प्रथम नियम (Newton's First Law of Motion)

इस नियम के अनुसार "कोई वस्तु स्थिर अवस्था में अथवा सीधी रेखा में एक समान गति की अवस्था में बनी रहती है जब तक की उस पर कोई बाह्य बल कार्य न करें।" यह नियम बल के गुण के बारे में जानकारी प्रदान करता है कि वस्तु की स्थिति में परिवर्तन के लिए बल आवश्यक होता है। यह नियम जड़त्व को परिभाषित करता है अत: इसे जड़त्व का नियम भी कहते है।

1.4.2 जडत्व (Inertia)

किसी पिण्ड या वस्तु द्वारा उसकी स्थिति में परिवर्तन का विरोध करने का गुण जड़त्व कहलाता है। जड़त्व का मापन वस्तु के द्रव्यमान से किया जाता है। पिण्ड के जड़त्व का मान उसके द्रव्यमान के समानुपाती होता है। अत: भारी वस्तु की स्थिति में परिवर्तन करने के लिए ज्यादा बल की आवश्यकता होती है अर्थात् उसका जड़त्व ज्यादा है। इसका विपरीत भी सत्य है।
किसी वस्तु के जड़त्व को तीन भागों में बांटा गया है -

1. स्थिरावस्था का जड़त्व (Inertia of Rest)

यदि कोई वस्तु स्थिरावस्था में है तो वह स्थिर ही रहेगी जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल आरोपित न हो।

उदाहरण :-

(i) जब एक बस या रेलगाड़ी अचानक चलना शुरू करती है तो उसमें बैठे यात्रियों को पीछे की तरफ धक्का लगता है।

(ii) जब एक कम्बल को डंडे से पीटा जाता है तो उसकी धूल साफ हो जाती है।

(iii) जब एक आम के पेड़ की डाली को हिलाया जाता है तो आम टूटकर नीचे गिर जाता है।

2. गति का जड़त्व (Inertia of Motion)

इसके अनुसार यदि कोई वस्तु गतिशील अवस्था में है तो वह गतिशील ही रहना चाहती है जब तक कि उस पर कोई बाह्य बल आरोपित न हो।

उदाहरण:

(i) जब एक बस या रेलगाड़ी अचानक रूक जाये तो उसमें बैठा यात्री आगे की तरफ झुक जाता है।

(ii) एक चलती हुई ट्रेन से यदि एक आदमी कूदता है तो वह आगे की ओर गिरता है ।

3. दिशा का जड़त्व (Inertia of Direction)

इसके अनुसार वस्तु अपनी दिशा में परिवर्तन का विरोध करती है उदाहरण:

(i) जब एक कार सड़क पर मुड़ती है तो उसमें बैठे व्यक्ति को बाहर की तरफ बल लगता है।

(ii) किसी वाहन का पहिया जब घूमता है तो कीचड़ को बाहर की तरफ फेंकता है, इसलिये इसे रोकने के लिये मड़ गार्ड (Mud guard) लगाये जाते है।

1.4.3 संवेग (Momentum)

हम जानते है कि यदि एक हल्का पिण्ड तथा एक भारी पिण्ड समान वेग से गतिशील है तथा दोनों को किसी निश्चित समान समय में स्थिर अवस्था में लाना चाहते हैं तो हल्के पिण्ड पर कम बल लगाना होगा जबकि भारी पिण्ड पर अधिक बल लगाना होगा। इसी कारण भारी वाहन जैसे ट्रक, बस आदि के ब्रेक हल्के वाहन जैसे साइकिल, लूना आदि के ब्रेक की अपेक्षा अधिक शक्तिशाली होते है। अत: किसी पिण्ड की गति की मात्रा का अनुमान लगाने के लिये उस पिण्ड के वेग के साथ-साथ उसके द्रव्यमान पर भी विचार करना होता है।

किसी गतिशील पिण्ड में गति की कुल मात्रा को उसका संवेग कहते है। यह पिण्ड के द्रव्यमान एवं उसके वेग के गुणनफल के बराबर होता है। यदि पिण्ड का द्रव्यमान m है तथा वह $\vec{v}$ वेग से गतिशील है तो उसके संवेग $\vec{P}$ को निम्न प्रकार व्यक्त किया जाता है-

$$\vec{P} = m\vec{V}$$

यह एक सदिश राशि होती है जिसकी दिशा वेग की दिशा होती है। SI पद्धति में संवेग का मात्रक किग्रा x मीटर/सेकिण्ड होता है।

उदाहरण. 2 एक कार तथा एक ट्रक के रेखीय संवेग समान है। दोनों में किसकी चाल अधिक होगी?

हल: माना कार का द्रव्यमान व चाल क्रमश: m_c व v_c है तथा ट्रक का द्रव्यमान व चाल क्रमश: m_T व v_T है। संवेग

$P = m_c v_c = m_T v_T$ (दिया गया है कार का संवेग? ट्रक का संवेग)

$$\therefore \frac{m_C}{m_T} = \frac{v_T}{v_C}$$

$$\because m_C < m_T \Rightarrow v_T < v_C$$

अत: ट्रक की चाल कार की अपेक्षा कम होगी ।

उदाहरण :3 0.2 किग्रा द्रव्यमान की एक गेंद 10 मी./से. के वेग से गति कर रही है। एक खिलाड़ी उसे 0.5 सेकण्ड में स्थिर अवस्था में लाता है। गेंद के आवेग व खिलाड़ी के द्वारा लगाया गया बल ज्ञात कीजिये।

हल : यहाँ $m = 0.2$ किग्रा

v_1 = 10 मी. /से.

v_2 =0

$t = 0.5$ सेकिण्ड

$\because$ संवेग में परिवर्तन = आवेग

$\because$ आवेग = $p_2 - P_1$

$= mv_2 - mv_1$

$= 0 - 0.2x10$

= - 2 न्यूटन प्रति/सेकिण्ड

$\because$ आवेग $J = F.t$

$\therefore$ $F = J / t$

$$F = \frac{1}{0.5} = 4 \text{ न्यूटन}$$

1.4.4 न्यूटन का गति का द्वितीय नियम Newton's Second Law of Motion)

इस नियम के अनुसार वस्तु के संवेग में परिवर्तन की दर लगाये गये बाह्य बल के समानुपाती होती है और यह संवेग में परिवर्तन आरोपित बल की दिशा में होता है।

अतः

$$\vec{F} \propto \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad \text{.....}(i)$$

या $$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad \text{.....}(ii)$$

यहाँ k समानुपाती नियतांक है जिसका मान चयनित मात्रकों पर निर्भर करता है। मात्रकों का चयन इस प्रकार किया जाता है कि k का मान एक हो जाये।

$\therefore \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ .....(iii)

या $\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$ $(\because \vec{P} = \vec{v})$

या $\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}\frac{dm}{dt} =$ .....(iv)

यदि वस्तु का द्रव्यमान नियत है तब - = $\frac{dm}{dt} = 0$

या $\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt}.$

या $F = m\vec{a}$

यदि वस्तु का वेग नियत है तब $\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$

या $\vec{F} = \vec{v}\frac{dm}{dt}$

1.4.5 आवेग (Impulse)

किसी पिण्ड में उत्पन्न गति केवल बल पर निर्भर नहीं करती वरन् बल कितने समय तक लगता है इस पर भी निर्भर करती है।

'किसी कण पर लगने वाले बल एवं वह जितने समय तक कार्य करता है के गुणनफल को आवेग कहते है।" यह एक सदिश राशि होती है। इसे $\vec{J}$ द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। अत: यदि किसी पिण्ड पर कोई बल है अल्प समय dt के लिए कार्यरत रहता है तो इस बल का आवेग होगा -

आवेग = बल x समय

$$d\vec{J} = \vec{F}\,dt \qquad \text{.....(1)}$$

यदि बल निश्चित समय अन्तराल t_1 से t_2 तक कार्यरत रहता है तो बल $\vec{F}$ का कुल आवेग $\vec{J}$ समीकरण (1) का समय अन्तराल t_1 से t_2 तक समाकलन करके प्राप्त किया जा सकता है -

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}.dt \text{ ..... (2)}$$

यदि इस समय अन्तराल में बल का परिमाण व दिशा नियत है तो

$$\vec{J} = \vec{F}\int_{t_1}^{t_2} .dt$$

या $\vec{J} = \vec{F}(t_2 - t_1)$

या $d\vec{J} = \vec{F}\,dt$

अत: नियम बल का निश्चित समय अन्तराल में आवेग बल तथा समय अन्तराल के गुणनफल के बराबर होता है।

SI में आवेग का मात्रक न्यूटन-सेकण्ड होता है।

न्यूटन के गति के द्वितीय नियमानुसार

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

या $d\vec{p} - \vec{F}\,dt$

$\therefore$ आवेग $\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}.dt$ (समी (2) से)

या $\vec{J} = \int_{p_1}^{p_2} \vec{dp}$ ($\because \vec{F}.dt = d\vec{p}$)

या $\vec{J} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$

अर्थात् किसी बल का आवेग उस बल के कारण संवेग में परिवर्तन के बराबर होता है। इसे आवेग संवेग प्रमेय भी कहते है ।

आवेग के उदाहरण

(i) गेंद को पकड़ते समय खिलाड़ी अपने हाथों को चोट से बचाने के लिए पीछे ले जाता है ।

(ii) झटके से बचने के लिए कार-ट्रक आदि में शोकर लगाये जाते है ।

(iii) एक व्यक्ति कठोर फर्श पर कूदने से ज्यादा चोटग्रसित होता है, बजाय कीचड़ युक्त या रेतीले जगह पर कूदने के।

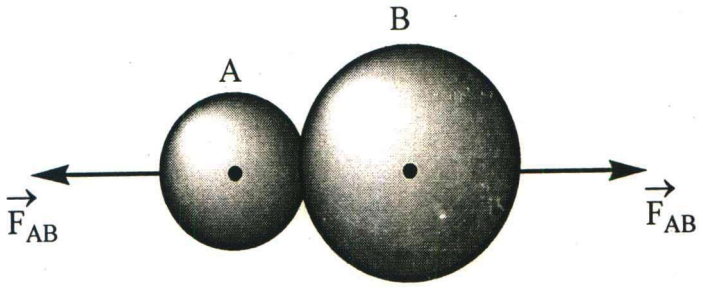
1.4.6 न्यूटन की गति का तृतीय नियम (Newton's Third Law of Motion)

इस नियम के अनुसार प्रत्येक क्रियाकारी बल के परिमाण में बराबर एक विपरित दिशा में प्रतिक्रियाकारी बल होता है। दोनों बल भिन्न-भिन्न वस्तुओं पर कार्यरत होते है अर्थात् प्रत्येक क्रिया के बराबर, विपरीत प्रतिक्रिया होती है।

जब दो वस्तुएँ है A एवं B एक दूसरे पर बल आरोपित करती है तो A का B पर लगाया गया क्रियाकारी बल $\left(\vec{F}_{BA}\right)$ सदैव B के द्वारा A पर लगाये गये बल $\left(\vec{F}_{AB}\right)$ के, परिमाण में बराबर किन्तु विपरीत दिशा में होता है।

अर्थात् $\left(\vec{F}_{BA}\right) = -\left(\vec{F}_{AB}\right)$

यदि एक वस्तु A दूसरी वस्तु B पर $\vec{F}$ बल आरोपित करता है तो B वस्तु A पर $-\vec{F}$ बल आरोपित करता है।



चित्र 1.5 - दो पिण्ड A व B में क्रिया तथा प्रतिक्रिया के बल बराबर व विपरीत दिशा में है)

तृतीय नियम के उदाहरण

(i) बन्दूक से गोली का दागना।

(ii) हम चलने के लिए पैरों से जमीन को पीछे की ओर धकेलते है।

(iii) एक तैराक पानी को पीछे की ओर धकेलता है तो पानी उसे आगे की ओर धकेलता है।

1.5 रेखीय संवेग संरक्षण का नियम (Law of Conservation of Linear Momentum):

न्यूटन के गति के द्वितीय नियम के अनुसार किसी वस्तु पर कार्यरत बाह्य बल उसके संवेग में परिवर्तन की दर के बराबर होता है।

अर्थात $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = 0$ .....(1)

अब यदि निकाय पर बाह्य बल कार्यरत नहीं है तब $\vec{F} = 0$

$\therefore$ $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$ (सभी (1) से)

या $\vec{P} =$ नियत

अतः यदि किसी निकाय पर कोई बाह्य बल कार्यरत नहीं है तो रेखीय संवेग संरक्षण नियम से निकाय का कुल

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + ---+ \vec{P}_n = \text{नियत}$$

या $\triangle\vec{P} = \triangle\vec{P}_1 + \triangle\vec{P}_g + ---+ \triangle\vec{P}_n = 0$

अर्थात सम्पूर्ण निकाय का कुल रेखीय संवेग नियत रहता है।

रेखीय संवेग संरक्षण का नियम प्रकृति का एक मूलभूत नियम है। इसका अपवाद अभी तक नहीं पाया गया है। यह नियम न्यूटन के गति के नियमों पर आधारित होता है। इस नियम के लिए यह ध्यान देने योग्य बात होती है कि रेखीय संवेग तभी संरक्षित रहता है जब कि स्थिति ऊर्जा

स्थानान्तरीय रूप से निश्चर (translationally invariant) होती है अर्थात् सम्पूर्ण स्थितिज ऊर्जा केवल तन्त्र के विभिन्न कणों के मध्य पारस्परिक दूरी पर ही निर्भर करती है।

उदाहरण 4: 10 किग्रा द्रव्यमान की एक बंदूक से 250 मी. प्रति से. के वेग से 20 ग्राम द्रव्यमान की एक गोली दागी जाती है। बन्दूक के प्रतिपेक्ष वेग की गणना कीजिये।

हल: यहाँ M = 10 किग्रा

m = 20 ग्राम = 0.02 किग्रा

v = 250 मी. /से.

संवेग संरक्षण के नियम से

$$MV + mv = 0$$

$$\Rightarrow V = \frac{-mv}{M}$$

$$= \frac{-0.02x250}{10}$$

= - 0.5 मी. /से.

अत: बंदूक 0.5 मी. प्रति से. के वेग से गोली के चलने की विपरीत दिशा चलेगी।

बोध प्रश्न

4. आवेग व संवेग के मध्य क्या सम्बन्ध है ?

.....

5. एक खिलाड़ी कूदने से पहले कुछ पूरी क्यों भागता है?

.....

1.6 कार्य (Work)

जब किसी कण पर बल लगाने से कण में विस्थापन उत्पन्न हो जाये तो कण पर बल द्वारा कार्य किया जाता है। किसी कण पर बल द्वारा किया गया कार्य बल तथा विस्थापन के अदिश गुणनफल के बराबर होता है।

माना कोई कण P चक्र पर बल $\vec{F}$ के प्रभाव के अन्तर्गत गतिमान है तथा किसी क्षण कण का स्थिति सदिश $\vec{r}$ है। यदि बल $\vec{F}$ के कारण कण में अल्प विस्थापन $d\vec{r}$ उत्पन्न होता है तो बल द्वारा किया गया कार्य -

$$dW = \vec{F}.d\vec{r} \qquad \text{.....(1)}$$

या $$dW = \vec{F}.dr\,Cos\theta \qquad \text{.....(2)}$$

जहाँ θ, बल $\vec{F}$ तथा विस्थापन $d\vec{r}$ के मध्य कोण है।

$\vec{F}\,Cos\theta$, विस्थापन सदिश $d\vec{r}$ पर बल प्रक्षेप (Projection) होता है। अत: कण को A से B तक विस्थापित करने में बल द्वारा किया गया कुल कार्य होगा -

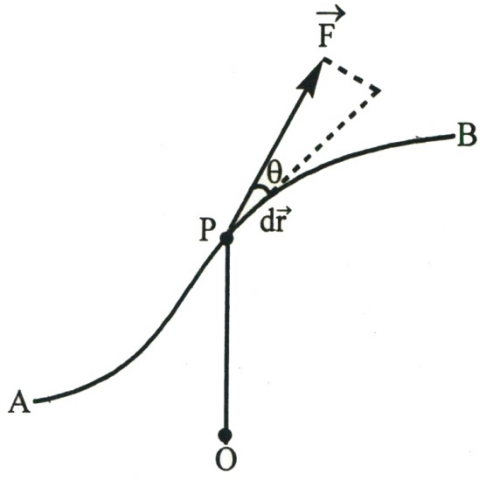
$$W = \int_A^B \vec{F}.d\vec{r}$$

$$= \int_A^B F\,Cos\theta\,dr \qquad \text{.....(3)}$$

यदि बिन्दु A का स्थिति सदिश $\vec{r}_2$ हो तो

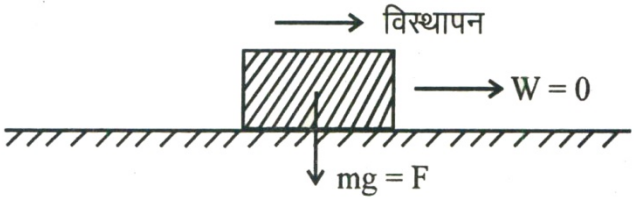
$$W = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F}.d\vec{r} \qquad \text{.....(4)}$$

समी. (3) या (4) के समाकलन को पथ AB का रेखा समाकलन कहते है।



चित्र 1.6

स्थिति : 1 यदि $\theta = 90^\circ$ हो तो $Cos\theta = Cos90^\circ$ तथा $W = 0$ अर्थात् यदि विस्थापन बल की दिशा के लम्बवत हो तो कोई कार्य नहीं होता है। यदि कोई कुली अपनी सिर पर एक बॉक्स रखकर प्लेटफार्म पर चलता है तो गुरूत्वीय बल के विरूद्ध वह कोई कार्य नहीं कर रहा है क्योंकि उसका विस्थापन, गुरूत्वीय बल के लम्बवत है ।



चित्र 1.7

स्थिति : 2 यदि $r = 0$ हो तो $W = 0$ होगा अर्थात् यदि बल द्वारा कोई विस्थापन न हो तो कार्य शून्य होगा। यदि कोई व्यक्ति अपने सिर पर भारी वजन लिये खड़ा है तथा वह खड़ा-खड़ा थक जाये लेकिन उसने वैज्ञानिक दृष्टि से कोई कार्य नहीं किया है ।

स्थिति : 3 यदि किसी कण पर बहुत से बल $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ ..... इत्यादि कार्यरत हो तो कण पर परिणामी बल $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + ...$होगा। अत: कण पर किया गया कुल कार्य -

$$W = \int_A^B \vec{F}.d\vec{r}$$
$$= \int_A^B \left(\vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3} \ + ... \right).dr$$
$$= \int_A^B \vec{F_1}.d\vec{r} + \int_A^B \vec{F_2}.d\vec{r} + \int_A^B \vec{F_3}.d\vec{r} + ...$$

अर्थात् कुल किये गये कार्य का मान विभिन्न बलों द्वारा किये गये कार्य के योग के बराबर होता है।

1.7 ऊर्जा (Energy) :

किसी पिण्ड की कार्य करने की क्षमता को उसकी ऊर्जा कहते है। यह एक अदिश राशि होती है। ऊर्जा का मात्रक जूल होता है। नाभिकीय भौतिकी में इसका मात्रक इलेक्ट्रॉन-वोल्ट उपयोग में लिया जाता है तथा इसे eV से प्रदर्शित किया जाता है। इसका जूल के साथ सम्बन्ध निम्न होता है -

$$1\,eV = 1.6x10x10^{-19} \text{ जूल}$$

ऊर्जा कई प्रकार की होती है, उदाहरणार्थ यांत्रिक ऊर्जा, ध्वनि ऊर्जा, ऊष्मा ऊर्जा, प्रकाश ऊर्जा, रासायनिक ऊर्जा, नाभिकीय ऊर्जा आदि।

यांत्रिक ऊर्जा दो प्रकार की होती है गतिज ऊर्जा एवं स्थितिज ऊर्जा ।

गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy)

किसी पिण्ड की गति के कारण उसमें कार्य करने की क्षमता को उसकी गतिज ऊर्जा कहते है। बन्दूक से निकली हुई गोली में, नदी के बहते पानी में, चलती हुई बस में गतिज ऊर्जा होती है।

गतिज ऊर्जा का मापन कार्य के उस परिमाण से किया जाता है जो कोई गतिशील पिण्ड गति विरोधी बलों के विरूद्ध विराम अवस्था में आने तक कर सकता है।

माना m द्रव्यमान का कोई पिण्ड V वेग से गति कर रहा है जिसका कोई नियत बल F विरोध कर रहा है । विरोधी बल के कारण पिण्ड का वेग घटता रहता है तथा अन्त में वह स्थिर अवस्था प्राप्त कर लेता है। माना पिण्ड r, दूरी तय करने के पश्चात् स्थिर हो जाता है। अत: पिण्ड की गतिज ऊर्जा

$$k = W = F.r$$

लेकिन $F = ma$ तथा $a = \dfrac{v^2}{2r}$ (न्यूटन के गति के तृतीय समीकरण में)

$$\therefore \qquad k = m.\left(\frac{v^2}{2r}\right).r$$

$$\therefore \qquad k = \frac{1}{2}mv^2$$

स्थितिज ऊर्जा (Potential Energy)

किसी पिण्ड या निकाय में उसकी स्थिति या अभिविन्यास के कारण उसमें संचित ऊर्जा स्थितिज ऊर्जा कहलाती है। जैसे - घड़ी की कमानी को ऐंठने पर उसमें संचित ऊर्जा, तना हुआ धनुष आदि।

किसी पिण्ड की स्थितिज ऊर्जा का मापन कार्य की उस मात्रा से किया जाता है कि वह अपनी वर्तमान अवस्था से शून्यांकी अवस्था में आने तक कर सकती है। शून्यांकी अवस्था का तात्पर्य वह अवस्था जिसमें पिण्ड की स्थितिज ऊर्जा को शून्य माना जाता है, इसे प्रमाणिक अवस्था भी कहते है।

1.8 कार्य-ऊर्जा प्रमेय (Work-Energy Theorem) :

कार्य-ऊर्जा प्रमेय के अनुसार "किसी पिण्ड पर बाह्य बल के द्वारा किया गया कार्य उसकी गतिज ऊर्जा में परिवर्तन के बराबर होता है।"

कार्य-ऊर्जा प्रमेय की गणितीय व्याख्या के लिए माना भू द्रव्यमान के पिण्ड पर नियत बाह्य बल । लगाया जाता है जिसमें पिण्ड में विस्थापन x हो जाता है तो बाह्य बल के द्वारा किया गया कार्य होगा -

$$W = F.x \quad . \qquad .....(1)$$

यदि पिण्ड का त्वरण a हो तो बल होगा -

$$F = ma \qquad .....(2)$$

समी. (2) से F का मान समी (1) में रखने पर -

$$W = \max \quad .....(3)$$

यदि पिण्ड के प्रारम्भिक व अंतिम वेग क्रमश: u व v है तो न्यूटन के गति के तृतीय समीकरण से -

$$v^2 = u^2 + 2ax$$

या $$2ax = v^2 - u^2$$

या $$ax = \frac{v^2 - u^2}{2} \quad .....(4)$$

समी. (4) व समी. (3) से

$$W = m\left(\frac{v^2 - u^2}{2}\right)$$

या $$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

या $$W = k_2 - k_1$$

या $$W = \Delta k$$

अर्थात् बल द्वारा किया गया कार्य W गतिज ऊर्जा में परिवर्तन Δk के बराबर होती है। यही कार्य-ऊर्जा प्रमेय है।

उपरोक्त गणितीय व्याख्या में हमने बाह्य बल को नियत माना था। परन्तु यदि बल नियत नहीं है तो भी कार्य-ऊर्जा प्रमेय सत्य होती है।

इस अवस्था में

$$F = ma = m.\frac{dv}{dt}$$

अल्प विस्थापन dx के लिए कार्य

$$dW = F.dx$$

या $$dW = m\frac{dv}{dt}.dx$$

या $$dW = m\left(\frac{dv}{dt}\right).dv$$

या $$dW = m.v.dv \qquad \left(\because \frac{dx}{dt} = v\right)$$

$\therefore$ किया गया कुल कार्य

$$W = \int_u^v m.v\ dv$$

या $$W = m\left(\frac{v^2}{2}\right)_u^v$$

या $$W = \frac{m}{2}\left(v^2 - u^2\right)$$

या $$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

या $$W = k_2 - k_1$$

या $$W = \Delta k$$

इस प्रमेय के अनुसार यदि पिण्ड पर बल लगाया जाता है तो उसके द्वारा किया गया कार्य धनात्मक होगा अर्थात् गतिज ऊर्जा में परिवर्तन भी धनात्मक होगा। अत: गतिज ऊर्जा में वृद्धि होगी। इसी प्रकार यदि पिण्ड द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक हो तो गतिज में कमी होगी।

बोध प्रश्न

5. कार्य-ऊर्जा प्रमेय का गणितीय रूप क्या है?

……

6. एक कार का वेग 18 किमी प्रति घंटा से 72 किमी प्रति घंटा कर दिया जाता है। यदि कार का वजन 450 किग्रा भार हो तो उस पर किया गया कार्य ज्ञात करो ।

……

1.9 सारांश (Summary):

1. भौतिक राशियाँ जिनको व्यक्त करने के लिए परिमाण तथा मात्रा की आवश्यकता होती है, अदिश राशियाँ कहलाती है तथा जिन भौतिक राशियों को परिमाण के साथ-साथ दिशा की भी आवश्यकता होती है, सदिश राशियाँ कहलाती है ।

2. यदि किसी पिण्ड पर बल लगाने से उसमें विस्थापन होता है तो कार्य किया हुआ माना जाता है। किसी पिण्ड पर बल द्वारा किया गया कार्य बल तथा बल की दिशा में विस्थापन के गुणनफल के बराबर होता है।
3. कार्य करने की क्षमता को ऊर्जा कहते है। यांत्रिक ऊर्जा दो प्रकार की होती है।

(i) **गतिज ऊर्जा -** किसी पिण्ड की गति के कारण उसमें कार्य करने की क्षमता को उसकी गतिज ऊर्जा कहते है।

$$\text{गतिज ऊर्जा } = \frac{1}{2}mv^2$$

(ii) **स्थितिज ऊर्जा -** किसी पिण्ड में उसकी स्थिति अथवा अभिविन्यास के कारण उसमें संचित ऊर्जा उसकी स्थितिज ऊर्जा कहलाती है।

4. **कार्य-ऊर्जा प्रमेय -** किसी पिण्ड पर बाह्म बल के द्वारा किया गया कार्य उसकी गतिज ऊर्जा में परिवर्तन के बराबर होता है ।

$$\text{अर्थात } W = \Delta k$$

5. **न्यूटन का गति का प्रथम नियम -** यदि कोई पिण्ड स्थिर है तो वह स्थिर ही रहता है तथा गतिशील है तो नियत वेग से गतिशील ही रहता है जब तक उस पर कोई बाह्म असंतुलित बल कार्य नहीं करता है।
6. **संवेग -** किसी गतिशील पिण्ड में गति की कुल मात्रा को उसका संवेग कहते है।
7. **न्यूटन का गति का द्वितीय नियम -** किसी पिण्ड के संवेग में परिवर्तन की दर उस पर आरोपित बल के अनुक्रमानुपाती होती है ।
8. **आवेग -** किसी पिण्ड पर आरोपित बल व समय जिसमें वह प्रभावी रहता है का गुणनफल आवेग के बराबर होता है।
9. **न्यूटन का गति का तृतीय नियम -**. प्रत्येक क्रिया की बराबर व विपरीत दिशा में प्रतिक्रिया होती है।

1.10 शब्दावली (glossary):

अदिश	-	Scalar
आवेग	-	Impulse
ऊर्जा	-	Energy

कार्य	-	Work
गतिज ऊर्जा	-	Kinetic Energy
जड़त्व	-	Inertia
बल	-	Force
यांत्रिक	-	Mechanical
विस्थापन	-	Displacement
वेग	-	Velocity
संवेग	-	Momentum
सदिश	-	Vector
स्थितिज	-	Potential
संरक्षण	-	Conservation
एकांक सदिश	-	Unit vector
विरामावस्था	-	Rest
परिणामी	-	Resultant

1.11 संदर्भ ग्रंथ (Reference Books)

(1)	Rana & Jog	Classical Mechanics	
(2)	Satya Prakash	Classical Mechanics	Kedarnath-Ramnath Publication
(3)	Gupta & Kumar	Classical Mechanics	Pragati Prakashan
(4)	Mathematical Physics	B.D. Gupta & Kumar	Kedarnath Ramnath Publication

1.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer's of SAQ's) :

1. (अ) आयतन - अदिश राशि
   (ब) क्षेत्रफल - सदिश राशि
   (स) विस्थापन - सदिश राशि
   (द) घनत्व - अदिश राशि
2. वह सदिश जिसका परिमाण एकांक होता है, एकांक सदिश कहलाता है ।
3. $\vec{J} = \left(P_2 - P_1\right)$

आवेग = संवेग में परिवर्तन

4. गति के जड़त्व के कारण ।

5. $W = \Delta k$

कार्य = गतिज ऊर्जा में परिवर्तन

6. यहाँ $m = 450$ किग्रा

$v_1 = 18$ किमी/घंटा

$= \frac{18 \times 1000}{60 \times 60}$ मी./से.

= 20 मी. /से

कार्य ऊर्जा प्रमेय से - कार्य = गतिज ऊर्जा में वृद्धि

$$= \frac{1}{2} m\left(v_2^2 - v_1^2\right)$$

$$= \frac{1}{2} 450 \times \left[\left(20\right)^2 - \left(5^2\right)\right]$$

$$= \frac{1}{2} 450 \times \left[400 - 25\right]$$

$$= \frac{1}{2} 450 \times 375$$

$$= 8.437 \times 10^4 \text{ जूल}$$

1.13 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question)

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. एक क्रिकेट खिलाड़ी गेंद को पकड़ने के लिए अपने हाथ नीचे क्यों करता है?
2. आवेग व संवेग के मध्य क्या सम्बन्ध है?
3. रॉकेट का सिद्धान्त न्यूटन के कौन से नियम पर आधारित है?
4. चलती बस के अचानक रुकने पर उसमें खड़ा यात्री आगे की ओर क्यों जाता है?
5. इलेक्ट्रॉन वोल्ट $\left(eV\right)$ किसका मात्रक है?
6. जब किसी तीर को छोड़ा जाता है तो उसे गतिज ऊर्जा कहाँ से प्राप्त होती है?
7. अदिश व सदिश राशियों के दो-दो उदाहरण लिखिये ।

सैद्धान्तिक प्रश्न

1. अदिश व सदिश राशियों को परिभाषित कीजिये। प्रत्येक के तीन-तीन उदाहरण दीजिये।
2. सदिशों का संयोजन कैसे किया जाता है? विभिन्न नियमों को समझाइये ।
3. न्यूटन के गति के नियमों का उदाहरण द्वारा समझाइये।
4. संवेग-आवेग प्रमेय का कथन लिखिये तथा इसे व्युत्पन्न करो।
5. न्यूटन के तृतीय नियम से रेखीय संवेग संरक्षण नियम को समझाओ।
6. निम्न-भौतिक राशियों को परिभाषित कीजिये एवं समझाइये।

(i)ऊर्जा (ii) गतिज ऊर्जा (iii) स्थितिज ऊर्जा

7. कार्य-ऊर्जा प्रमेय को परिभाषित करके सिद्ध कीजिये ।

संख्यात्मक प्रश्न:

1. सदिश $\vec{A} = 3\hat{i} - 4\hat{j} + 5\hat{k}$ के अनुदिश एकांक सदिश की गणना कीजिये ।
2. एक 5 किग्रा द्रव्यमान की वस्तु में 4 मीटर/सेकिण्ड का त्वरण उत्पन्न करने के लिए कितने बल की आवश्यकता होगी? (उत्तर 20 न्यूटन)
3. एक 2 किग्रा के द्रव्यमान पिण्ड की चाल 10 सेकण्ड में 4 मी./से. से 1० मी./से. हो जाती है । बल का परिमाण ज्ञात कीजिये।
4. 10 मी. /से. की चाल से गतिशील 15 किग्रा द्रव्यमान के पिण्ड पर उसको रोकने के लिए 20 न्यूटन बल लगाया जाता है। पिण्ड को रूकने में कितना समय लगेगा। (संकेत : $\left(F\Delta t = \Delta P\right)$

(उत्तर: 75 सेकिण्ड)

5. 5 किग्रा द्रव्यमान का एक पिण्ड $F = 2x$ न्यूटन बल के प्रभाव से $x = 0$ से $x = 4$ मीटर दूरी तक विस्थापित होता है तो उस पर किये गये कार्य की गणना कीजिये ।

(उत्तर : 16 जूल)

इकाई 2

दाब तथा पृष्ठ तनाव

PRESSURE AND SURFACE TENSION

रूपरेखा

2.1 उद्देश्य (Object)

2.2 प्रस्तावना (Introduction)

2.3 दाब (Pressure)

2.4 पास्कल का नियम (Pascal's Law)

2.5 धारा रेखीय एवं विक्षुब्ध प्रवाह (Streamline Flow)

2.6 क्रान्तिक वेग तथा रेनाल्ड्स संख्या (Critical Velocity and Reynolds Number)

2.7 बर्नूली का सिद्धान्त (Bernoulli's Principal)

2.8 बहि:स्त्राव वेग टॉरिसेली प्रमेय (Speed of Efflux : Torricelli's Theorem)

2.9 वेन्टुरी प्रवाहमापी (Venturi Flowmeter)

2.10 रक्त दाब या बी.पी (Blood Pressure or B.P.)

2.11 पृष्ठ ऊर्जा एवं पृष्ठ तनाव (Surface Energy and Surface Tension)

2.12 द्रव के पृष्ठ की आकृति (Shape of Liquid Surface)

2.13 स्पर्श कोण (Angle of Contact)

2.14 केशिकात्व (Capillarity)

2.15 जेगर विधि द्वारा पृष्ठ तनाव का मापन (Measurement of Surface Tension Using Jaeger's Method)

2.16 पृष्ठ तनाव पर अशुद्धि तथा ताप का प्रभाव (Effect of Impurity and Temperature on Surface Tension)

2.17 सारांश (Summary)

2.18 शब्दावली (Glossary)

2.19 संदर्भ मथ (Reference Books)

2.20 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer of short Question)

2.21 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question)

2.1 उद्देश्य (Objects) :

इस इकाई में हम द्रवों तथा गैसों की सामान्य गुणों का अध्ययन करेंगें । द्रव तथा गैस में बहाव का गुण होता है अत: इसे तरल कहा जाता है। इसी गुण के कारण यह ठोसों से अलग होते है। यहाँ हम द्रव के महत्वपूर्ण गुण पृष्ठ तनाव का अध्ययन करेंगे। द्रव के प्रवाह से सम्बन्धित

विभिन्न नियमों का विस्तार से अध्ययन करेंगे। इस इकाई के अध्ययन के बाद द्रव से सम्बन्धित कई दैनिक जीवन की घटनाओं की स्पष्ट व्याख्या की जा सकती है।

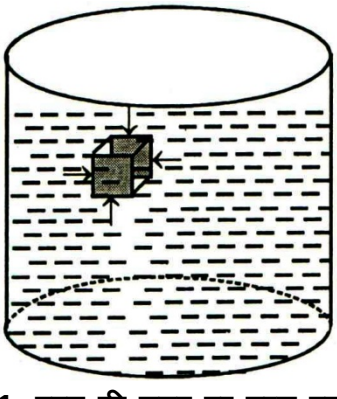
2.2 प्रस्तावना (Introduction) :

दैनिक जीवन में हम कई घटनायें देखते है जैसे पानी की छोटी बूंद का गोल होना, केशनली में पानी का ऊपर चढ़ना इत्यादि। इनकी व्याख्या अन्तराण्विक बलों के आधार पर समझी जा सकती है। इन बलों के कारण द्रव या तरल में कुछ विशिष्ट गुण उत्पन्न होते है। इनमें से एक प्रमुख है द्रव की मुक्त पृष्ठ में पृष्ठ तनाव का गुण।

किसी द्रव के मुक्त पृष्ठ के गुणों और एक खींची हुई प्रत्यास्थ झिल्ली (जैसे रबर की झिल्ली) के गुणों में समानता पायी जाती है। जिस प्रकार प्रत्यास्थ झिल्ली तनाव की अवस्था में रहती है और पृष्ठ के क्षेत्रफल को कम करने की कोशिश करती है, उसी प्रकार द्रव का स्वतन्त्र पृष्ठ भी तनाव की अवस्था में रहता है और अपने क्षेत्रफल को कम करने की कोशिश करता है। द्रव के इस गुण को पृष्ठ तनाव का गुण कहते है। द्रव की छोटी बूंदों की गोलीय आकृति, केशिका नली में द्रव का उन्नयन, पानी से बाहर निकालने पर ब्रुश के बालों का चिपकना, पानी की सतह पर सुई का तैरना, आदि ऐसी अनेक घटनायें है जिनकी सरल व्याख्या पृष्ठ तनाव के गुणों से समझी जा सकती है।

2.3 दाब (Pressure):

किसी नुकीली कील को दीवार में लगाने के लिये कम बल की आवश्यकता होती है अपेक्षाकृत जब कील नुकीली न हो। वह क्षेत्रफल जिस पर बल कार्य कर रहा है जितना कम होगा उस पर बल का प्रभाव उतना ही अधिक होगा। यह विचार दाब से सम्बन्धित होता है। जब किसी वस्तु को तरल में डुबोया जाता है, तो वस्तु की सतह पर तरल द्वारा बल लगता है, यह बल सदैव सतह के अभिलम्बवत् होता है ।



चित्र 2.1- वस्तु की सतह पर तरल द्वारा बल

यदि किसी क्षेत्रफल A पर लग रहे अभिलम्बवत् बल का परिमाण F है तो दाब

$$P = \frac{F}{A}$$

अत: इकाई क्षेत्रफल पर अभिलम्बवत् बल का परिमाण दाब कहलाता है। दाब अदिश राशि होती है। दाब की SI इकाई न्यूटन प्रति मीटर^2 होती है। जिसे पास्कल (Pa) भी कहा जाता है। दाब की अन्य प्रचलित इकाई atm होती है, जिसका अर्थ है समुद्र तल पर वातावरण के द्वारा दाब

$$1atm = 1.013 \times 10^5 Pa$$

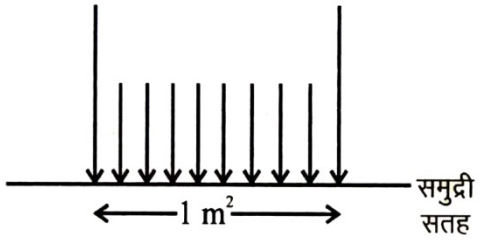
दाब तीन प्रकार के होते है-

(1) वायुमण्डलीय दाब (Po)

समुद्री सतह के इकाई क्षेत्रफल पर वायुमण्डलीय स्तम्भ द्वारा आरोपित बल, वायुमण्डलीय दाब को प्रदर्शित करता है।

$$P_0 = \frac{F}{A} = 1.01 \times 10^5 \, N/m^2$$

बैरोमीटर, वायुमण्डलीय दाब को मापने का यंत्र होता है।



चित्र 2.2

(2) गैस दाब

दाबमापी के द्वारा मापा गया दाब गैस दाब कहलाता है। इस दाब को शीर्ष दाब भी कहते है।

$$P_{\text{गैस}} = \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A}$$

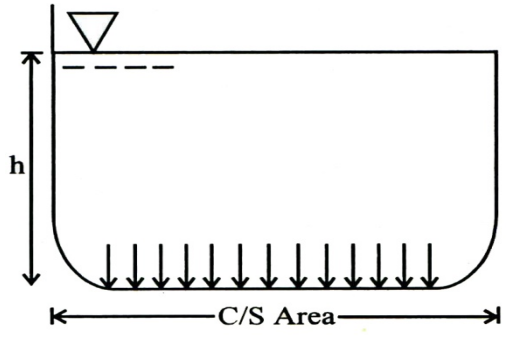
या $$P_{\text{गैस}} = \frac{(\text{आयतन x घनत्व}) \times g}{A}$$

या $$P_{\text{गैस}} = \frac{(Ah \times P) \times g}{A}$$

या $$P_{\text{गैस}} = hpg$$

या $$P_{\text{गैस}} \; \alpha h$$

मैनोमीटर के द्वारा गैस दाब को मापा जाता है।



चित्र 2.3

(3) वास्तविक दाब

वायुमण्डलीय दाब तथा गैस दाब का योग वास्तविक दाब कहलाता है।

$P_{\text{वास्तव.}} = P_{\text{वायु}} + P_{\text{गैस}}$

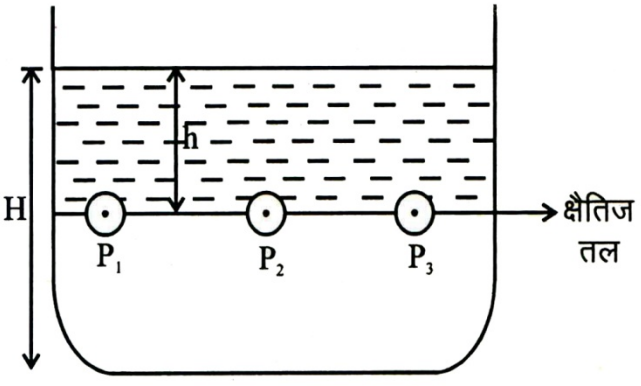
$P_{\text{वास्तव.}} = = P_0 + hpg$

2.4 पास्कल का नियम (Pascal's Law) :

स्थिर द्रव में क्षैतिज तल के किसी भी बिन्दु पर दाब तीव्रता हमेशा समान रहती है।

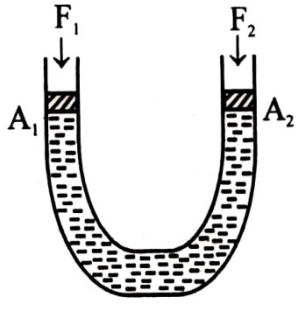
पास्कल के नियमानुसार

$$P_1 = P_2 = P_3 = hpg$$



चित्र 2.4

एक एक U ट्यूब में जिसका अनुप्रस्थ काट असमान है जिसमें कोई द्रव भरा हुआ है तब इस नियमानुसार



$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

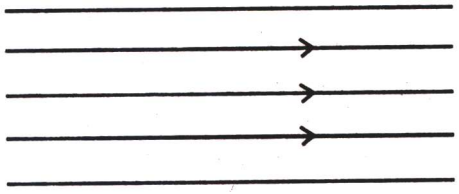
चित्र 2.5

2.5 धारा रेखीय एवं विक्षुब्ध प्रवाह (Stream Line Flow):

किसी तरल की गति का अध्ययन तरल गति की कहलाती है। जब किसी पानी का नल प्रारम्भ में धीरे से खोला जाता है तो पानी का प्रवाह एक समान होता है लेकिन खोलने पर पानी का वेग बढ़ जाता है तथा एक समानता भंग हो जाती है ।

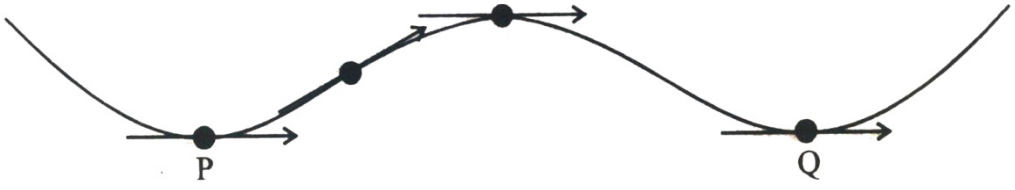
जब किसी तरल का प्रवाह इस प्रकार होता है किसी बिन्दु से गुजरने वाले तरल के प्रत्येक कण का मार्ग ठीक वही होता है जो उस बिन्दु से गुजरने वाले पहले कण का था, तब तरल का प्रवाह धारा रेखीय प्रवाह कहलाता है। धारा रेखीय प्रवाह की निम्न विशेषतायें होती है -

* दो धारा रेखायें परस्पर कभी नहीं काटती है।



चित्र 2.6

* धारा रेखा के किसी बिन्दु पर खींचीं गयी स्पर्श रेखा, उस बिन्दु पर तरल के वेग की दिशा प्रदर्शित करती है।



चित्र 2.7

* धारा रेखा की आकृति कुछ भी हो सकती है। धारा रेखा के भिन्न-भिन्न बिन्दुओं पर वेग भिन्न-भिन्न हो सकते है, लेकिन किसी बिन्दु पर तरल के वेग, परिमाण तथा दिशा में, समय के साथ परिवर्तन नहीं होता।

  किसी तरल का धारा रेखीय प्रवाह तभी होता है जब तरल के प्रवाह का वेग क्रान्तिक वेग से कम होता है।

विक्षुब्ध प्रवाह

जब किसी तरल के प्रवाह का वेग क्रान्तिक वेग से अधिक होता है, तब तरल प्रवाह में कणों की गति व्यवस्थित नहीं रहकर अनियमित हो जाती है तथा तरल के अन्दर भंवर धारायें उत्पन्न हो जाती है। तरल के इस प्रकार के प्रवाह को विक्षुब्ध प्रवाह में किसी बिन्दु से गुजरने वाले तर कणों का वेग तथा वेग की दिशा, समय के साथ निश्चित नहीं रहती है।

चित्र 2.8 - विक्षुब्ध प्रवाह

2.6 क्रान्तिक वेग तथा रेनाल्ड्स संख्या (Critical Velocity and Reynolds Numbers):

वह वेग जिससे कम वेग पर तर का प्रवाह धारा रेखीय तथा जिससे अधिक वेग पर तरल का प्रवाह विक्षुब्ध होता है, क्रान्तिक वेग कहलाता है।

माना किसी बेलनाकार पाइप में तरल v वेग से प्रवाहित हो रहा है। माना बेलनाकार पाइप का व्यास D है, ρ तरल पदार्थ का घनत्व तथा η श्यानता गुणांक है। तरल का धारा रेखीय प्रवाह क्रान्तिक वेग V_c तक सम्भव है; V_c निम्न सूत्र से व्यक्त किया जाता है।

$$V_c = \frac{R\eta}{\rho D}$$

अत: क्रान्तिक वेग

(i) श्यानता गुणांक के समानुपाती
(ii) द्रव के घनत्व के व्युत्क्रमानुपाती
(iii) पाइप के व्यास के व्युत्क्रमानुपाती होता है ।

R एक समानुपाती नियतांक है जिसे रेनाल्ड्स संख्या कहते है।

$$R_{C=} = \frac{\rho v d}{\eta} s$$

ये प्रेक्षित किया गया है कि यदि R का मान 1000 से कम होता है तो तरल प्रवाह धारा रेखीय होता है तथा यदि R>2000 हो तो तरल प्रवाह विक्षुब्ध हो जाता है। R का मान 1000 से 2000 के मध्य होने पर तरल का धारा रेखीय प्रवाह से विचलन होता है। रेनाल्ड्स संख्या एक विमारहित, इकाई रहित, अदिश राशि है।

बोध प्रश्न

1. रेनोल्ड्स संख्या प्र की विमा क्या होती है?

   .....

2. क्रान्तिक वेग, द्रव के घनत्व से किस प्रकार प्रभावित होता है?

   .....

3. विक्षुब्ध प्रवाह के लिए किसी तरल के प्रवाह का वेग, क्रान्तिक वेग से (अधिक/कम) होना चाहिए।

   .....

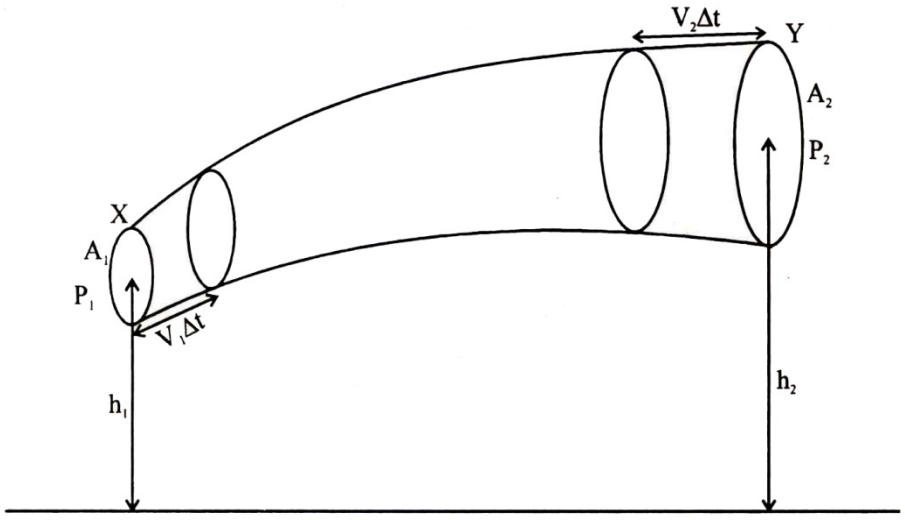
4. धारा रेखीय प्रवाह की दो विशेषतायें बताइये।

   .....

2.7 बर्नूली का सिद्धान्त (Bernoulli's Principle):

किसी तरल का प्रवाह अत्यन्त जटिल होता है फिर भी धारा रेखीय प्रवाह के लिये, ऊर्जा संरक्षण के नियम के उपयोग से इसके गुणों का अध्ययन किया जा सकता है।

इसके लिये हम एक असमान अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल की नली पर विचार करते है, माना इसमें कोई असंपीड्य, अश्यान तरल का धारा रेखीय प्रवाह हो रहा है।



चित्र 2.9 - असमान अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल नली जिसमें तरल का धारा रेखीय प्रवाह हो रहा है :

माना नली के X सिरे का क्षेत्रफल A_1 तथा पृथ्वीतल से ऊँचाई h_1 है। Y सिरे का क्षेत्रफल A_2, पृथ्वी तल से ऊंचाई h_2 है। X सिरे पर द्रव का वेग V_1 तथा दाब P_1 है तथा सिरे Y पर तरल का वेग V_2 तथा दाब P_2 है जो तरल नली के सिरे X में प्रवेश करता है वह एक सेकिण्ड में V_1 दूरी पार कर लेता है तथा जो तरल नली के सिरे Y से निकलता है वह एक सेकिण्ड में V_2 दूरी पार कर लेता है। सिरे X पर दाब P_1 के कारण तरल पर लगने वाला बल $F_1 = P_1A_1$

अत: प्रति सेकिण्ड कार्य $W_1 =$ बल × दूरी

$$= P_1A_1V_1$$

इसी प्रकार नली के सिरे Y में से निकलने वाले तरल द्वारा एक सेकिण्ड में किया गया कार्य

$$W_2 = \text{बल} \times \text{दूरी}$$

$$s = P_2A_2V_2$$

अत: एक सेकिण्ड में तरल पर किया गया कुल कार्य

$$W = W_1 - W_2$$

$$= P_1A_1V_1 - P_2A_2V_2$$

सान्तत्य सिद्धान्त से यदि कोई असंपीड्य तथा अश्यान द्रव, किसी असमान अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल वाली नली में धारा रेखी प्रवाह में बह रहा है तो नली के प्रत्येक स्थान पर अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल तथा द्रव के वेग का गुणनफल नियत रहता है

$$AV = \text{नियतांक}$$

अत: $$A_1V_1 = A_2V_2 = \frac{m}{\rho}$$

जहाँ m , प्रति सेकिण्ड प्रवाहित तरल की मात्रा तथा ρ द्रव का घनत्व है।

तरल पर किया गया नेट कार्य = $= (P_1 - P_2)\frac{m}{\rho}$

नली में प्रति सेकिण्ड प्रवेश करने वाले तरल की गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2} mv_1^2$

तथा प्रति सेकिण्ड नली में से निर्गत तरल की गतिज ऊर्जा $= \frac{1}{2} mv_2^2$

तरल की गतिज ऊर्जा में वृद्धि $= 1/2m(v_2^2 - v_1^2)$

नली के X सिरे पर m द्रव्यमान के तरल की स्थितिज ऊर्जा $= mgh_1$

तथा Y सिरे पर द्रव्यमान के द्रव की स्थितिज ऊर्जा $= mgh_2$

स्थितिज ऊर्जा में परिवर्तन = $= mg(h_2 - h_1)$

कार्य ऊर्जा सिद्धान्त से

$$(P_1 - P_2)\frac{m}{\rho} = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) + mg(h_2 - h_1)$$

$$(P_1 - P_2) = \frac{1}{2} \rho(v_2^2 - v_1^2) + \rho g(h_2 - h_1)$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} p v_2^2 + \rho g h_2$$

$$\Rightarrow P + \frac{1}{2} p v^2 + \rho g h = \text{नियतांक}$$

यह समीकरण बर्नूली समीकरण कहलाता है।

अत: जब कोई अश्यान तथा असंपीड्य तरल एक स्थान से दूसरे स्थान तक धारा-रेखी प्रवाह से बहता है। तो उसके मार्ग के प्रत्येक बिन्दु पर एकांक आयतन की कुल ऊर्जा एक नियतांक होती है।

यहाँ एकांक आयतन की कुल ऊर्जा, दाब ऊर्जा, गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा का योग है।

बोध प्रश्न

5. बर्नूली प्रमेय किस सिद्धांत पर आधारित है?

   .....

6. किसी बहते हुए द्रव में कौन-कौनसी ऊर्जाएं होती है?

   .....

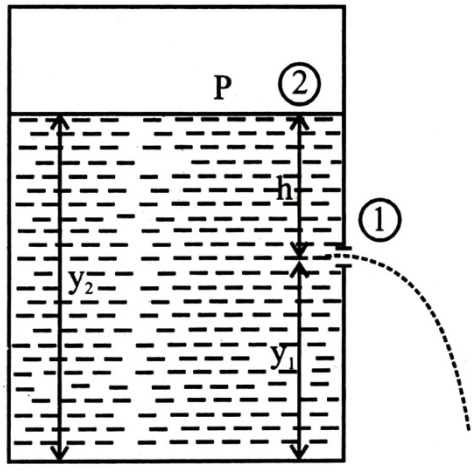
2.8 बहि:स्त्राव वेग : टॉरिसेली प्रमेय (Speed of Efflux : Torricelli's Theorem):

इसके लिये हम एक द्रव से भरे बर्तन पर विचार करते है। माना ρ द्रव का घनत्व है । इस बर्तन के पेंदे से y_1 ऊँचाई पर बर्तन में एक छिद्र है। माना बर्तन में y_2 ऊँचाई तक द्रव भरा है जहाँ दाब P है।

सान्तत्व समी. से

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$$



चित्र 2.10 - बहि:स्त्राव वेग

बिन्दु (1) तथा (2) पर बरर्नूली प्रमेय का उपयोग करने पर

$$Pa + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

जहाँ P_a छिद्र पर दाब है

$v_2 = 0$ सतह पर द्रव लगभग स्थिर रहता है।

तथा $y_2 - y_1 = h$

$$\Rightarrow \quad P_a + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P + \rho g y_2$$

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 = (P - P_a) + \rho g (y_2 - y_1)$$

$$\Rightarrow \quad v_1 = \sqrt{2gh + \frac{2(P - P_a)}{\rho}}$$

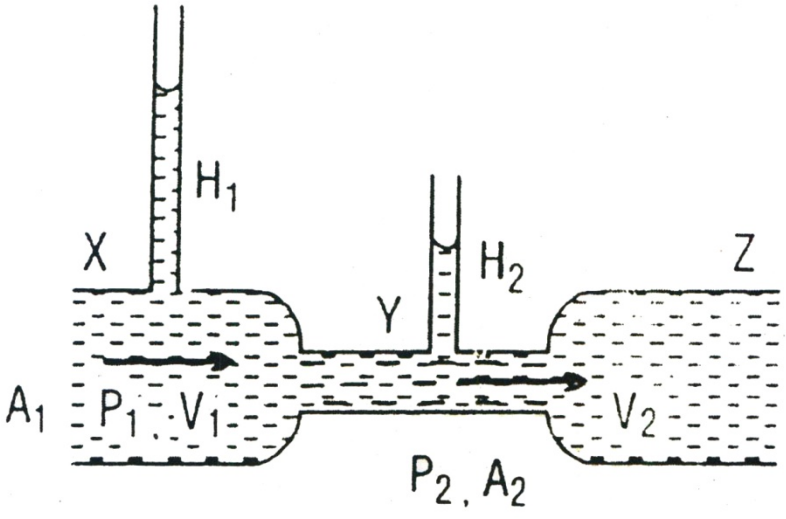
यदि छिद्र वायुमण्डल में ही खुला हो तब $P = P_a$

$$\Rightarrow \quad v_1 = \sqrt{2gh}$$

अत: किसी बर्तन में भरे द्रव का बर्तन की दीवार में बने छिद्र से बहि:स्त्राव का वेग, उस वेग के बराबर होता है जो कि द्रव, मुक्त पृष्ठ से छिद्र तक स्वतन्त्रापूर्वक गिरने से प्राप्त कर लेता है । इसे टॉरिसेली-प्रमेय भी कहते है।

2.9 वैन्टुरी प्रवाहमापी (Venturi Flowmeter)

यह एक ऐसी युक्ति होती है जिसकी सहायता से किसी नली में द्रव के प्रवाह की दर ज्ञात की जा सकती है। यह बर्नूली सिद्धान्त पर आधारित होती है।



चित्र 2.11 - वैन्टुरी प्रवाहमापी

यह एक xyz नली है इसके सिरे x तथा z एक समान अनुप्रस्थ काट A_1 के है तथा मध्य भाग y पतला तथा अनुप्रस्थ काट A_2 का है । दो उर्ध्वाधर नलियाँ x और y स्थानों पर द्रव का दाब मापने के लिये लगी है।

बर्नूली की प्रमेय से

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

या $$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

यदि दाब नापने वाली नलियों में द्रव स्तम्भों की ऊंचाइयों में अन्तर

$$h = H_1 - H_2$$

तब $$P_1 - P_2 = hpg$$

$$2gh = v_2^2 - v_1^2$$

सांतत्य सिद्धान्त से $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$\Rightarrow \quad v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$$

$$2gh = \left(\frac{A_1}{A_2} v_1\right)^2 - v_1^2 = \left(\frac{A_1^2}{A^2{}_2} - 1\right) v_1^2$$

या $$V_1 = \sqrt{\frac{2ghA_2^2}{A_1^2 - A_2^2}} = A_2\sqrt{\frac{2gh}{A_1^2 - A_2^2}}$$

नली में से प्रति सेकण्ड प्रवाहित होने वाले द्रव का आयतन

$$Q = A_1 v_1$$

$$Q = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2gh}{A_1^2 - A_2^2}}$$

इस प्रकार h, A_1 तथा A_2 ज्ञात होने पर नली में द्रव के प्रवाह की दर ज्ञात कर सकते है।

2.10 रक्त दाब या बी.पी. (Blood Pressure or B.P.) :

रक्त बन्द नलिकाओं में बहता है। अत: यह नलिकाओं की दीवार पर दबाव डालता है। जैसे ही रक्त धमनियों में पम्प किया जाता है, यह धमनियों की दीवार पर दबाव डालता है। इसी को रक्त दाब (Blood Pressure) कहते है।

रक्त दाब को दो अवस्थाओं में नापा जाता है :

(1) प्रकुंचन दाब (Systotic Pressure) :

यह रक्त दाब की ऊपरी सीमा (Higher-limit) है। जो हद्य संकुचन की अवस्था को प्रदर्शित करती है। मनुष्य में यह सीमा - 120 mmHg होती है।

(2) शिथिलन दाब (Diastolic Pressure)

यह रक्त दाब की निचली सीमा (lower limit) है। जो हद्य शिथिलन की अवस्था को प्रदर्शित करती है। मनुष्य में यह सीमा - 80 mmHg होती है।

जिस यन्त्र द्वारा रक्त दाब नापा जाता है उसे दाबान्तरमापी या "स्फिग्मोमैनोमीटर" (Sphygmomanometer) कहते है। स्वस्थ मनुष्य में रक्त दाब : 120/80 mmHg होता है।

रक्त दाब को प्रभावित करने वाले कारक

रक्त दाब निम्नलिखित कारकों से प्रभावित हो सकता है।

(i) परिश्रम (Exercise) : शारीरिक परिश्रम के समय रक्त दाब बढ़ जाता है।

(ii) भावुकता और उत्तेजना (Emotions and Excitement) : मनुष्य की उत्तेजित अवस्था या भावुकता की अवस्था में रक्त दाब बढ़ जाता है।

(iii) रक्त नलिकाओं का संकुचन (Contraction of Blood Vessels) : विशेषकर धमनियों एवं कोशिकाओं में अधिक संकुचन के कारण रक्त दाब बढ़ जाता है।

(iv) शारीरिक स्थिति (Body-Posture) : लेटे हुए मनुष्य में खड़े रहने की स्थिति से रक्त दाब कम रहता है।

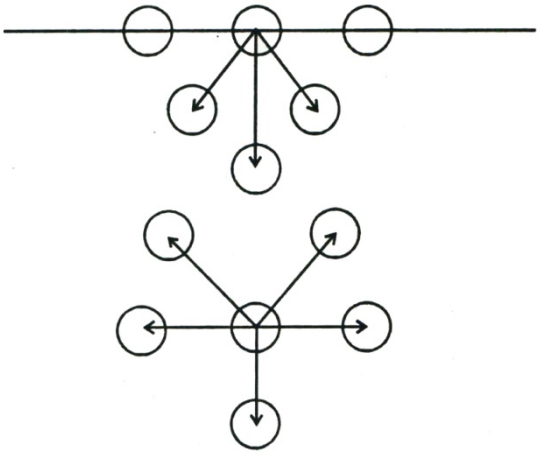
(v) लिंग (Sex) : स्त्रियों में पुरूष की तुलना में मामूली सा रक्त दाब कम होता है।

(vi) मोटापा (Obesity) : मोटापे के कारण रक्त दाब बढ़ जाता है।

2.11 पृष्ठ ऊर्जा एवं पृष्ठ तनाव (Surface Energy and Surface Tension):

द्रव के अणुओं के मध्य आकर्षण का बल होने के कारण द्रव के अणु एक दूसरे से बंधे होते है। अणुओं के मध्य अन्तराण्विक दूरी इतनी होती है कि इनके मध्य आकर्षण का बल कार्य करता है। आकर्षण के कारण इनकी ऊर्जा ऋणात्मक होती है।

अब हम एक अणु पर विचार करते है जो कि द्रव की सतह पर स्थित हो। यह अणु केवल नीचे आधी तरफ से ही अन्य द्रव अणुओं से घिरा होता है अत: इसकी ऋणात्मक स्थितिज ऊर्जा अपेक्षाकृत उन अणुओं से कम होगी जो कि पूरी तरह से द्रव के अन्दर स्थित है। अत: द्रव की सतह पर स्थित अणुओं की ऊर्जा अपेक्षाकृत उन अणुओं से अधिक होगी जो द्रव के अन्दर स्थित है। अत: द्रव की सतह न्यूनतम पृष्ठ क्षेत्रफल रखने का प्रयास करती है द्रव के पृष्ठ क्षेत्रफल में वृद्धि करने के लिये ऊर्जा की आवश्यकता होती है।



चित्र 2.12 - अणुओं के मध्य आकर्षण बल

इस प्रकार द्रव की एक मुक्त पृष्ठ की यह प्रवृत्ति होती है कि वह सिकुड़ कर अपना क्षेत्रफल न्यूनतम कर लें। द्रव पृष्ठ के इस गुण को पृष्ठ तनाव का गुण कहते है।

पृष्ठ तनाव की परिभाषा

किसी पृष्ठ का पृष्ठ तनाव वह बल है जो कि द्रव के पृष्ठ पर खींची गयी एक काल्पनिक रेखा की एकांक लम्बाई पर पृष्ठ के तल में तथा रेखा के लम्बवत् कार्य करता है।

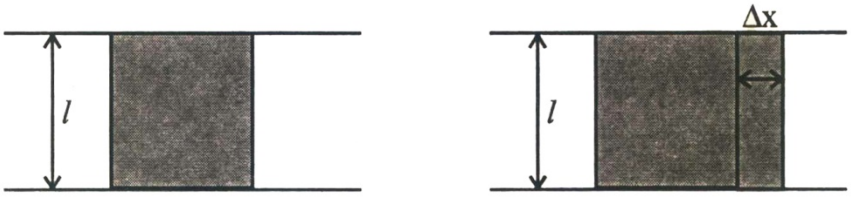
$$T = \frac{F}{L}$$

जहाँ F, L लम्बाई की रेखा पर लगने वाला सम्पूर्ण बल है।

पृष्ठ तनाव का मात्रक न्यूटन / मीटर होता है।

पृष्ठ क्षेत्रफल बढ़ाने में किया गया कार्य

इसके लिए हम दो समानान्तर तारों पर एक पतली द्रव फिल्म पर विचार करते है -



चित्र-2.13

यदि हम एक तरफ फिल्म को Δx दूरी से बढ़ाये तो फिल्म का क्षेत्रफल बढ़ेगा अत: निकाय को अधिक ऊर्जा की आवश्यकता होगी। अत: निकाय के अन्तराण्विक बल के विरूद्ध कार्य होगा। माना यह बल F है तथा पृष्ठ तनाव T है

अतः $F = T(2l)$

(क्योंकि फिल्म में दो मुक्त पृष्ठ है)

F द्वारा किया गया कार्य

$$W = F(\Delta x)$$
$$= T(2l)\Delta x$$

यहाँ $(2l\Delta x)$ पृष्ठों के क्षेत्रफल में हुयी वृद्धि के बराबर है।

यदि क्षेत्रफल में वृद्धि ΔA है तो

$$W = T\Delta A$$

अत: किसी द्रव के पृष्ठ के क्षेत्रफल में वृद्धि के लिए जो कार्य किया जाता है वह पृष्ठ की ऊर्जा के रूप में संग्रहित हो जाता है। इस ऊर्जा को पृष्ठ ऊर्जा कहते है।

पृष्ठ तनाव का मात्रक जूल/मी^{2} भी लिखा जा सकता है।

2.12 द्रव के पृष्ठ की आकृति (Shape of Liquid Surface) :

जब कोई द्रव किसी ठोस के स्पर्श में आता है तब द्रव-ठोस के मध्य लगने वाले आसंजक बलों के कारण द्रव की पृष्ठ वक्रीय हो जाती है। वकृता की प्रकृति, आसंजक और ससंजक बलों की प्रबलता पर निर्भर करती है। यदि कुल ससंजक F_c है तथा आसंजक बल F_a है तो

a) द्रव पृष्ठ क्षैतिज होगा यदि

$$F_a = \frac{F_c}{\sqrt{2}}$$

इस प्रकार की स्थिति चांदी तथा पानी के लिये होती है।

b) यदि ठोस-द्रव के लिये आसंजक बल, ससंजक बलों की तुलना में दुर्बल हो

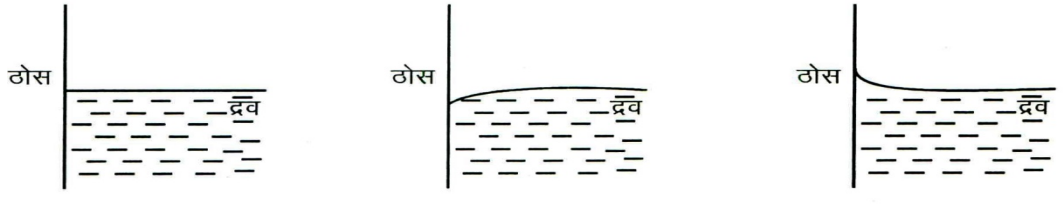
$$F_a < \frac{F_c}{\sqrt{2}}$$

इस स्थिति में ठोस द्रव स्पर्श स्थान पर द्रव पृष्ठ उतल बनेगा। इस प्रकार की स्थिति पारे-कांच के लिये होती है।

c) यदि ठोस-द्रव के लिये आसंजक बल, ससंजक बलों की तुलना में प्रबल हो

$$F_a > \frac{F_c}{\sqrt{2}}$$

इस स्थिति में ठोस-द्रव स्पर्श स्थान पर द्रव पृष्ठ अवतल बनेगा। इस प्रकार की स्थिति पानी तथा कांच के लिये होती है।



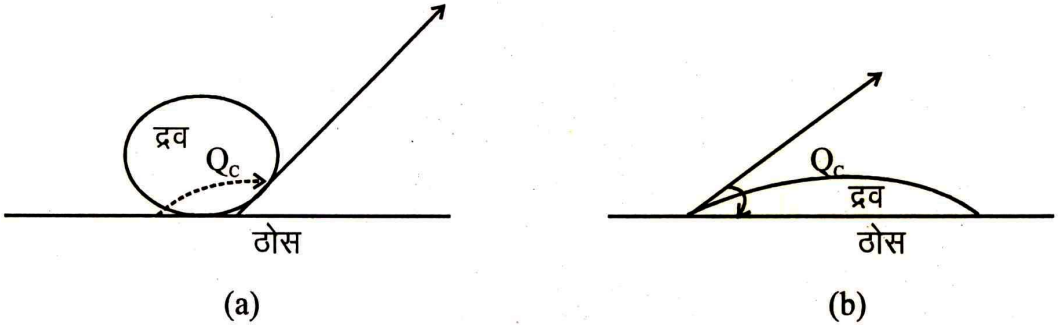
(a) $F_a = \frac{F_C}{\sqrt{2}}$ (b) $F_a = \frac{F_C}{\sqrt{2}}$ (c) $F_a = \frac{F_C}{\sqrt{2}}$

चित्र 2.14

2.13 स्पर्श कोण (Angle of Contact) :

जब किसी द्रव की मुक्त पृष्ठ, किसी ठोस के सम्पर्क में आती है तब स्पर्श के स्थान पर द्रव पृष्ठ वक्रीय हो जाती है। भिन्न-भिन्न द्रवों के लिये यह वक्रता भिन्न-भिन्न होती है।

द्रव तथा ठोस के किसी स्पर्श बिन्दु से द्रव के पृष्ठ पर खींची गयी स्पर्श रेखा तथा ठोस के पृष्ठ पर द्रव के अन्दर की ओर खींची गई स्पर्श रेखा के बीच बने कोण को उस द्रव तथा ठोस का स्पर्श कोण कहते है।



चित्र 2.15

साधारण जल तथा कांच के लिये स्पर्श कोण $\cong 8^0$ होता है। जबकि पारे तथा काँच के लिये स्पर्श कोण $\cong 135^0$ होता है।

चांदी और जल के लिये स्पर्श कोण 90^0 होता है।

पेट्रोल, बेंजीन आदि यदि फर्श पर गिर जाये तब उनका पोंछना मुश्किल होता है क्योंकि स्पर्श कोण $\cong 0^0$ होने के कारण ये फर्श पर फैल जाती है।

2.14 कोशिकात्व (Capillarity) :

कांच की एक नली जिसमें बहुत बारीक छिद्र हो, केशनली कहलाती है। यदि एक केशनली जिसके दोनों सिरे खुले हुये हों को यदि पानी में सीधा डुबोया जाये तब यह पाया जाता है कि केशनली में जल कुछ ऊँचाई तक ऊपर चढ़ जाता है।

यदि कांच की केशनली को पारे में सीधा डुबोया जाये तब पारे का तल केशनली में नीचे उतर जाता है।

केशनली में द्रव के ऊपर चढ़ने या नीचे उतरने की घटना को कोशिकात्व कहते है।

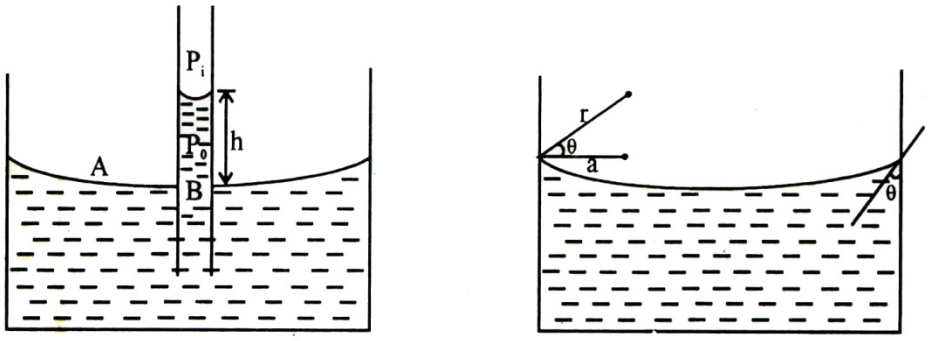
यह पाया गया है कि जिनके लिये स्पर्श कोण न्यून कोण होता है वे द्रव केशनली में ऊपर चढ़ते है तथा जिनके लिये स्पर्श कोण, अधिक कोण होता है वे द्रव केशनली में नीचे उतर जाते हैं।

केशिकानली में पानी की सतह अवतल होती है अत: दोनों ऊपर सतहों के मध्य दाबान्तर होगा जो निम्न सूत्र से दिया जाता है।

$$P_i - P_o = \frac{2T}{r} = \frac{2T}{aSec\theta}$$

$$= \frac{2T}{a}\cos\theta \text{ .... } (1)$$

जहाँ a केशनली की त्रिज्या है



(a) (b)

चित्र 2.16

केशनली में जल के मेनिक्स पर दाब, वातावरण के दाब की तुलना में कम होता है। चित्र(a) के अनुसार बिन्दुओं A तथा B जो कि एक ही तल में है दाब समान होगा अत:

$$P_o + hpg = P_A = P_i \qquad \text{.....(2)}$$

जहां ρ पानी का घनत्व है तथा h केशनली में जल स्तम्भ की ऊँचाई है।

समी. (1) तथा (2) से

$$hpg = P_i - P_o = \frac{2TCos\theta}{a}$$

$$h = \frac{2TCos\theta}{\rho g a}$$

अत: कोशिकात्व की क्रिया पृष्ठ तनाव के कारण होती है तथा केशनली में जल स्तम्भ की ऊँचाई, केशनली की त्रिज्या a पर भी निर्भर करती है।

उदाहरण 1

एक केशनली में पानी 20mm ऊंचाई तक चढ़ता है। यदि केशनली की त्रिज्या एक तिहाई कर दी जाये तो केशनली में पानी किस ऊँचाई तक चढ़ेगा?

हल: $h = \frac{2TCos\theta}{a\rho g}$

$$h\alpha \frac{1}{a}$$

$\Rightarrow$ $h_1 a_1 = h_2 a_2$

दिया गया है, $h_1 = 20mm$ तथा $a_2 = \frac{1}{3}a_1$

$$h_1 = \frac{a_1 \times 20}{\frac{a_1}{3}} = 60mm$$

बोध प्रश्न

7. वर्षा की बूंद गोलाकार होने के कारण स्पष्ट करो?

.....

8. पृष्ठ तनाव के मात्रक लिखिये?

.....

9. वे तरल जो केशनली को >90 गीला नहीं करते उनके लिए स्पर्श कोण होता है?

.....

10. पृष्ठ तनाव बल होता है-

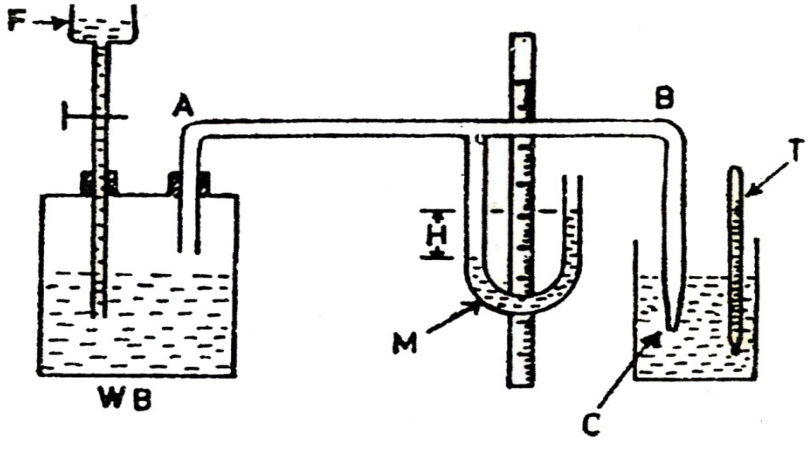
.....

11. किसी कोशिका में छड़े हुये पानी की ऊंचाई किस ताप पर न्यूनतम होगी?

.....

2.15 जेगर विधि द्वारा पृष्ठ तनाव का मापन (Measurement of Surface Tension Using Jaeger's Method) :

उपकरण : इस उपकरण में आंशिक रूप से जल से भरी वुल्फ बोतल होती है। इसके मुँह पर फलन F लगता होता है जिसमें जल भरा होता है। बोतल के दूसरे मुँह पर एक क्षैतिज नली AB लगी होती है। AB नली के मध्य में मैनोमीटर लगा होता है। अन्त में नोजल वाली कोशिकानली जुड़ी होती है। जब फलन F से वुल्फ बोतल में जल आता है तो वायु वुल्फ बोतल से स्थानान्तरित होकर AB नली में से होते हुये केशिका नली में जाती है जैसे-जैसे कोशिकानली के नोजल पर एक बुलबुला बन जाता है। जिसकी त्रिज्या नोजल की त्रिज्या के बराबर होती है। इस समय दाब अधिकतम होता है। यदि कोशिकानली में दाब और बढ़ जाये तो बुलबुले की त्रिज्या में वृद्धि हो जाती है। ऐसी स्थिति में बुलबुले का सन्तुलन बिगड़ जाता है और बुलबुला कोशिकानली को छोड़ देता है। इस स्थिति में बुलबुले के अन्दर अधिकतम दाब को मैनोमीटर M द्वारा ज्ञात कर लेते है।



चित्र 2.17 - जेगर विधि द्वारा पृष्ठ तनाव का मापन

माना P वायुमण्डलीय दाब है। तब कोशिकानली से छूटते समय बुलबुले पर अधिकतम दाब $= P + H\rho g$

$H =$ मैनोमीटर का पाठ्यांक (व्यक्त दाब)

$\rho =$ मैनोमीटर में भरे द्रव का घनत्व

प्रायोगिक द्रव में बुलबुले के बाहर दाब

$$= P + hdg$$

जहां $h =$ कोशिकानली के नोजल की द्रव में गहराई

$d =$ प्रायोगिक द्रव का घनत्व

बुलबुले के अन्दर दाब आधिक्य

$$p = (P + H\rho g) - (P + hdg)$$
$$= (H\rho - Hd)g$$

यह दाब आधिक्य $\frac{2T}{r}$ के बराबर होगा

$$\because \quad \frac{2T}{r} = (H\rho - hd)g$$

या $$T = \frac{rg}{2}(h\rho - hd)$$

उपरोक्त सूत्र द्वारा पृष्ठ तनाव का मापन किया जा सकता है।

2.16 पृष्ठ तनाव पर अशुद्धि तथा ताप का प्रभाव (Effect of Impurity and Temperature on Surface Tension) :

किसी द्रव का पृष्ठ तनाव, द्रव में विहीन पदार्थो, द्रव के ताप द्रव की सतह के संदूषण पर भी निर्भर करता है। यदि द्रव की सतह पर धूल, कोई चिकनाई हो तब जब का पृष्ठ तनाव घट जाता है। यदि जल में नमक घोल दिया जाये तो पृष्ठ तनाव घट जाता वैश्य बढ़ाने पर ससंजक बल का मान घट जाता है और इस कारण ताप बढ़ाने पर जल का पृष्ठ तनाव कम हो जाता है। जब पानी में डिटर्जेन्ट का उपयोग किया जाता है तब उसमें उपस्थित पृष्ठ सक्रियक, ग्रीज और कपड़े के मध्य पहुँचकर, पृष्ठ तनाव और स्पर्श कोण, दोनों को कम कर देते है। इस कारण जल, चिकनाई या ग्रीज के नीचे पहुंचकर कपड़े को गीला कर देती है। डिटर्जेन्ट के पृष्ठ सक्रियक ग्रीज और कपड़े के बीच परत बनाकर ग्रीज के कपड़े से पृथक कर देते है।

2.17 सारांश (Summary) :

- इकाई क्षेत्रफल पर अभिलम्बवत् बल का परिमाण दाब कहलाता है। यह एक अदिश राशि होती है।
- विक्षुब्ध प्रवाह में द्रव कणों की गति व्यवस्थित नहीं रहकर अनियमित होती है तथा भंवर धारायें उत्पन्न हो जाती है।
- द्रव के प्रवाह का वह वेग, जिससे कम वेग पर द्रव का प्रवाह धारा रेखीय होता है।

$$V_c = \frac{R\eta}{\rho d}$$

- सांतत्य समीकरण $A_1V_1 = A_2V_2 = m/\rho$
- बर्नूली प्रमेय-अश्यान तथा असंपीड्य द्रव के धारा-रेखी प्रवाह में प्रत्येक बिन्दु पर, एकांक आयतन की कुल ऊर्जा नियत रहती है।

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{नियतांक}$$

- बहि:स्त्राव वेग $v = \sqrt{2}gh$
- एक द्रव की मुक्त पृष्ठ का वह गुण जिसके कारण मुक्त पृष्ठ की यह प्रवृत्ति होती है कि वह सिकुड़ कर अपना क्षेत्रफल न्यूनतम कर ले, पृष्ठ तनाव कहलाता है।
- किसी द्रव का पृष्ठ तनाव उस कार्य के बराबर होता है जो नियत ताप पर उस द्रव के पृष्ठ के क्षेत्रफल में एकांक वृद्धि कर दें।
- पृष्ठ तनाव का कारण अन्तराण्विक बल है।
- केशनली में द्रव का चढ़ना, पृष्ठ तनाव के कारण होता है।

2.18 शब्दावली (Glossary) :

केशनली : काँच की एक नली जिसमें बहुत बारीक छिद्र हो।

श्यानता : द्रव का वह गुण जिसके कारण द्रव अपनी भिन्न भिन्न परतों के मध्य होने वाली आपेक्षिक गति का विरोध करता है।

ससंजक बल : दो विभिन्न द्रव्यों के कणों के मध्य लगने वाला आकर्षण बल।

आसंजक बल : दो विभिन्न द्रव्यों के कणों के मध्य लगने वाला आकर्षण बल।

स्फिग्मोमैनोमीटर : रक्त दाब नापने का उपकरण

2.19 संदर्भ ग्रंथ (Reference Books) :

(1)	Rana & Jog	Classical Mechanics	
(2)	Satya Prakash	Classical Mechanics	Kedarnath Ramanath Publication
(3)	Gupta & Kumar	Classical Mechanics	Pragati Prakashan
(4)	Mathematical Physics	B.D. Gupta & Kumar	Kedarnath Ramanath Publication

2.20बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer of SAQ's) :

1. विमाहीन राशि $(M^0L^0T^0)$
2. द्रव के घनत्व के व्युत्क्रमानुपाती
3. प्रवाह वेग, क्रान्तिक वेग से अधिक होना चाहिए।

4. (i) दो धारा रेखायें परस्पर कभी नहीं काटती है।
   (ii) धारा रेखा के किसी बिन्दु पर खींची गई स्पर्श रेखा, उस बिन्दु पर तरल के वेग की दिशा प्रदर्शित करती है।
5. ऊर्जा के संरक्षण सिद्धान्त
6. दाब ऊर्जा, स्थितिज ऊर्जा एवं गतिज ऊर्जा
7. पृष्ठ तनाव
8. न्यूटन/मीटर
9. $>90^0$
10. संसजन बल
11. 4^0 पर

2.21अभ्यास प्रश्न (Exercise Question) :

(1) पृष्ठ तनाव का स्पष्टीकरण निम्न बल के आधार पर दिया जा सकता है -

(अ) गुरुत्वाकर्षण बल (ब)नाभिकीय बल
(स) अन्तराण्विक बल (द)दुर्बल अन्योन्य क्रिया बल

(2) वर्षा की बूंद गोलाकार होने के कारण होता है -
(अ) श्यनता (ब) गुरूत्वीय बल
(स) पृष्ठ तनाव (द) वायु दाब

(3) कणित्र का कार्य सिद्धान्त आधारित होता है -
(अ) आर्कमडीज सिद्धान्त पर (ब) न्यूटन के गति नियम पर
(स) बॉयल नियम पर (द) बर्नूली सिद्धान्त पर

(4) बर्नूली प्रमेय आधारित है
(अ) ऊर्जा संरक्षण सिद्धान्त पर (ब) संवेग संरक्षण सिद्धान्त पर
(स) द्रव्यमान संरक्षण सिद्धान्त पर (द) उपरोक्त सिद्धान्त पर

अतिलघुउत्तरात्मक प्रश्न

1. शुद्ध पानी की अपेक्षा साबुन के घोल से कपड़े धोना आसान क्यों होता है?
2. ताप बढ़ाने पर द्रव के पृष्ठ तनाव पर क्या प्रभाव पड़ता है?
3. यदि पानी की कुछ बूंदे मिलकर एक बड़ी बूंद बनाती है तो पृष्ठ ऊर्जा पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
4. दो समान पदार्थ से बनी केशनलीयों में पानी क्रमश: 40 तथा 60 mm ऊंचाइयों तक चढ़ता है, उनकी त्रिज्याओं का अनुपात लिखिये।
5. पास्कल का नियम क्या है?

सैद्धान्तिक और लघुउत्तरात्मक प्रश्न

1. धारा-रेखी प्रवाह तथा विक्षुब्ध प्रवाह में अन्तर समझाइये।
2. कोशिकात्व क्या होता है? एक केशनली में चढ़े द्रव की ऊंचाई के लिये सूत्र व्युत्पन्न करो।
3. बर्नुली प्रमेय का कथन लिखकर उसे सिद्ध करो।

4. क्रान्तिक वेग को परिभाषित करो तथा रेनाल्ड्स संख्या का अर्थ समझाइये।
5. 0.6mm त्रिज्या की एक नली में से पानी का वह अधिकतम वेग ज्ञात करो कि प्रवाह व विक्षुब्ध न हो। पानी की श्यानता 10^{-3} न्यूटन से./मी.^{2} है तथा रेनाल्ड संख्या 2000 है।
6. रक्त दाब क्या होता है? इसे प्रभावित करने वाले कारक कौन-कौन से है?

इकाई 3

प्रशीतिकरण

REFERIGERATION

रूपरेखा

3.0 उद्देश्य (Object)

3.1 प्रस्तावना (Introduction)

3.2 ऊष्मा तथा ताप (Heat and Temperature)

3.3 ताप पैमाना या ताप का मापन (Measurement of Temperature or Scale or Temperature)

3.4 विभिन्न प्रकार के तापमापी (Different type of Thermometer)

3.5 ऊष्मागतिकी का शून्यांकी नियम (Zeroth law of Thermodynamics)

3.6 ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम (First law of Thermodynamics)

3.7 विभिन्न ऊष्मागतिक प्रक्रम (Different Thermodynamic Process)

3.8 उत्कमणीय तथा अनुक्रमणीय प्रक्रम (Reversible & Irreversible Process)

3.9 कार्नो चक्र एवं कार्नो का आदर्श इंजन (Carnot Cycle & Carnot's Ideal Engine)

3.10 कार्नो रेफ्रिजरेटर (Carnot's Refrigerator)

3.11 ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम (Second Law of Thermodynamics)

3.12 सारांश (Summary)

3.13 शब्दावली (Glossary)

3.14 संदर्भ ग्रंथ (Refewrence Books)

3.15 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers of SAQ's)

3.16 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question)

3.0 उद्देश्य (Objects) :

इस इकाई में हम ऊष्मा तथा ऊष्मागतिकी के विभिन्न अभिधारणाओं का अध्ययन करेंगे तथा ऊष्मा एवं ताप में अन्तर स्पष्ट करेंगे। ताप मापन के लिए उपयोगी विभिन्न सिद्धान्तों पर आधारित तापमापी का अध्ययन करेंगे। ऊष्मागतिकी के प्रथम सिद्धान्त पर आधारित ऊष्मागतिक प्रक्रमों का अध्ययन करेंगे। पूर्णत: उत्क्रमणीय प्रक्रम पर आधारित कार्नो इंजन की परिकल्पना करेंगे। जिसके अध्ययन से यह निष्कर्ष निकलता है कि ऐसा इंजन बनाना असंभव है जिसकी दक्षता 100% हो। कानों रेफ्रिजरेटर एवं ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम की अभिधारणा प्रस्तुत करेंगे।

3.1 प्रस्तावना (Introduction) :

18वीं शताब्दी के अन्त तक यह माना जाता था कि ऊष्मा एक प्रकार का तरल होता है। इस तरल को कैलोरिक (Caloric) कहा जाता था। गर्म वस्तु में कैलोरिक की मात्रा शीतल वस्तु की अपेक्षा अधिक होती है। अत: यह तरल गर्म वस्तु से शीतल वस्तु की ओर प्रवाहित होता है। सन् 1812 में वैज्ञानिक डेवी ने दो बर्फ के ब्लॉकों को परस्पर रगड़कर उन्हें पिघला दिया तथा यह विचार रखा कि ऊष्मा घर्षण के कारण पदार्थ की अणुओं की गति से उत्पन्न होती है। सन् 1840 में वैज्ञानिक जूल ने यह सिद्ध किया कि ऊष्मा व यांत्रिक कार्य परस्पर सम्बन्धित होते है।

3.2 ऊष्मा तथा ताप (Heat and Temperature) :

ऊष्मा एक प्रकार की ऊर्जा होती है जो कि यांत्रिक कार्य से सम्बन्धित होती है। वैज्ञानिक जूल ने बताया कि निश्चित मात्रा में किये गये कार्य से निश्चित मात्रा में ही ऊष्मा उत्पन्न होती है। गैसों के गत्यात्मक सिद्धान्त (Kinetic Theory of Gases) के अनुसार गैस में ऊष्मीय ऊर्जा उसके अणुओं की यादृच्छिक गति से सम्बद्ध स्थानान्तरीय गतिज ऊर्जा के रूप में विद्यमान होती है, इसी प्रकार ठोसों में ऊष्मीय ऊर्जा परमाणुओं की कम्पन ऊर्जा के रूप में होती है। द्रवों में ऊष्मा, अणुओं या परमाणुओं की स्थानान्तरीय गतिज ऊर्जा व कम्पन ऊर्जा दोनों में निहित रहती है। जबकि ताप किसी पदार्थ का वह भौतिक गुण है जो ऊष्मा संचरण की दिशा का बोध कराता है, जबकि एक ऊष्मीय निकाय को दूसरे ऊष्मीय निकाय के सम्पर्क में लाया जाता है।

जब दो ऊष्मीय निकायों को एक दूसरे के सम्पर्क में रखते है तो एक निश्चित अवस्था तक एक निकाय से दूसरे में ऊष्मा का प्रवाह होता है। इसके पश्चात् ऊष्मा का संचरण रूक जाता है। इस स्थिति में दोनों ऊष्मीय निकाय एक दूसरे के ऊष्मीय साम्य में कहलाते हैं। अत: ताप निकायों का वह गुण है जिससे यह बोध होता है कि कोई निकाय किसी अन्य निकाय के साथ ऊष्मीय साम्य में है या नहीं।

3.3 ताप पैमाना या ताप का मापन (Measurement of Temperature) :

जब दो निकाय ऊष्मीय सम्पर्क में होते है तो जिस निकाय का ताप कम होता है वह ऊष्मा अवशोषित करता है और वह ठण्डा या शीतल निकाय कहलाता है। जिस निकाय का ताप अधिक होता है वह उष्ण निकाय कहलाता है। अत: ऊष्मा, उच्च ताप से निम्न ताप की ओर प्रवाहित होती है।

किसी निकाय की उष्णता के डिग्री का बोध कराने के लिये ताप को एक संख्या द्वारा व्यक्त किया जाता है। इस संख्या के निर्धारण के लिये, इसका मापक्रम होना आवश्यक है। वह उपकरण जिसमें ताप का मापक्रम उपयोग में लाया जाता है, उसे तापमापी कहते है।

ताप का मापक्रम बनाने के लिये ऐसे दो स्थिर बिन्दुओं को चुनते हैं जिन्हें किसी भी समय सरलता से प्राप्त किया जा सकें। उदाहरण के लिये जल के दो स्थिर बिन्दु हिमांक व भाप बिन्दु जिनके अन्तर को 100 बराबर भागों में बाँट लेते है।

इस प्रकार प्राप्त प्रत्येक भाग को डिग्री कहते है जो ताप का मात्रक कहलाता है।

3.4 विभिन्न प्रकार के तापमापी (Different Type of Thermometer) :

(i) द्रव तापमापी:

ये तापमापी ताप में परिवर्तन के साथ द्रवों के आयतन में परिवर्तन पर आश्रित होते है। पारा तापमापी, एल्कोहॉल तापमापी इसके उदाहरण है। इस प्रकार के तापमापी के परास 30^0C से 350^0C तक होती है।

(ii) **प्रतिरोध तापमापी :**

इसमें प्लैटिनयम तार के प्रतिरोध को तापमापक गुण के रूप में प्रयुक्त करते है।

(iii) **ताप वैद्युत तापमापी :**

ये सीबैक के ताप वैद्युत प्रभाव पर आधारित होते है। इसमें विभिन्न धातु सन्धियों में तापान्तर के कारण उत्पन्न वैद्युत वाहक बल को माप कर ताप ज्ञात किया जाता है।

(iv) विकिरण तापमापी :

ये तापमापी किसी भट्टी या पिण्ड द्वारा उत्सर्जित विकिरणों के मापन पर आधारित होते है। यह केवल उच्च ताप $(,600^0C)$ मापन के लिये ही उपयोगी होते है।

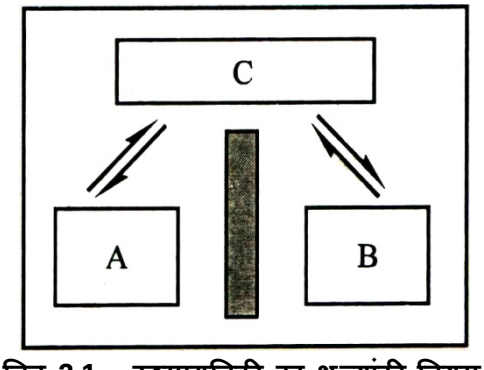
(v) चुम्बकीय तापमापी

पदार्थो की चुम्बकीय प्रवृत्ति ताप पर निर्भर होती है। इस गुण का उपयोग परम शून्य ताप के निकट अत्यल्प तापों के मापन के लिये किया जाता है।

3.5 ऊष्मा गतिकी का शून्यांकी नियम (Zeroth Law of Thermodynamics):

यदि कोई दो ऊष्मीय निकाय अलग-अलग किसी अन्य तीसरे ऊष्मीय निकाय से ऊष्मीय साम्य में है तो वे दोनों आपस में भी ऊष्मीय साम्य में होगे। यह उष्मागतिकी का शून्यांकी नियम कहलाता है।

\



चित्र 3.1 - ऊष्मागतिकी का शून्यांकी नियम

माना दो ऊष्मीय निकाय A व B के बीच एक ऊष्मा रोधक पर्दा लगा है जिससे A व B के बीच ऊष्मा का आदान-प्रदान नहीं होता है। अब एक अन्य ऊष्मीय निकाय C को इस प्रकार

रखते है कि निकाय C का A के साथ तथा C का B के साथ ऊष्मा का आदान-प्रदान हो सकें। कुछ समय पश्चात् निकाय C, निकायों Aव B के साथ अलग-अलग ऊष्मीय साम्य में आ जाता है।

ऊष्मागतिकी अवस्था :

किसी निकाय की ऊष्मागतिक अवस्था को ऊष्मागतिक निर्देशांकों से व्यक्त करते है। ऊष्मागतिक निर्देशांकों के मानों का एक समुच्चय निकाय की एक अवस्था को व्यक्त करता है।

उदाहरणस्वरूप एक सिलेण्डर में भरी हुयी गैस की अवस्था को उसके दाब, आयतन, ताप व द्रव्यमान के मानों द्वारा पूर्णत: विनिर्दिष्ट किया जा सकता है।

बोध प्रश्न

1. ताप को परिभाषित करो।

   .....

2. ऊष्मीय साम्य से क्या तात्पर्य है?

   .....

3.6 ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम (First Law of Thermodynamics) :

यदि किसी निकाय को प्रारम्भिक साम्यावस्था i से अन्तिम साम्यावस्था f में लाने के लिए ΔQ ऊष्मा निकाय को दी जाती है तथा निकाय ΔW ऊष्मा निकाय को दी जाती है तथा निकाय ΔW करता है, तब दी गयी ऊष्मा तथा किये गये कार्य का अन्तर निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि के तुल्य होता है, अर्थात्

$$dU = \Delta Q - \Delta W$$

या $$\Delta Q = dU + \Delta W$$

उपरोक्त समी. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम कहलाता है।

"ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार किसी निकाय को दी गई ऊष्मा का मान निकाय की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन तथा निकाय द्वारा किये गये कार्य के योग के तुल्य होता है।"

3.7 विभिन्न ऊष्मागतिक प्रक्रम (Different Thermodynamic Process) :

(i) विलगित निकाय

जब कोई निकाय न तो कार्य करता है और न ही इस पर कार्य किया जाता है तथा परिवेश से ऊष्मा का आदान प्रदान भी नहीं करता है, विलगित निकाय कहलाता है।

$$\Delta Q = 0; \Delta W = 0$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$\Delta Q = dU + \Delta W$$

$$\Rightarrow \quad dU = 0$$

$$\Rightarrow \quad U = \text{नियत}$$

अत: निकाय की आन्तरिक ऊर्जा नियत रहती है।

(ii) **मुक्त प्रसार :**

ऊष्मारोधी कक्ष में आदर्श गैस को निर्वात में प्रसारित होने दिया जाता है तो ऐसा प्रसार मुक्त प्रसार कहलाता है।

$$\Delta Q = 0$$

मुक्त प्रसार निर्वात में होता है अत: $P = 0$

अत: बाह्य कार्य $\Delta W = \int P dv = 0$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से $\Delta Q = dU + \Delta W$

$\Rightarrow \quad dU = 0 \quad \Rightarrow U =$ नियत

अत: मुक्त प्रसार में गैस की आन्तरिक ऊर्जा नियत होती है।

(iii) समतापी प्रक्रम

समतापी प्रक्रम में निकाय का ताप नियत रहता है।

अत: $\quad dT = 0 \;\; \Rightarrow dU = 0$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$\Delta Q = dU + \Delta W$$

$$\Rightarrow \quad \Delta Q = \Delta Q$$

अत: समतापी प्रक्रम मे दी गयी ऊष्मा पूर्णत: कार्य में परिवर्तित होती है।

(iv) रूदोष्म प्रक्रम

रूदोष्म परिवर्तन में निकाय न तो परिवेश से ऊष्मा लेता है न उसे देता है

अर्थात $\quad \Delta Q = 0$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$\Delta Q = dU + \Delta W$$

$$\Rightarrow \quad \Delta W = -dU$$

(v) समदाबी प्रक्रम

वह प्रक्रम जिसमें निकाय का दाब नियत रहता है।

$P =$ नियत

$$\Delta W = \int_{v_1}^{v_2} P dv = P(v_2 - v_1)$$

(vi) चक्रीय प्रक्रम

जब किसी निकाय की अवस्था में इस प्रकार परिवर्तन होता है कि अन्त में वह पुन: अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आ जाता है, तो यह प्रक्रम चक्रीय प्रक्रम कहलाता है।

चक्रीय प्रक्रम में निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य के बराबर होता है अर्थात्

$$dU = 0$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$\Delta Q = dU + \Delta W$$

$$\Delta Q = \Delta W$$

(vii)समआयतनी प्रक्रम

वह प्रक्रम जिसमें निकाय का आयतन नियत रहता है

अर्थात् $v =$ नियत $\Rightarrow \quad dv = 0$

$$\Delta W = \int P dv = 0$$

अत: निकाय द्वारा किया गया कार्य शून्य होता है।

3.8 उत्क्रमणीय तथा अनुत्क्रमणीय ऊष्मागतिकी प्रक्रम (Reversible & Irreversible Process) :

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियमानुसार

$$\Delta Q = dU + \Delta W$$

यदि $dU = 0$ तो $\Delta Q = \Delta W$ होगा

अर्थात् ऊष्मा का पूर्णरूप में यांत्रिक कार्य में परिवर्तन हो रहा है लेकिन वास्तविकता में यह सदैव सम्भव नहीं है।

प्रकृति में कार्यरत विभिन्न प्रक्रमों को दो वर्गों में विभाजित किया जा सकता है।

उत्क्रमणीय प्रक्रम अनुत्क्रमणीय प्रक्रम

(i) उत्क्रमणीय प्रक्रम

माना एक अत्यल्प सूक्ष्म परिवर्तन से कोई ऊष्मागतिकी निकाय अवस्था A से अवस्था B प्राप्त करता है। यदि इस प्रक्रम ΔQ ऊष्मा प्राप्त कर, ΔW कार्य करता है तब आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$dU = UB - UA = \Delta Q - \Delta W$$

अब यदि अवस्था B को प्रारम्भिक अवस्था मानकर उपरोक्त प्रक्रम विपरित क्रम में सम्पन्न करें तब यदि निकाय पर ΔW कार्य किया जाये व निकाय से ΔQ ऊष्मा निष्कासित हो अन्तिम अवस्था A प्राप्त होने पर आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$UA' - UB = -\Delta Q - (-\Delta W)$$
$$= -\Delta Q + \Delta W$$
$$= -(\Delta Q - \Delta W)$$
$$= -(U_B - U_A)$$
$$= U_A - U_B$$
$$U_A' = U_A$$

अत: यदि विपरित क्रम में प्रक्रम से पुन: प्रारम्भिक अवस्था A प्राप्त हो तो, ऐसा प्रक्रम उत्क्रमणीय प्रक्रम कहलायेगा।

उत्कमणीय प्रक्रम में अवस्था परिवर्तन अत्यन्त धीमी गति से होते हैं। इस प्रक्रम में उष्माक्षय के स्रोत घर्षण, श्यानता, प्रतिरोध इत्यादि नहीं होने चाहिये।

(i) अनुत्क्रमणीय प्रक्रम

अनुत्क्रमणीय प्रक्रम वे प्रक्रम होते हैं जिनमें बाह्म अवस्था के परिवर्तन को विपरित क्रम में लगाने पर निकाय उन्हीं अवस्थाओं से होकर नहीं गुजरता है जिन अवस्थाओं से वह प्रत्यक्ष प्रक्रम में होकर गुजरा था।

उदा. 1) जूल प्रभाव (विद्युत का ऊष्मीय प्रभाव)

2) रासायनिक अभिक्रियायें।

बोध प्रश्न

3. एक आदर्श गैस को नियत ताप पर संपीडित करने पर उसकी आंतरिक ऊर्जा में क्या परिवर्तन होगा?

.....

3.9 कार्नो चक्र एवं कार्नो का आदर्श इंजन (Carnot Cycle & Carnot's Ideal Engine):

सादी कार्नो ने सर्वप्रथम एक सैद्धान्तिक इंजन की कल्पना करी जिसमें ऊष्मा का उपयोगी कार्य में परिवर्तन के अतिरिक्त अन्य किसी प्रकार से क्षय नहीं होता "कानों के इंजन में कार्यकारी पदार्थ की निश्चित अवस्था से प्रारम्भ कर विभिन्न उत्कमणीय प्रक्रमों द्वारा विभिन्न अवस्थाओं से गुजरते हुये प्रारम्भिक अवस्था प्राप्त करता है, यह कानों चक्र कहलाता है ।

कार्नो के आदर्श इंजन के मुख्य भाग निम्न होते है -

(i) ऊष्मा स्रोत :

यह उच्च ताप T_1K पर अनन्त ऊष्मा धारिता का ऊष्मा भण्डार होता है। कार्यकारी पदार्थ द्वारा ऊष्मा ग्रहण करने के पश्चात् भी इसका ताप नियत बना रहता है। इसका ऊपरी पृष्ठ पूर्णत: सुचालक होता है।

(ii) ऊष्मा सिंक

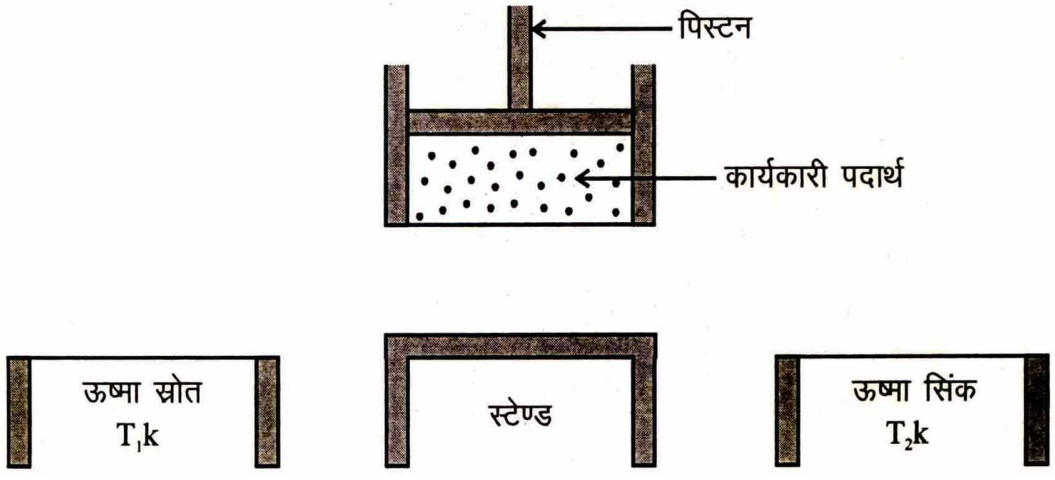
यह निम्न ताप T_2K पर अनंत धारिता का ऊष्मा धारित का ऊष्मा भण्डार होता है । कार्यकारी पदार्थ द्वारा ऊष्मा ग्रहण करने के पश्चात् भी इसका ताप नियत रहता है। इसका ऊपरी पृष्ठ सुचालक होता है।

(iii) स्टैण्ड

स्टैंड पर सिलेण्डर रखकर इसके कार्यकारी पदार्थ का रूदोष्म प्रसारण या सम्पीडन किया जा सकता है। यह पूर्णतया कुचालक होता है ।

(iv) **कार्यकारी पदार्थ एवं यांत्रिक व्यवस्था**

कार्यकारी पदार्थ के रूप में आदर्श गैस होती है जो कि एक खोखले सिलेण्डर में भरी होती है। सिलेण्डर की दीवारें पूर्णत: कुचालक तथा आधार सुचालक होता है। इसे एक कुचालक पदार्थ का पिस्टन लगा होता है।



चित्र 3.2

कार्य विधि

पूर्ण कार्नो चक्र चार चरणों में पूर्ण होता है।

(i) प्रथम प्रक्रम : समतापी प्रसार

सर्वप्रथम सिलेण्डर को ऊष्मा स्रोत पर रखते है, जिससे कार्यकारी पदार्थ का ताप ऊष्मा स्रोत के ताप के बराबर T_1K हो जाता है। माना इस ताप पर कार्यकारी पदार्थ का दाब PA तथा आयतन VA है। यह कार्यकारी द्रव्य की प्रारम्भिक अवस्था कहलाती है। अब पिस्टन पर दाब घटा कर इसे ऊपर की ओर खिसकने दिया जाता है जिससे गैस का समतापी प्रसार हो। इस प्रसार में गैस कुछ ऊष्मा Q_1 स्रोत से ग्रहण कर अवस्था B तक पहुँच जाती है, माना अवस्था B पर गैस का दाब PB तथा आयतन VB है। समतापी प्रसार में गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य होता है इसलिये ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से समतापी प्रसार में ग्रहण की गई ऊष्मा गैस द्वारा किये गये कार्य के बराबर होती है।

$$Q_1 = W_1 = \int_A^B P dv$$

यदि गैस का द्रव्यमान एक मोल हो तो T_1K ताप पर समतापी प्रक्रम के लिये

$$PV = RT_1$$

$$Q_1 = W_1 = RT_1 \int_A^B \frac{dv}{v} = RT_1 \log_e \frac{V_B}{V_A}$$

$$= 2.303 RT_1 \log_{10} \frac{V_B}{V_A}$$

$P_A V_A = P_B V_B$ से

$$Q_1 = W_1 = 2.3026 RT_1, \log_{50} \frac{P_A}{P_B}$$

(ii) द्वितीय प्रक्रम : रूद्धोष्म प्रसार

अब सिलेण्डर को ऊष्मा स्रोत से हटाकर कुचालक स्टैण्ड पर रखते है ताकि कार्यकारी पदार्थ बाह्म परिवेश से पूर्णतया विलगित हो जाये पिस्टन पर पुन: धीरे-धीरे दाब घटा कर गैस का स्वत: रूदोष्म प्रसार होने दिया जाता है। रूदोष्म प्रसार इतना होने दिया जाता है कि गैस का ताप घट कर ऊष्मा सिंक के ताप के बराबर $T_2 K$ हो जाये। माना इस प्रकार गैस अवस्था C पर पहुँच जाती है जिस पर दाब P_C व आयतन V_C है।

रूदोष्म प्रसार में गैस द्वारा किया गया कार्य

$$W_2 = \int_B^C P dv$$

$$W_2 = \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$

इस प्रक्रम के पश्चात् गैस का दाब इतना कम हो जाता है कि गैस में ओर अधिक कार्य करने की क्षमता नहीं रह जाती है। अत: अब गैस को पुन: प्रारम्भिक अवस्था में लाने के लिये दाब को दो चरणों में बढ़ाते है।

(iii) तृतीय प्रक्रम : समतापी संपीडन

अब सिलेण्डर को कुचालक स्टैण्ड से हटाकर ऊष्मा सिंक पर रखते है और धीरे-धीरे गैस को पिस्टन द्वारा इतना सम्पीडित करते है कि गैस का ताप $T_2 K$ पर रहें और अवस्था D पर पहुँच जाये। माना अवस्था D पर गैस का दाब P_D व आयतन V_D है। सम्पीडन के समय गैस से ऊष्मा Q_2 निष्कासित होती है।

समतापी सम्पीडन में किया गया कार्य

$$W_3 = Q_2 \int_C^D P dv$$

$$= +RT_2 \log_e \frac{v_D}{v_C} = -RT_2 \log_e \frac{v_C}{v_D}$$

$$= -2.303 RT_2, \log_e \frac{v_C}{v_D}$$

(iv) चतुर्थ प्रक्रम : रूदोष्म सम्पीडन

अन्तिम प्रक्रम के रूप में सिलेण्डर को ऊष्मा सिंक से हटाकर कुचालक स्टैण्ड पर रखते है और पिस्टन द्वारा गैस को इतना सम्पीड़ित करते है कि गैस अपनी प्रारम्भिक अवस्था ($P_A V_A T_1$) पर पहुँच जायें।

सम्पीडन में किया गया कार्य

$$W_4 = \int_D^A P dv = \frac{R(T_2 - T_1)}{(\gamma - 1)}$$

कार्नो चक्र में किया गया कुल कार्य

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$W = RT_1 \log_e \frac{V_B}{V_A} + \frac{R(T_1 - T_2)}{(\gamma - 1)} - RT_2 \log_e \frac{V_C}{V_D} - \frac{R(T_1 - T_2)}{(\gamma - 1)}$$

$$W = RT_1 \log_e \frac{V_B}{V_A} - RT_2 \log_e \frac{V_C}{V_D}$$

$(P-V)$ वक्र में बिन्दु B व C एक ही रूदोष्म वक्र पर स्थित है।

$$T_1 V_B^{\gamma-1} = T_2 V_c^{\gamma-1}$$

या $$\frac{V_C}{V_B} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}-1} \quad \text{-(A)}$$

इसी प्रकार D व $A(P-V)$ एक ही रूदोष्म वक्र पर स्थित है।

$$T_1 V_A^{\gamma-1} = T_2 V_D^{\gamma-1}$$

Or $$\frac{V_D}{V_A} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}-1} \quad \text{- (B)}$$

समी. (A) व (B) द्वारा

$$\frac{V_C}{V_B} = \frac{V_D}{V_A} \text{ या } \frac{V_C}{V_D} = \frac{V_B}{V_A}$$

अत: कार्नो चक्र में किया गया कुल कार्य

$$W = R(T_1 - T_2) \log_e \frac{V_B}{V_A}$$

कार्नो इंजन की दक्षता :

$$\text{दक्षता } \eta = \frac{\text{उपयोगी कार्य}}{\text{स्त्रोत से ली गयी ऊष्मा}}$$

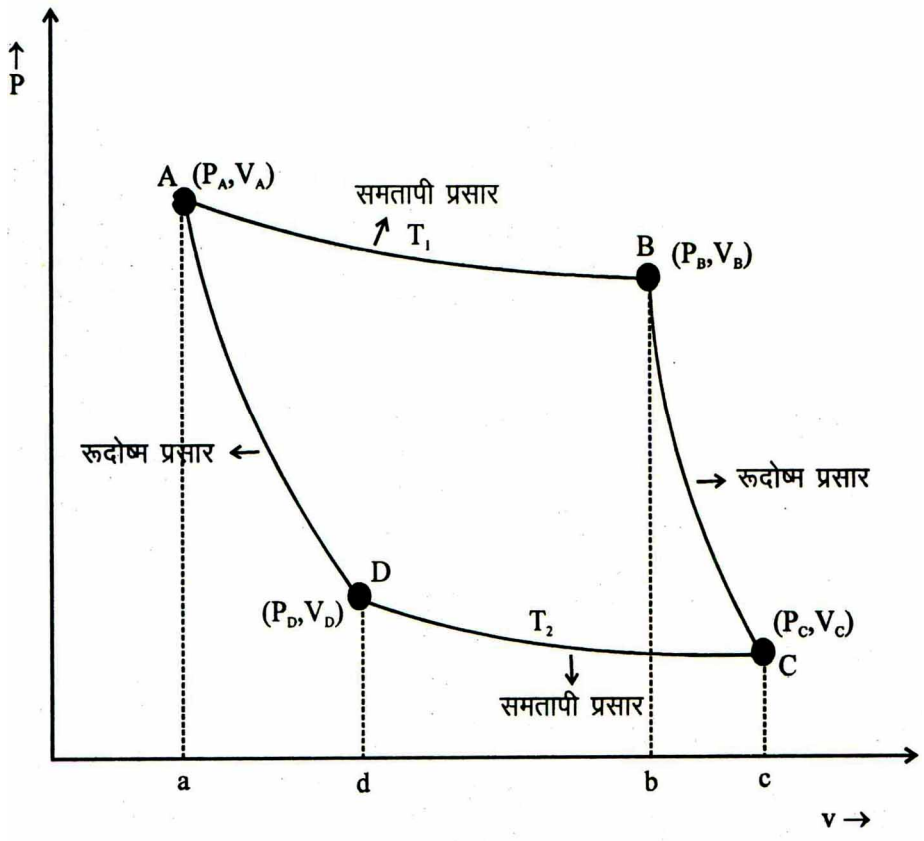
$$= \frac{W}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{R(T_1 - T_2) \log_e \frac{V_B}{V_A}}{RT_1 \log_e \frac{V_B}{V_A}}$$

$$= \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

अत: कार्नो इंजन की दक्षता के बल स्रोत एवं सिंक के तापों पर ही निर्भर करती है, कार्यकारी पदार्थ की प्रकृति पर नहीं।



चित्र 3.3 - कार्नो चक्र

बोध प्रश्न

4. उत्क्रमणीय कार्नो इंजन में कौनसा कार्यकारी पदार्थ उपयोग में लाया जाता है।

.....

5. किसी प्रक्रम के उत्क्रमणीय होने की आवश्यक शर्तें लिखिये।

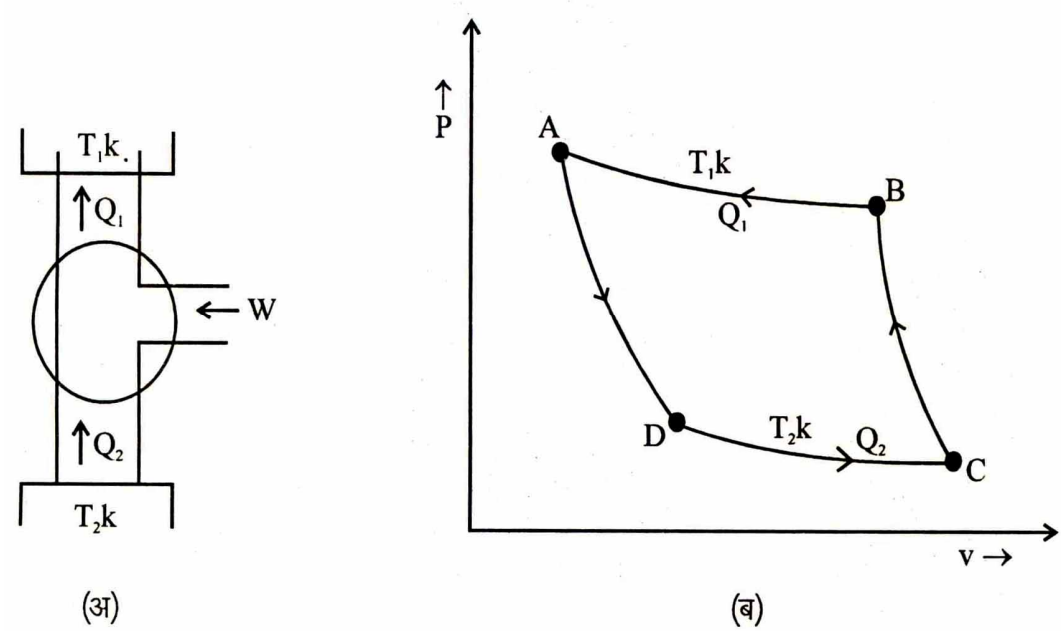
.....

6. अधिकतम दक्षता प्राप्त करने के लिए सिंक का तापमान कितना होना चाहिए।

.....

3.10 कार्नो रेफ्रिजरेटर (Carnot Refrigerator) :

कार्नो चक्र पूर्णत: उत्क्रमणीय होता है यदि कार्नो इंजन को विपरित दिशा में संचालित करें तो यह रेफ्रिजरेटर के समान कार्य करता है । इसके लिये यह निम्न ताप T_2K पर Q_2 ऊष्मा ग्रहण करता है और इस पर W कार्य किया जाता है तो इंजन कुल ऊष्मा $Q_2 + W = Q_1$ को उच्च ताप पर निष्कासित करेगा। यह प्रक्रम निम्न ताप से उच्च ताप की ओर ऊष्मा स्थानान्तरण करेगा।



चित्र 3.4 - कार्नो रेफ्रिजरेटर

कार्नो चक्र को रेफ्रिजरेटर की भांति उपयोग करने पर इसकी क्षमता इसके कार्य गुणांक द्वारा ज्ञात की जाती है। यदि निम्न ताप T_2K पर रेफ्रिजरेटर द्वारा अवशोषित ऊष्मा Q_2, हो तथा उच्च ताप T_1K पर रेफ्रिजरेटर द्वारा निष्कासित ऊष्मा Q_1 हो तो

कार्यकारी पदार्थ पर किया गया कार्य $W = Q_1 - Q_2$

इंजन का प्रशीतन प्रभाव उसके द्वारा अवशोषित ऊष्मा Q_2 पर निर्भर होती है।

अत: प्रशीतन के लिये कार्य गुणांक $= \frac{\text{अवशोषित ऊष्मा}}{\text{बहया एजेंसी द्वारा किया कार्य}}$

$$\frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

$$= \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

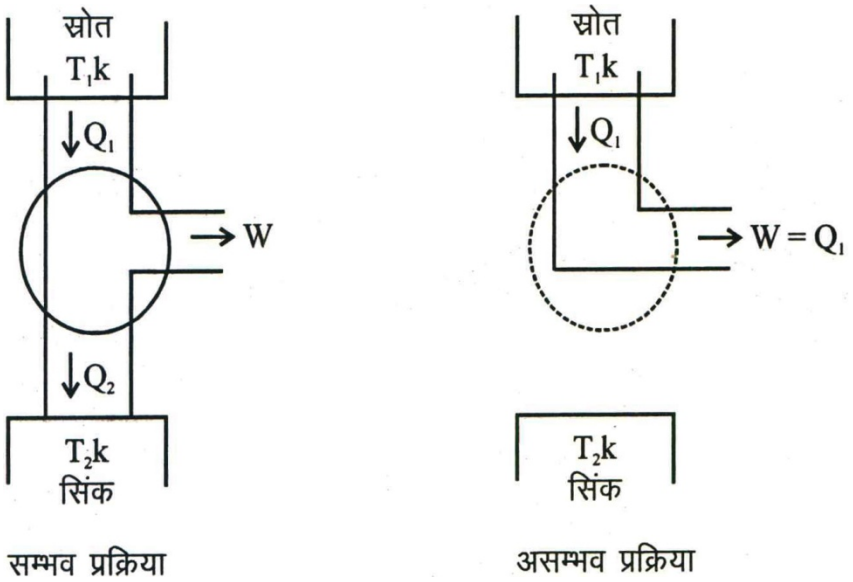
3.11 ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम (Second Law of Thermodynamics) :

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम मूल रूप से ऊर्जा संरक्षण का नियम है तथा यह कार्य और ऊष्मा की तुल्यता को व्यक्त करता है। इस नियम के अनुसार नियत कार्य से ऊष्मा की एक नियम मात्रा या नियम ऊष्मा से कार्य की नियत मात्रा प्राप्त होती है, परन्तु इस नियम से यह अभिव्यक्ति नहीं होती है कि ऊष्मा को सदैव पूर्णत: कार्य में परिणित किया जा सकता है या नहीं। इसके अतिरिक्त यह नियम यह भी अभिव्यक्त नहीं करता है कि ऊष्मा प्रवाह की दिशा क्या होगी। ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की उपरोक्त कमी को दूर करने के लिये ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम दिया गया।

ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के दो प्रमुख कथन निम्न है

(i) केल्विन एवं प्लांक का कथन

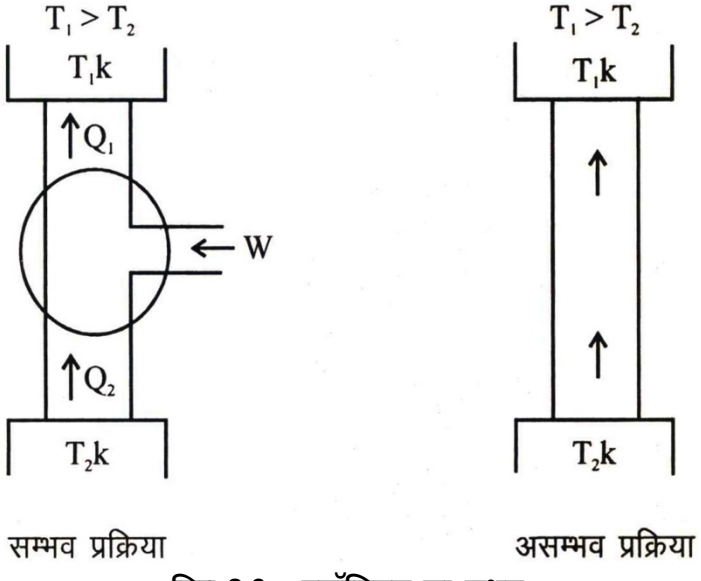
कोई भी ऐसा इंजन बनाना सम्भव नहीं है जो चक्रीय प्रक्रम में कार्य करते हुये केवल एक स्रोत से ऊष्मा प्राप्त करके उसे पूर्णत: कार्य में परिवर्तित कर सकें तथा कार्यकारी पदार्थ अप्रभावित रहें। अन्य रूप में कार्य की सतत् प्राप्ति के लिये ऊष्मा स्रोत के साथ सिंक का होना आवश्यक है।



चित्र 3.5 - केल्विन एवं प्लांक का कथन

(ii) क्लॉसियस का कथन

कोई भी ऐसी युक्ति सम्भव नहीं है जो चक्रीय प्रक्रम में कार्य करते हुये बिना किसी बाह्य एजेन्सी की सहायता के निम्न ताप पर निकाय से ऊष्मा ग्रहण करके अपेक्षाकृत अधिक ताप पर किसी अन्य निकाय को ऊष्मा स्थानान्तरित कर सकें अर्थात् ऊष्मा का स्वत: निम्न ताप वाले निकाय से उच्च ताप वाले निकाय की ओर प्रवाहित होना असम्भव होता है।



चित्र 3.6 - क्लॉसियस का कथन

उपर्युक्त कथन रेफ्रिजरेटर के सिद्धान्त पर आधारित है जिसमें 'कार्यकारी पदार्थ ठण्डे निकाय से ऊष्मा लेता और गर्म निकाय को ऊष्मा निष्कासित करता है। ऐसा करने के लिये कार्यकारी पदार्थ पर बाह्य कर्मक द्वारा कुछ कार्य करना आवश्यक होता है।

0^0 ताप पर नानी से ऊष्मा लेता है और 27^0 ताप पर कमरे को ऊष्मा देता है। इसका कार्य गुणांक ज्ञात करो।

हल : $T_1 = 27 + 273 = 300K$

$T_2 = 0 + 273 = 273K$

कार्नो रेफ्रिजरेटर का कार्य गुणांक

$$\sigma = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$\frac{273}{300 - 273} = \frac{273}{27} = 10.1$$

उदा. 2 एक रेफ्रिजरेटर औसतन प्रति सेकिण्ड 200 जूल ऊष्मा -10^0C ताप से 27^0C पर स्थानान्तरित करता है। आदर्श उत्क्रमणीय चक्र मानते हुये औसत व्ययित शक्ति की गणना करो

हल : $T_2 = -10 + 273 = 263K$ केल्विन

$T_2 = 27 + 273 = 300K$

$Q_2 = 200$ जूल प्रति सेकिण्ड

माना रेफ्रिजरेटर ऊष्मा Q_2 कम ताप T_2K पर ग्रहण करता है, उस पर कार्य W करके ऊष्मा Q_1 उच्च ताप T_1K पर स्थानान्तरित करता है।

अत: $$W = Q_1 - Q_2 = Q_2\left(\frac{Q_1}{Q_2} - 1\right)$$

लेकिन $$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\therefore \quad W = Q_2\left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right) = Q_2\left(\frac{T_1 - T_2}{T_2}\right)$$

$$= \quad 200 \times \frac{(300 - 263)}{263}$$

$$= \quad 200 \times \frac{37}{263} = 28.1 \text{ जूल /सेकिण्ड}$$

$$= \quad 28.1 \text{ वॉट}$$

उदा. 3 एक कार्नो इंजन 827^0C तथा 27^0C के मध्य कार्य करता है। कार्नो इंजन की दक्षता क्या होगी?

हल : $T_1 = 327 + 273 = 600$ ks

$T_2 = 27^0C + 273 = 300$ k

कार्नो इंजन की दक्षता $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

= $1 - \frac{300}{600} = 0.5$

3.12 सारांश (Summary) :

1) ऊष्मा ऊर्जा का ही रूप है, यह अणुओं व परमाणुओं की स्थानांतरीय घूर्णीय व कंपन ऊर्जा के रूप में विद्यमान रहती है।
2) ऊष्मीय साम्य में निकायों का वह गुण जो समान होता है, ताप कहलाता है। यह निकायों के मध्य ऊष्मा प्रवाह की दिशा का बोध कराता है।
3) ऊष्मागतिकी के शून्यांकी नियम से यदि कोई दो ऊष्मीय निकाय अलग-अलग तीसरे ऊष्मीय निकाय से साम्य में है तो वे आपस में भी ऊष्मीय साम्य में होगें।
4) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार निकाय को दी गयी ऊष्मा: का मान उसकी आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि तथा निकाय द्वारा किये गये कार्य के योग के तुल्य होता है।
5) वह प्रक्रम जिसमें बाल अवस्थाओं के परिवर्तनों को प्रत्यक्ष प्रक्रम के सापेक्ष विपरित दिशा में लगाने पर प्रत्येक स्तर पर वहीं अवस्था प्राप्त होती है जैसी कि प्रत्यक्ष प्रक्रम में प्राप्त होती है, उत्क्रमणीय प्रक्रम कहलाता है।
6) कार्नो चक्र : कानों इंजन एक उत्क्रमणीय इंजन होता है जो दो तापों T_1 (स्रोत) तथा T_2 (सिंक) के मध्य कार्य करता है। कार्नो चक्र में दो समतापी प्रक्रम, दो रूदोष्म प्रक्रम होते हैं।
7) उष्मागतिकी के द्वितीय नियम के दो कथन निम्न है

a) केल्विन एवं प्लांक का कथन : कोई भी ऐसा इंजन सम्भव नहीं है जो चक्रीय प्रक्रम में कार्य करते हुये एक स्रोत से ऊष्मा प्राप्त करके उसे पूर्णत: कार्य में परिवर्तित कर दें व कार्यकारी पदार्थ अप्रभावित रहें।

b) क्लॉसियक का कथन : कोई भी ऐसी युक्ति सम्भव नहीं है जो चक्रीय प्रक्रम में कार्य करते हुये बिना किसी बाह्म एजेन्सी की सहायता के निम्न ताप पर निकाय से ऊष्मा ग्रहण कर अधिक ताप पर अन्य निकाय को ऊष्मा स्थानांतरित कर सकें।

8) (i) यदि Q>0, तो निकाय को ऊष्मा दी जाती है।
   (ii) यदि Q<0, तो निकाय से ऊष्मा ली जाती है।
   (iii) यदि W>0, तो निकाय के द्वारा कार्य किया जाता है।
   (iv) यदि W<0, हो तो निकाय पर कार्य किया जाता है।

3.13 शब्दावली (Glossary) :

समतापी	-	Isothermal
रुद्धोष्म	-	Adiabatic
संपीड़न	-	Compression
समदाबी	-	Isobaric
मुक्त प्रसार	-	Free expansion

उत्क्रमणीय	-	Reversible
अनुत्क्रमणीय	-	Irreversible

3.14संदर्भ ग्रंथ (Reference Books)

(1) Fundamental of statistical & thermal physics, TMH, F Reif.

(2) Heat and Thermodynamics, Brij Lal, N. Subrahmanyam S. Chand & Company, New Delhi.

(3) Thermodynamics Kinetic Theory and Statistical Thermodynamics, Sears Francis W., Salinger Gerhard L. Narose Pub. House, New Delhi.

(4) Thermodynamics and Heat Power, Granet lrving, Bluestein Maurice, Pearson Edu. Asia, Delhi.

3.15 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers of SAQ's) :

1) किसी ऊष्मीय निकाय का ताप वह भौतिक गुण है जो ऊष्मा संचरण की दिशा का बोध करता है जब वे दोनों सम्पर्क में आते है।
2) जब कोई दो ऊष्मीय निकाय सम्पर्क में होते है और उनके ताप समान होते है तो ऐसी स्थिति में नेट ऊष्मा प्रवाह शून्य होता है। निकायों की यह दशा ऊष्मीय साम्य कहलाती है।
3) आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा केवल ताप पर निर्भर करती है अत: इसमें कोई परिवर्तन नहीं होगा।
4) आदर्श गैस
5) 1) प्रक्रम में अवस्था परिवर्तन अत्यन्त धीमी गति से होना चाहिये।
   2) ऊष्मा का क्षय, घर्षण, श्यानता, विकिरण इत्यादि से नहीं होना चाहिए।
6) शून्य केल्विन

3.16 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question) :

1. ऊष्मागतिकी के शून्यांकी नियम की व्याख्या कीजिये। यह ताप को किस प्रकार परिभाषित करता है?
2. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का उल्लेख कीजिये। यह किस संरक्षण नियम पर आधारित है?
3. उत्क्रमणीय एवं अनुत्क्रमणीय ऊष्मागतिकी प्रक्रमों में अंतर समझाइये ।
4. कार्नो रेफ्रिजरेटर का वर्णन करते हुए उसकी कार्य क्षमता का व्युत्पन्न प्राप्त करो।
5. ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के कथनों को सविस्तार समझाइये।

लघुउत्तरात्मक प्रश्न

1. यदि एक बन्द कमरे में चालू रेफ्रिजरेटर का दरवाजा खुला रह जाये, तो कमरे के ताप पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
2. कार्नो इंजन क्या होता है?
3. किस प्रक्रम में निकाय को दी गई कुल ऊष्मा पूर्णत: आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि उत्पन्न करती है?
4. रुद्धोष्म, समतापी व समदाबी प्रक्रम में एक समान आयतन परिवर्तन के लिए किस प्रक्रम में किये गये कार्य का मान अधिकतम होता है?

संख्यात्मक प्रश्न

1. एक किग्रा, पानी को एक एटमॉस दाब पर वाष्प में बदला जाता है। वाष्प रूप में उसका आयतन $1.670eh^3$ है। दाब के विरूद्ध किये गये कार्य की गणना करो । एक एटमॉस $=105Nm^{-2}$
2. रुद्धोष्म प्रक्रिया में एक निकाय परिवेश पर 10 जूल कार्य करता है। निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में क्या परिवर्तन होगा?
3. एक कार्नो इंजन की दक्षता जबकि स्रोत का ताप 87^0C हो तो 1/6 है। इसकी दक्षता 1/3 प्राप्त करने के लिए सिंक के ताप में की गई कमी होगी।
4. एक कार्नो इंजन हिमांक तथा भाप बिन्दु के बीच कार्य कर रहा है। उसकी दक्षता की गणना कीजिये।
5. एक कार्नो रेफ्रिजरेटर -10^0C तथा 26^0C के मध्य कार्य करता है। इसकी कार्य क्षमता की गणना करो।

इकाई 4

किरण प्रकाशिकी

RAYOPTICS

रूपरेखा

4.0 उद्देश्य (Object)

4.1 प्रस्तावना (Introduction)

4.2 प्रकाश का परावर्तन (Reflection of Light)

4.2.1 प्रकाश परावर्तन के नियम (Laws of Light Reflection)

4.3 प्रकाश का अपवर्तन (Refraction of Light)

4.3.1 प्रकाश अपवर्तन के नियम (स्नैल के नियम) Laws of Light Refraction (Snell's Law)

4.3.2 अपवर्तन के व्यवहारिक उदाहरण (General Example of Refraction)

4.4 प्रकाश का प्रकीर्णन (Scattering of Light)

4.5 प्रकाश का विक्षेपण (Dispersion of Light)

4.6 पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (Total Internal Reflection)

4.6.1 पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के उपयोग (Application of Total Internal Reflection)

4.7 लैन्स (Lenses)

4.7.1 लैन्स सम्बन्धी परिभाषायें (Definitions Related to Lenses)

4.7.2 लैन्स के अनुप्रयोग (Application of Lenses)

(i) साधारण सूक्ष्मदर्शी (Microscope)

(ii) संयुक्त सूक्ष्मदर्शी (Compound Microscope)

(iii) दूरदर्शी (Telescope)

4.8 मानव आँख की संरचना (Structure of Human Eye)

4.9 `मानव आँख में दोष (Defects of Human Eye)

4.10 सारांश (Summary)

4.11 शब्दावली (Glossary)

4.12 संदर्भ ग्रंथ (Reference Books)

4.13 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers of SAQ's)

4.14 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question)

4.0 उद्देश्य (Objects) :

किरण प्रकाशिकी में हम प्रकाश के परावर्तन, अपवर्तन, प्रकीर्णन, विक्षेपण, पूर्ण आन्तरिक परावर्तन आदि घटनाओं का अध्ययन करते है। इन प्रकाशिक घटनाओं का उपयोग विभिन्न प्रकार के प्रकाशिक यन्त्रों जैसे - सूक्ष्मदर्शी, दूरदर्शी, कैमरा, प्रकाशीय तन्तु आदि में किया जाता है। इन प्रकाशीय घटनाओं के अध्ययन के बाद विभिन्न व्यावहारिक घटनायें जैसे - तारों का झिलमिलाना, आकाश का रंग नीला होना, हीरे का चमकना आदि का स्पष्टीकरण दिया जा सकता है। विभिन्न प्रकार के लैंसों के गुणधर्म का उपयोग नेत्र दोषों को दूर करने में किया जाता है।

4.1 प्रस्तावना (Introduction) :

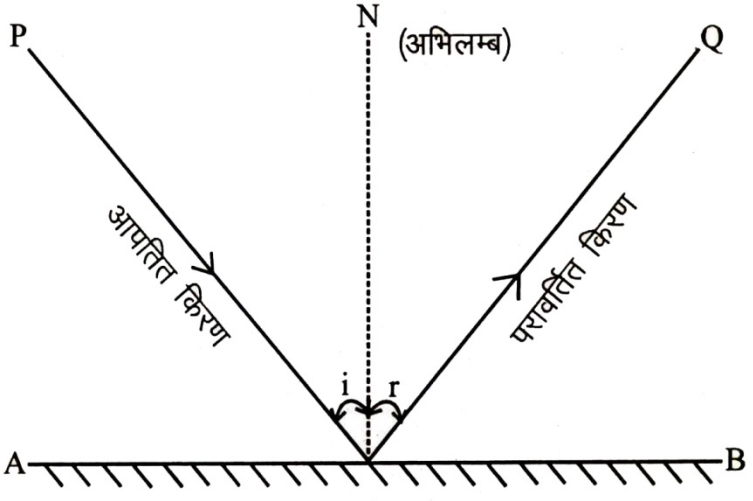
प्रकाश एक प्रकार की ऊर्जा है। प्रकाश कणों को फोटॉन कहते है। प्रकाश की प्रकृति द्वैत होती है, तरंग एवं कण। प्रकाश का वेग विभिन्न माध्यमों में अलग-अलग होता है। निर्वात में प्रकाश का वेग 3×10^8 मीटर/सेकिण्ड होता है जो कि सर्वाधिक है। दृश्य प्रकाश की तरंग दैर्ध्य $3800A$ से $7800A$ के मध्य होती है।

4.2 प्रकाश का परावर्तन (Reflection of Light) :

जब प्रकाश किसी तल पर गिरता है तो प्रकाश का कुछ भाग तल द्वारा अवशोषित हो जाता है, कुछ भाग तल द्वारा दूसरे माध्यम में चला जाता है, कुछ भाग पुन: उसी माध्यम में लौटा दिया जाता है। तल द्वारा प्रकाश को पुन: लौटाने की घटना को प्रकाश का परावर्तन कहते है।

4.2.1 प्रकाश परावर्तन के नियम

प्रकाश का परावर्तन कुछ नियमों द्वारा होता है, जिन्हें परावर्तन के नियम कहते है। परावर्तन निम्न दो नियमों के अनुसार होता है -



चित्र 4.1 - प्रकाश का परावर्तन

1. आपतित किरण, परावर्तित किरण और अभिलम्ब एक ही समतल में होते है।
2. परावर्तन में सदैव आपतन कोण I, परावर्तन कोण r के बराबर होता है अर्थात् $\angle i = \angle r$

बोध प्रश्न

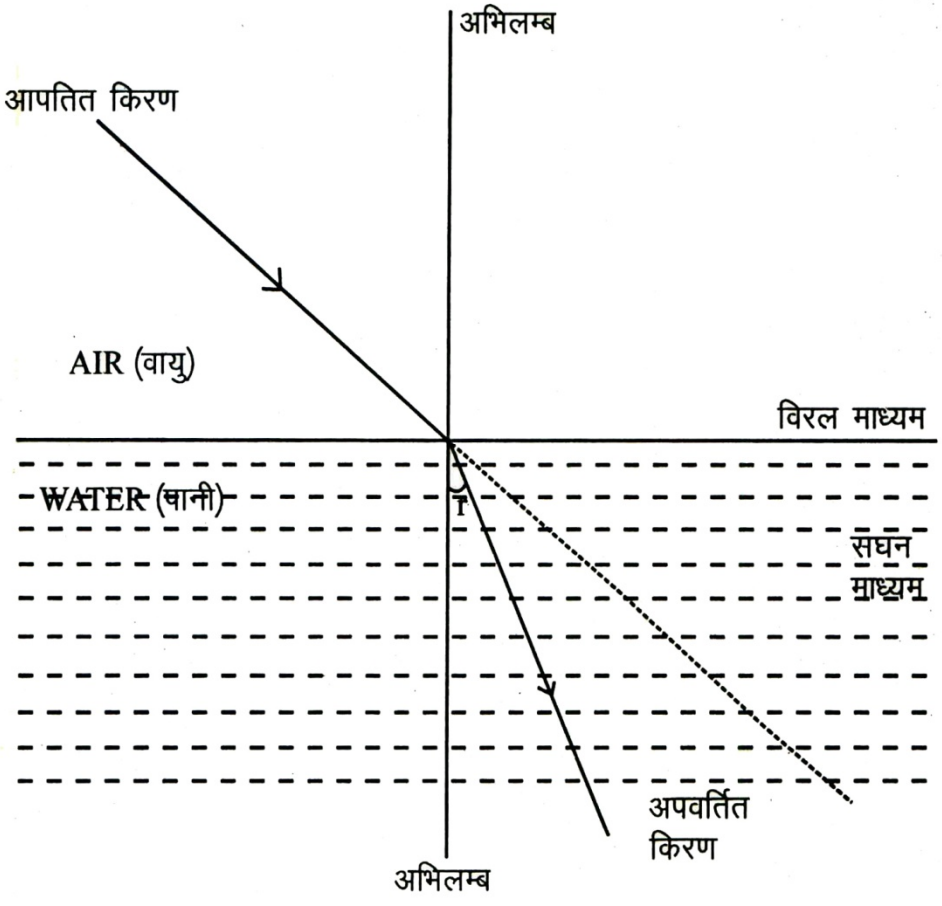
1. यदि प्रकाश की किरण दर्पण पर अभिलम्बवत् आपतित होती है तब परावर्तन कोण का मान क्या होगा?

   .....

4.3 प्रकाश का अपवर्तन (Refraction of Light) :

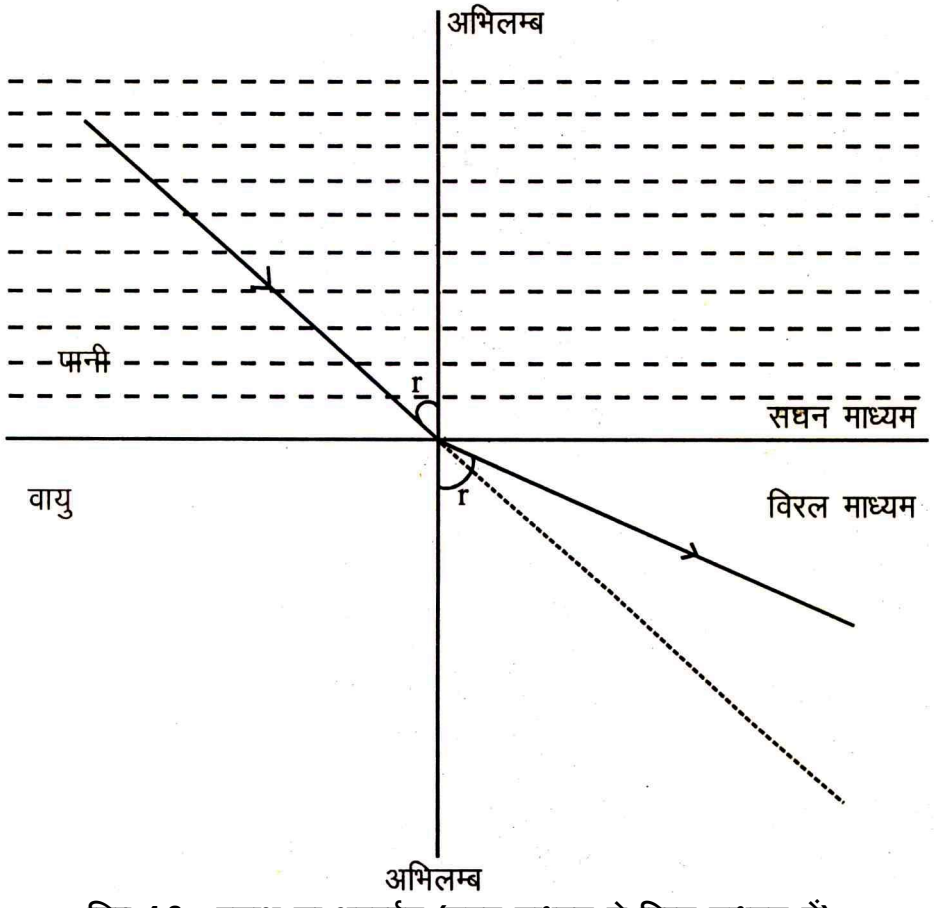
जब प्रकशिय किरण एक माध्यम से दूसरे माध्यम में प्रवेश करती है तो दोनों माध्यमों को पृथक करने वाले पृष्ठ पर वह विचलित हो जाती है, इस घटना को **प्रकाश का अपवर्तन** कहते है।

जब प्रकाश किरण विरल माध्यम से सघन माध्यम में प्रवेश करती है तो अभिलम्ब की और झुक जाती है।



चित्र 4.2- प्रकाश का अपवर्तन (विरल माध्यम से सघन माध्यम में)

जब प्रकाश किरण सघन माध्यम से विरल माध्यम में प्रवेश करती है तो वह अभिलम्ब से दूर हट जाती है।



चित्र 4.3 - प्रकाश का अपवर्तन (सघन माध्यम से विरल माध्यम में)

4.3.1 अपवर्तन के नियम

(1) आपतित किरण, अपवर्तित किरण तथा अभिलम्ब एक ही समतल में होते है।

(2) अपवर्तन के समय आपतन कोण की ज्या एवं अपवर्तन कोण की ज्या का अनुपात किन्हीं दो माध्यमों के लिए स्थिर रहता है। इस राशि को पहले माध्यम के सापेक्ष, दूसरे माध्यम का अपवर्तनांक (μ) कहते है। इस नियम को **स्नैल का नियम** भी कहते है।

किसी माध्यम का अपवर्तनांक, निर्वात में प्रकाश के वेग तथा उस माध्यम में प्रकाश के वेग के अनुपात के बराबर होता है अर्थात्

$$\mu = \frac{\text{निर्वात में प्रकाश का वेग}}{\text{माध्यम में प्रकाश का वेग}}$$

यदि आपतन कोण i एवं अपवर्तन कोण r है, तब स्नैल नियम के अनुसार

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$$

4.3.2 अपवर्तन के व्यवहारिक उदाहरण

(i) जल से भरी बाल्टी के पैन्दे का ऊपर उठा हुआ दिखना

(ii) तारों का झिलमिलाना

बोध प्रश्न

2. प्रकाश के अपवर्तन का क्या कारण है?

.....

3. निर्वात में प्रकाश का वेग $3\times10^8 m/s$ है। यदि हीरे का अपवर्तनांक 2.5 हो तो प्रकाश का वेग हीरे में कितना होगा?

.....

4. प्रकाश का वेग वायु या पानी में से किसमें अधिक होगा?

.....

4.4 प्रकाश का प्रकीर्णन (Scattering of Light):

जब प्रकाश की किरणें किसी खुरदरे पृष्ठ पर गिरती है तो परावर्तित किरणें विभिन्न दिशाओं में बिखर जाती है। इस घटना को प्रकाश का प्रकीर्णन कहते है। इस बिखरे प्रकाश या प्रकाश के प्रकीर्णन के कारण ही हमें कमरे में सभी वस्तुयें दिखाई देती है जबकि सूर्य की किरणें प्रत्यक्ष नहीं आती है।

4.4.1 प्रकाश प्रकीर्णन के अनुप्रयोग

(1) आकाश का रंग नीला दिखाई देना : सूर्य का प्रकाश सात रंगों से मिलकर बना होता है। जब सूर्य का प्रकाश धूल के कणों पर पड़ता है तो धूल के कण प्रकाश की कम तंरगदैर्ध्य की तरंगों का प्रकीर्णन कर देते है, परन्तु ये कण अधिक तरंगदैर्ध्य की तरंगों का प्रकीर्णन नहीं कर पाते है। अत: हमें आकाश का रंग नीला दिखाई देता है।

(2) सूर्योदय एवं सूर्यास्त पर आकाश का लाल दिखाई देना : लाल रंग की किरणों का प्रकीर्णन न होने से लाल रंग का प्रकाश अधिक मार्ग तय करता है अत: सूर्योदय एवं सूर्यास्त के समय आकाश लाल दिखाई देता है।

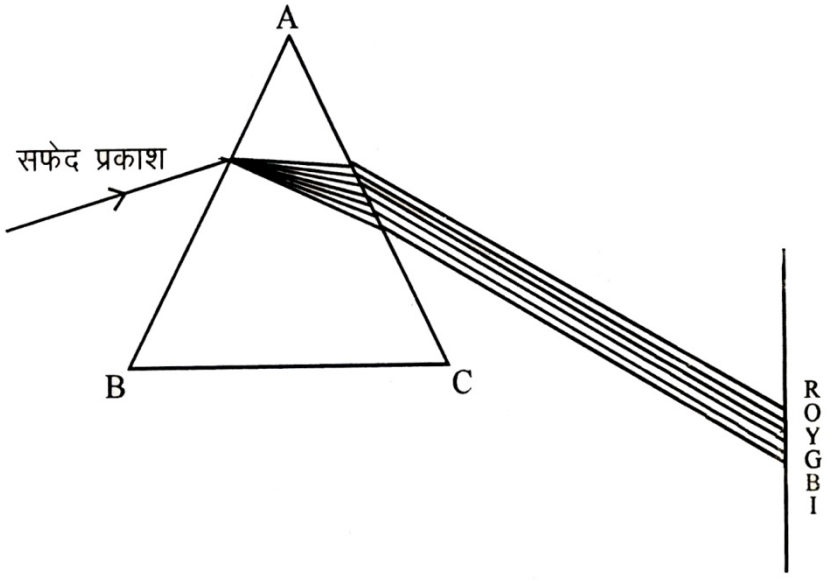
बोध प्रश्न

5. खतरे का निशान लाल रंग क्यों होता है?

.....

4.5 प्रकाश का विक्षेपण (Dispersion of Light):

जब मिश्रित प्रकाश की किरणें, प्रिज्म पर आपतित होती है तो प्रिज्म से अपवर्तन के पश्चात् अलग-अलग रंगों में विभक्त हो जाती है। प्रकाश की किरणों का इस प्रकार अलग-अलग रंगों में विभक्तीकरण की घटना का विक्षेपण कहते है। इस प्रकार प्राप्त रंगीन पट्टी को स्पैक्ट्रम कहते है। सूर्य के प्रकाश से प्राप्त रंगीन पट्टी में सात रंग होते है। ये सात रंग क्रमश: बैंगनी, नीला, आसमानी, हरा, पीला, नारंगी तथा लाल होते है।

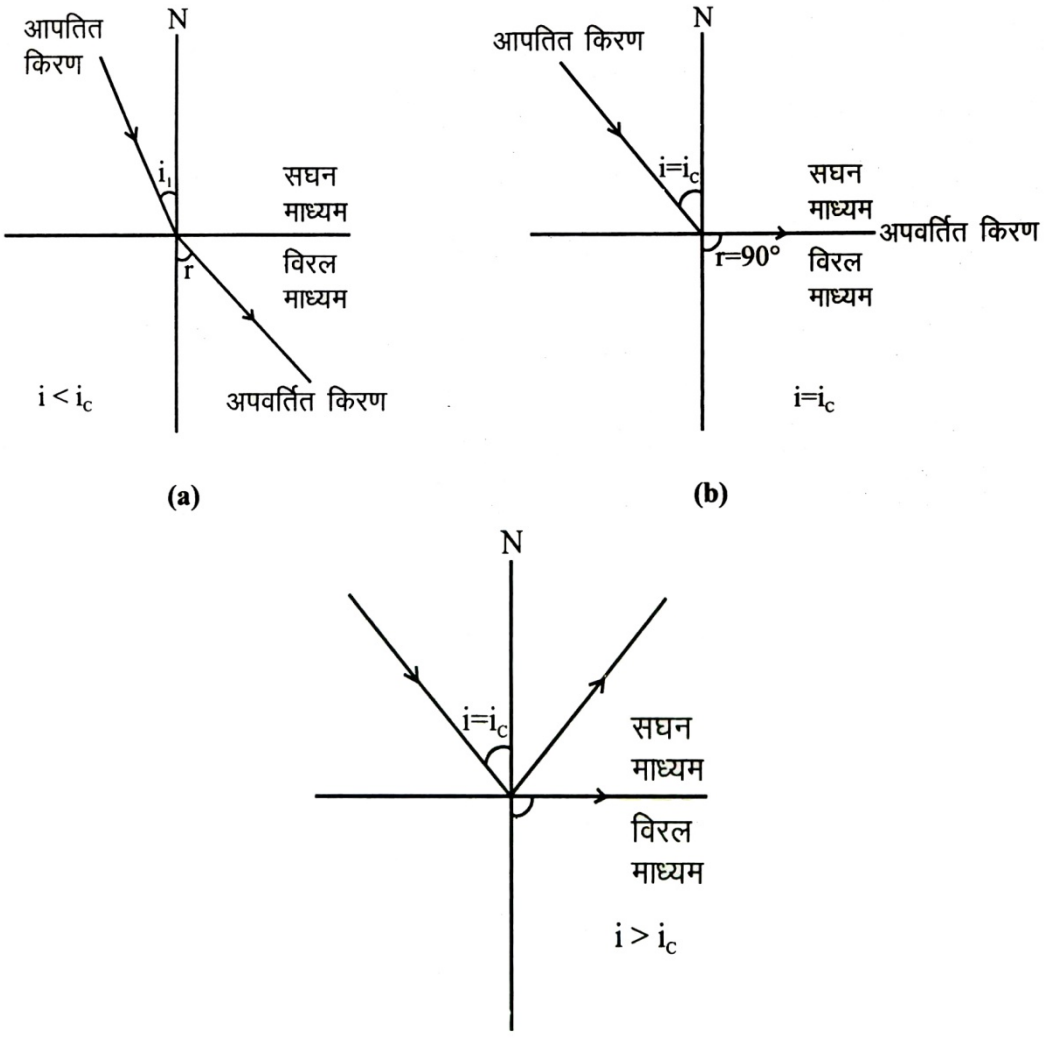


चित्र 4.4 - प्रिज्म द्वारा प्रकाश का विक्षेपण

स्पैक्ट्रम का जो भाग आँख से दिखाई देता है उसे दृश्य स्पैक्ट्रम कहते है। दृश्य स्पैक्ट्रम के लाल रंग एवं बैंगनी रंग से परे भी स्पैक्ट्रम का भाग होता है जो आँख से दिखायी नहीं देता इन्हें क्रमशः अवरक्त एवं पराबैंगनी स्पैक्ट्रम कहते है।

4.6 पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (Total Internal Reflection) :

जब प्रकाश किरण सघन माध्यम से विरल माध्यम में प्रवेश करती है तो किरण अभिलम्ब से परे हटती है। इस समय अपवर्तन कोण r का मान आपतन कोण i से अधिक होता है। आपतन कोण के मान में वृद्धि करने पर अपवर्तन कोण का मान भी बढ़ जाता है। यदि सघन माध्यम से आती प्रकाश किरण का आपतन कोण का मान बढ़ाते जाये तो एक स्थिति ऐसी आयेगी कि आपतन कोण i के लिये अपवर्तन कोण 90^0 का हो जायेगा अर्थात् अपवर्तित किरण दोनों माध्यमों को पृथक करने वाले तल के समान्तर चली जायेगी। इस स्थिति में आपतन कोण, क्रान्तिक कोण कहलाता है। इसे i_c से व्यक्त करते है।



चित्र 4.5 - पूर्ण आन्तरिक परावर्तन

अब यदि आपतन कोण के मान को क्रान्तिक कोण से भी अधिक बढ़ाया जाये तो प्रकाश किरण विरल माध्यम में न जाकर पुन: इसी माध्यम में लौट जाती है।

पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के लिये निम्न बातों का होना आवश्यक है

(i) प्रकाश किरण सघन माध्यम से विरल माध्यम की सीमा पर आपतित होनी चाहिये।

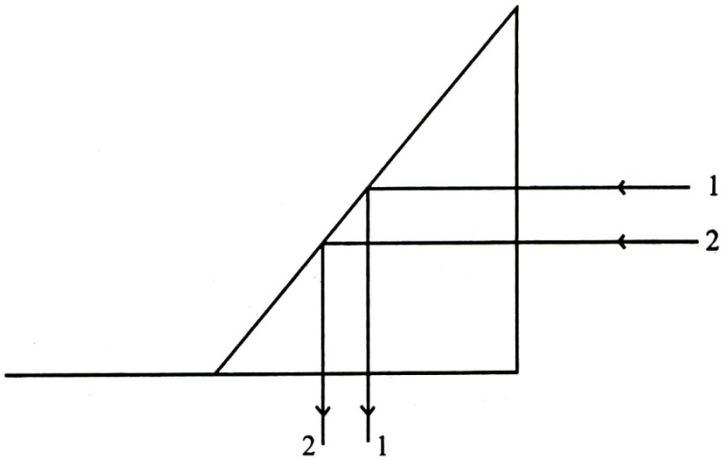
(ii) आपतन कोण क्रान्तिक कोण से अधिक होना चाहिये।

4.6.1 पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के कुछ उपयोग

(1) पूर्ण परावर्तन प्रिज्म (Total Reflection Prism)

साधारण परावर्तन के समय प्रकाश का कुछ भाग दर्पण के तल द्वारा अवशोषित हो जाता है। अत: अच्छे प्रकाश यंत्रों में प्रकाश की दिशा को मोड़ने के लिये सम्पूर्ण परावर्तन के सिद्धान्त का उपयोग किया जाता है। प्रकाश किरणों को इस प्रकार मोड़ने के लिये काँच के समकोण

समद्विबाहु प्रिज्म का उपयोग किया जाता है। काँच का हवा के सापेक्ष क्रान्तिक कोण 42^0 होता है।



चित्र 4.6 - पूर्ण परावर्तन प्रिज्म

समद्विबाहु समकोण प्रिज्म में एक कोण 90^0 का तथा शेष कोण 45^0 के होते है। ये सभी कोण क्रान्तिक कोण से अधिक है। चित्रानुसार किरणों का 90^0 से परावर्तन होता है। इस स्थिति में प्रतिबिम्ब उल्टा बनता है।

(2) (Mirage)

प्राय: रेगिस्तानी प्रदेशों में ग्रीष्म के दिनों में यात्रा करते हुये यात्रियों को ऐसा प्रतीत होता है कि सामने कही जलाशय है, यद्यपि वहाँ कहीं भी पानी नहीं होता है। इस भ्रम को मरीचिका का नाम दिया गया है। यह घटना पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के कारण होती है। दिन की तेज धूप में रेतीली भूमि व उसके आसपास ठण्डी रहती है। अर्थात् ऊपर की परतें नीचे की परतों की अपेक्षा अधिक सघन हो जाती है। सघनता के कारण ऊपरी परतों के माध्यम का अपवर्तनांक नीचे की परतों के सापेक्ष अधिक होता है।

दूर स्थित वृक्ष को देखते समय प्रकाश किरणें निरन्तर सघन माध्यम से विरल माध्यम में प्रवेश करती है अत: ये किरणें अभिलम्ब से दूर हटती जाती है तथा जब आपतन कोण क्रान्तिक कोण i_c से अधिक हो जाती है तो इनका पूर्ण आन्तरिक परावर्तन हो जाता है, तथा ये किरणें वृक्ष के विपरित दिशा में जाकर आँखों पर प्रतिबिम्ब बनाती है। यह प्रतिबिम्ब उल्टा बनता है। इसके साथ ही वृक्ष से आने वाली सीधी किरणें भी यात्री तक पहुँचती है, अत: यात्री को सीधा वृक्ष भी दिखाई देता है। इस प्रकार यात्री को भ्रम होता है कि वह दूर स्थित किसी जलाशय में वृक्ष का प्रतिबिम्ब देख रहा है। इसे मरीचिका कहते है।

बोध प्रश्न

6. बरसात के दिनों में इन्द्रधनुष बनने का क्या कारण है

   .....

7. पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के लिए क्या प्रतिबन्ध है?

   .....

4.7 लैन्स (Lenses) :

जब किसी पारदर्शक माध्यम को दो गोलीय तलों से सीमित कर देते है तो इस भाग को लैन्स कहते है।

लेन्स मुख्यत: दो प्रकार के होते है -

(i) उतल लेन्स (ii) अवतल लेन्स

उतल लेन्स, किनारों की अपेक्षा बीच में से मोटा होता है जबकि अवतल लेन्स, किनारों की अपेक्षा बीच में से पतला होता है। उतल लेन्स को अभिसारी लेन्स भी कहते है। इनका काम प्रकाश किरणों को अभिसारित करना है। अवतल लेन्स को अपसारी लेन्स भी कहते है। इनका काम प्रकाश किरणों को फैलाना है।

चित्र 4.7

4.7.1 लेन्स सम्बन्धी परिभाषायें

मुख्य अक्ष : लेन्स के गोलीय तलों के वक्रता केन्द्रों को मिलाने वाली रेखा को लेन्स का मुख्य अक्ष कहते है।

प्रकाश केन्द्र : यह बिन्दु लैन्स के मुख्य अक्ष पर स्थित बिन्दु है, जिसमें होकर जाने वाली प्रकाश किरणें अपवर्तन के पश्चात् अपनी प्रारम्भिक दिशा के समान्तर निकल कर लेन्स के बाहर आती है।

फोकस : प्रत्येक लेन्स में मुख्य अक्ष पर दो फोकस स्थित होते है -

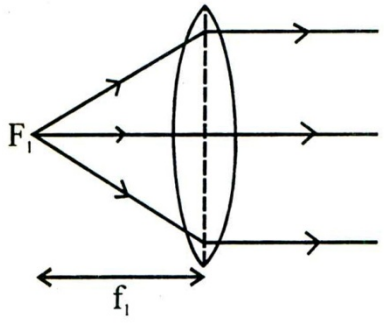
(i) प्रथम फोकस

उतल लेन्स के लिये मुख्य अक्ष पर स्थित वह बिन्दु जिससे चलने वाली प्रकाश किरणें लेन्स से निकलने के बाद मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती है उसे उतल लेन्स का प्रथम फोकस कहते है। इसे F_1 से प्रदर्शित करते है।

अवतल लेंस के लिये, मुख्य अक्ष पर स्थित वह बिन्दु जिस पर संसृत होने वाली प्रकाश किरणें लेन्स से अपवर्तन के बाद मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती है उसे अवतल लेन्स का प्रथम फोकस कहते है।

(ii) द्वितीय फोकस

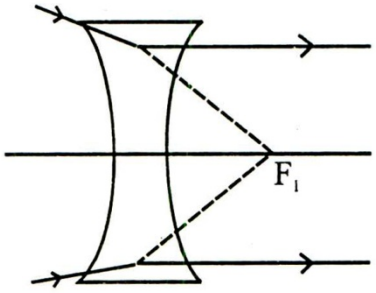
उतल लेन्स के लिये मुख्य अक्ष के समान्तर आने वाली प्रकाश किरणें लेन्स से निकलने के पश्चात् जिस बिन्दु पर लेंस के दूसरी ओर एकत्रित होती है या अवतल लेंस के लिये उस बिन्दु से फैलती हुयी प्रतीत होती है, उसे लेन्स का द्वितीय फोकस F_2 कहते है।



(उत्तल लैन्स के लिए प्रथम फोकस)

चित्र 4.8

उत्तल लैन्स के लिए प्रथम फोकस



(अवतल लैन्स के लिए प्रथम फोकस)

चित्र 4.9

अवतल लैन्स के लिए प्रथम फोकस

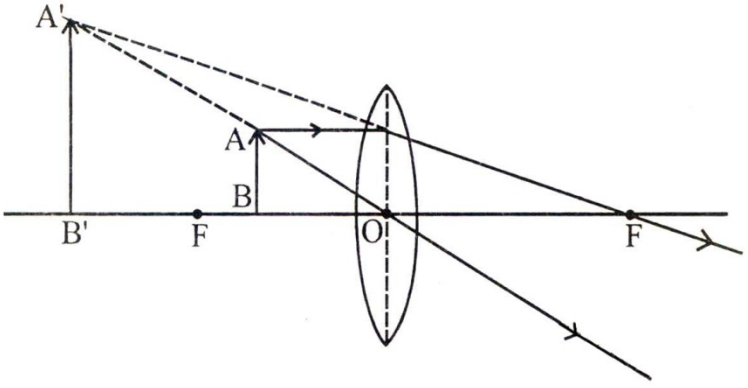
फोकस दूरी

अवतल या उतल लेन्स के कारण केन्द्र व द्वितीय फोकस के मध्य की दूरी को फोकस दूरी कहते है।

4.7.2 लेन्स के अनुप्रयोग

(i) साधारण सूक्ष्मदर्शी (Microscope) :

इसके लिये ऐसे उतल लेन्स का उपयोग किया जाता है जिसकी फोकस दूरी (2 cm से 10 cm) के मध्य होती है। इसमें वस्तु को प्रकाश केन्द्र तथा f के मध्य व्यवस्थित किया जाता है।



चित्र 4.10 - साधारण सूक्ष्मदर्शी का किरण चित्र

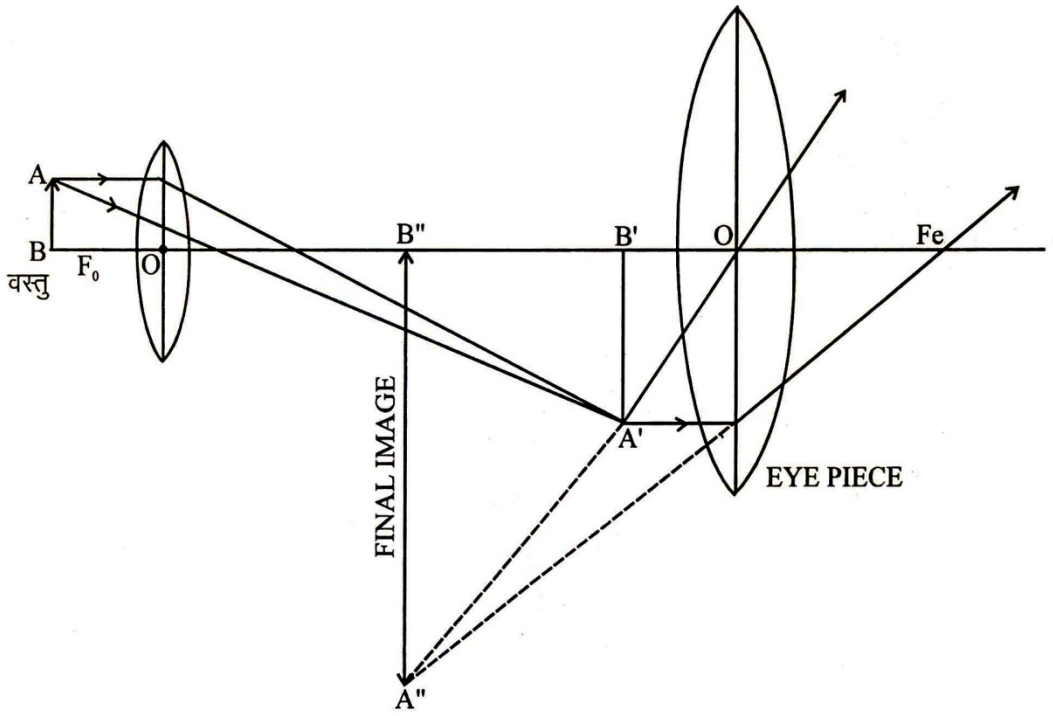
इससे प्रतिबिम्ब बड़ा, सीधा तथा लेन्स के उसी ओर बनता है जिस ओर वस्तु है।

(ii) संयुक्त सूक्ष्मदर्शी (Compound Microscope) :

इसका उपयोग बहुत छोटा वस्तुयें जैसे कोशिका, बैक्टीरिया, वाइरस इत्यादि को देखने के लिये किया जाता है।

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता 500 से 2000 के मध्य होती है।

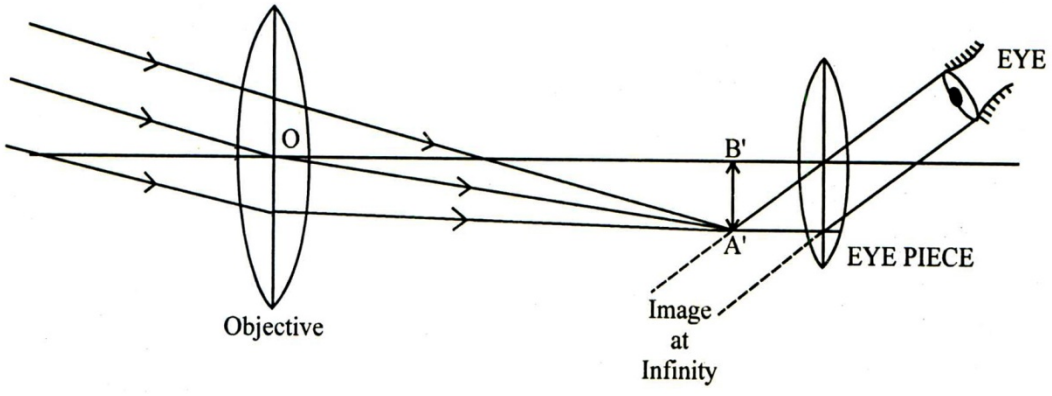
इसमें दो उतल लेन्स का उपयोग किया जाता है।



चित्र 4.11 - संयुक्त सूक्ष्मदर्शी का किरण चित्र

(iii) दूरदर्शी (Telescope) :

इसका उपयोग दूर स्थित वस्तुओं को स्पष्टतया देखने के लिये किया जाता है।



चित्र 4.12 - दूरदर्शी

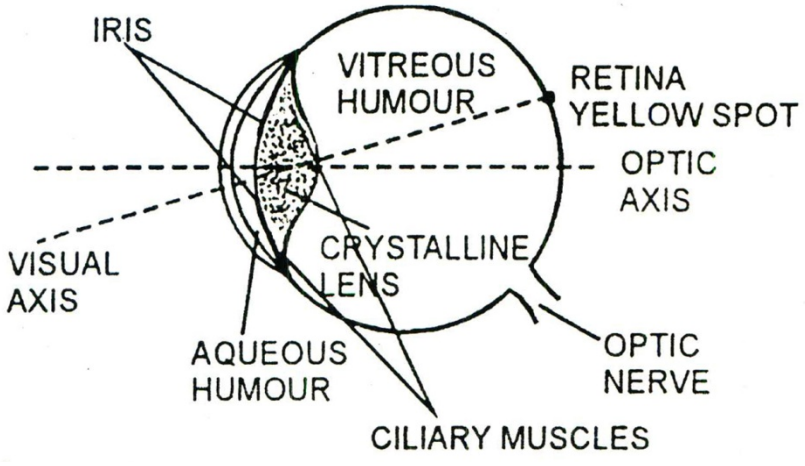
इसमें दो उतल लेन्सों का प्रयोग किया जाता है। वस्तु की ओर का उतल लेन्स बड़ी फोकस दूरी तथा बड़े द्वारक का होता है। नेत्र के पास का उतल लेन्स कम फोकस दूरी तथा छोटे द्वारक का

होता है। दोनों लेन्स धात्विक नलियों के सिरों पर होते है, नलियों को आगे पीछे खिसकाया जा सकता है। इससे प्राप्त अन्तिम प्रतिबिम्ब उल्टा बनता है।

4.8 मानव नेत्र की संरचना (Structure of Human Eye) :

नेत्र एक अत्यन्त संवेदनशील प्रकाशीय उपकरण है जो फोटोग्राफिक कैमरे की तरह व्यवहार करता है।

नेत्र लगभग एक गोलीय गेंद की तरह होती है जिसका व्यास लगभग 2.5 cm होता है। नेत्र का गोला बाहर से एक दृढ़ व अपारदर्शी श्वेत पर्त से ढका होता है, जिसे दृढ़ पटल कहते है। गोले के सामने का भाग कुछ उभरा हुआ व पारदर्शक होता है, इसे कोर्निया कहते है। नेत्र में आयरिश (आँख का उपतारा) के पीछे एक मोटा उतल लेंस होता है, इसे नेत्र लेन्स कहते है यह मांसपेशियों की सहायता से अपने निश्चित स्थान पर टिका रहता है। मांसपेशियों के दबाव या तनाव से इस लेन्स की फोकस दूरी को बदला जा सकता है। कोर्निया तथा लेन्स के संयुक्त प्रभाव से वस्तु का छोटा, उल्टा व वास्तविक प्रतिबिम्ब रेटिना पर बनता है। मस्तिष्क की यह विशेषता होती है कि रेटिना पर बने प्रतिबिम्ब को उल्टा करते बताता है अत: रेटिना पर बने उल्टे प्रतिबिम्ब को मस्तिष्क सीधा बतायेगा।



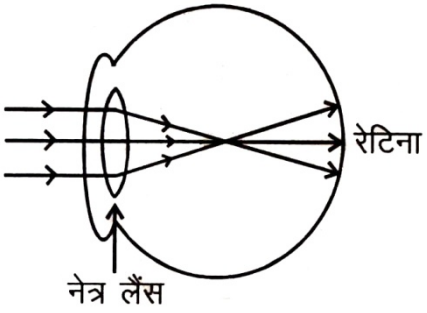
चित्र 4.13 - आँख की संरचना

4.9 मानव नेत्र में दोष

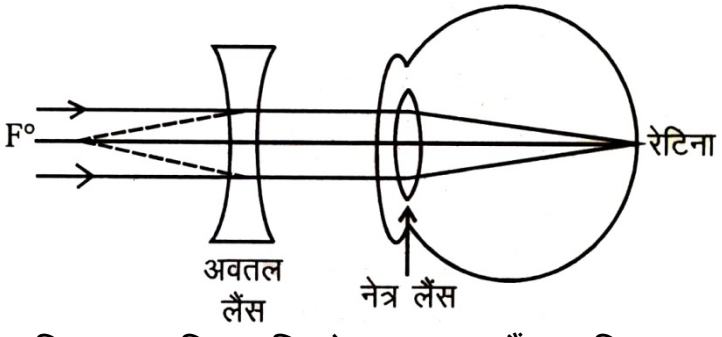
नेत्र में मुख्यतया: दो प्रकाश के दोष होते है,

(A) निकट दृष्टि दोष (Myopia)

इस दोष से पीड़ित व्यक्ति निकट की वस्तुओं को साफ देख सकता है परन्तु एक निश्चित दूरी से अधिक दूरी पर स्थित वस्तुओं को साफ नहीं देख सकता है अर्थात् नेत्र का दूर बिन्दु अनन्त पर न होकर कम दूरी पर आ जाता है। नेत्र के इस दोष से नेत्र लेन्स की फोकस दूरी घट जाती है। इस दोष के निवारण के लिये अवतल लेन्स का उपयोग करते है।



चित्र 4.14 - निकट दृष्टि दोष से पीड़ित आँख

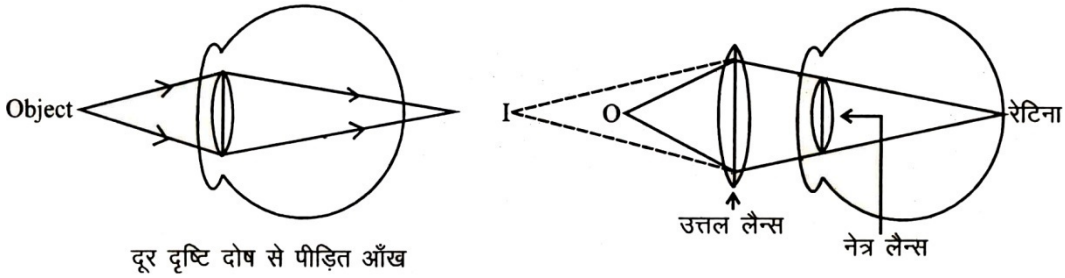


चित्र 4.15 - निकट दृष्टि दोष का अवतल लैंस का निवारण

(B) दूर दृष्टि दोष (Hypermetropia)

इस दोष से पीड़ित व्यक्ति को दूर की वस्तुयें तो स्पष्ट दिखाई देती है परन्तु पास की वस्तुयें साफ दिखाई नहीं देती है। इस दोष से पीड़ित नेत्र में पास स्थित वस्तु का प्रतिबिम्ब रेटिना के पीछे बनता है। इस दोष के निवारण के लिये उतल लेन्स का प्रयोग किया जाता है।

दूर दृष्टि दोष से पीड़ित आँखदूर दृष्टि दोष का उत्तल लैंस से निवारण



दूर दृष्टि दोष से पीड़ित आँख

दूर दृष्टि दोष का उत्तल लैंस से निवारण

(a) **(b)**

चित्र 4.16

बोध प्रश्न

8. दूर दृष्टि व निकट दृष्टि दोष से पीड़ित व्यक्ति को किस प्रकार के लेंस का उपयोग करना चाहिए।

.....

4.10 सारांश (Summary) :

- दो माध्यमों को पृथक करने वाले पृष्ठ पर प्रकाश का विचलन, अपवर्तन कहलाता है।
- आकाश का रंग नीला होना प्रकीर्णन का उदाहरण है।
- विक्षेपण के कारण प्रिज्म से अपवर्तित प्रकाश विभिन्न रंगों में विभक्त हो जाता है।
- हीरे का चमकना, पूर्ण आन्तरिक परावर्तन पर आधारित है।
- साधारण सूक्ष्मदर्शी एक कम दूरी पर उतल लेन्स होता है।
- दूरदर्शी में दो उतल लेन्स होते है एक ही फोकस दूरी अधिक होती है जिसे अभिदृश्यक कहते हैं, दूसरे उतल लेन्स की फोकस दूरी कम होती है जिसे अभिनेत्र लेन्स कहते है।
- मानव नेत्र एक कैमरे की तरह व्यवहार करती है जिसमें एक तरफ लेन्स तथा दूसरी तरफ संवेदनशील पर्दा रेटिना होता है।

4.11 शब्दावली :

1) तरंगदैर्ध्य - किसी तरंग की दोश्रृगों अथवा दो गर्तो के मध्य दूरी
2) मरिचिका - रेगिस्तान में दिखने वाला काल्पनिक जलाशय
3) अभिसारी - प्रकाश तरंगों का किसी बिन्दु पर एकत्रित होना
4) अपसारी - प्रकाश तरंगों का फैलाव
5) आवर्धन - बड़ा प्रतिबिम्ब

4.12 संदर्भ ग्रन्थ (Reference Books) :

1) OPTICALS: अजय घटक
2) A Text Book of Optics : N. Subrahmanyam, Brij Lal.

4.13 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer of SAQ's) :

1. परावर्तन कोण $\angle r = 0 \because \angle i = \angle r$
2. प्रकाश का वेग विभिन्न माध्यमों में अलग-अलग होना।
3. μ (हीरा) $= \frac{\text{प्रकाश का निर्वात में वेग}}{\text{प्रकाश का हीरे में वेग}}$

   $\Rightarrow$ प्रकाश का हीरे में वेग$= \frac{\text{प्रकाश का निर्वात में वेग}}{\mu}$

$$= \frac{3 \times 10^8}{2.5}$$
$$= 1.4 \times 10^8 m/s$$

4. वायु में
5. लाल रंग का प्रकीर्णन सबसे कम होता है जिससे लाल रंग का प्रकाश अधिक मार्ग तय करता है। इसलिए खतरे का निशान लाल रंग होता है ताकि वह दूर से दिखाई दें।
6. बरसात की बूंदों द्वारा प्रकाश का विक्षेपण।
7. आपतण कोण का मान, क्रान्तिक कोण से अधिक होना चाहिए।
8. दूरदृष्टि दोष के लिए उत्तल लेन्स
   निकट दृष्टि दोष के लिए अवतल लेन्स

4.14 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question) :

1. अवतल लैंस होता है-
   (a) अपसारित (b) अभिसारित
   (c) अपसारित व अभिसारित (d) न अपसारित न अभिसारित

2. इन्द्रधनुष बनने का कारण है :
   (a) अपवर्तन (b) परावर्तन
   (c) पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (d) विक्षेपण

3. स्नैल के नियमानुसार अपवर्तनांक बराबर होता है :
   (a) $\frac{Sini}{Sinr}$ (b) $\frac{Sini}{Cosr}$
   (c) $\frac{Cosi}{Cosr}$ (d) $\frac{Cosi}{Sinr}$

रिक्त स्थानों की पूर्ति करो -

1. प्रकाश का वेग..... में अधिकतम होता है।
2. जब प्रकाश की किरण अभिलम्बवत् आपतित होती है तो आपतन कोण..... होता है।
3. सफेद प्रकाश के स्पैक्ट्रम में..... रंग होते है।
4. उत्तल लेन्स को..... लेन्स भी कहते है।
5. निकट दोष से पीड़ित व्यक्ति..... की वस्तुयें नहीं देख पाता है।

प्रश्न-

1. प्रकाश के अपवर्तन से आप क्या समझते है। एक उदाहरण दीजिये।
2. स्नैल के नियम का कथन लिखो।
3. दूरदर्शी क्या होता है? दूरदर्शी का किरण चित्र बनाइये।
4. आँख की संरचना का वर्णन कीजिए। नेत्र दोष क्या होते है तथा इनका निवारण किस प्रकार किया जाता है।
5. पूर्ण आन्तरिक परावर्तन क्या होता है। इसका उपयोग करते हुए मरिचिका को समझाइये।

इकाई 5

विद्युत चुम्बकीय बल

ELECTO-MAGNETIC FORCE

रूपरेखा

5.0 उद्देश्य (Object)

5.1 प्रस्तावना (Introduction)

5.2 कूलॉम का नियम (Coulomb's Law)

5.3 सतत् आवेश वितरण (Continuous Charge Distribution)

5.3.1 रैखिक आवेश वितरण (Linear Charge Distribution)

5.3.2 पृष्ठ आवेश वितरण (Surface Charge Distribution)

5.3.3 आयतन आवेश वितरण (Volume Charge Distribution)

5.4 विद्युत क्षेत्र एवं विद्युत विभव (Electric Field & Electric Potential)

5.5 विद्युत स्थितिज ऊर्जा (Electric Potential Energy)

5.6 विद्युत धारिता (Electrical Capacitance)

5.6.1 संधारित्र का सिद्धान्त (Principle of Capacitor)

5.6.2 समान्तर प्लेट संधारित्र (Parallel Plate Capacitor)

5.7 चुम्बकीय क्षेत्र तथा चुम्बकीय बल (Magnetic Field & Magnetic Force)

5.8 ओर्स्टेड प्रयोग (Oersted Experiment)

5.9 बायो-सावर्ट का नियम (Bio-Savart's Law)

5.10 सीधे और लम्बे धारावाही चालक के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field due to Long & Straight Current Carrying Conductor)

5.11 एम्पियर का नियम (Ampere's Law)

5.12 फैराडे व लैन्ज का नियम (Farade's & Lenz's Law)

5.13 स्वप्रेरकत्व (Self Inductance)

5.14 सारांश (Summary)

5.15 संदर्भ ग्रन्थ (Reference Books)

5.16 शब्दावली (Glossary)

5.17 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer of SAQ's)

5.18 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question)

5.0 उद्देश्य (Objects) :

समस्त पदार्थ कुछ मूल कणों (Elementary Particle) जैसे इलेक्ट्रॉनों, प्रोटोनों तथा न्यूट्रोन से बने होते है। द्रव्यमान (mass) की भांति विद्युत आवेश भी कुछ मूल कणों का आधारभूत गुण

है। वर्तमान में स्थिर विद्युतिकी के बहुत सारे औद्योगिक अनुप्रयोग विकसित हुए है। उदाहरण के लिए : स्थित वैद्युत अवक्षेपण (Electrostatic Precipitation), स्थित वैद्युत स्मृति (Electrostatic Memory) स्थिर वैद्युत वायु प्रतिदर्शित्र (Electrostatic Air Sampler), स्थिर वैद्युत भूकंप लेखी (Electrostatic Seismograph), आदि। इस अध्याय में हम आवेशों, उनसे सम्बन्धित नियमों, विद्युत क्षेत्र, चुम्बकीय क्षेत्र व इनके अनुप्रयोगों पर चर्चा करेंगे।

5.1 प्रस्तावना (Introduction) :

स्थिर विद्युतिकी में आवेश की उत्पत्ति, वस्तुओं के मध्य इलेक्ट्रॉनों के स्थानान्तरण से सम्बन्धित है। हम जानते है कि प्रत्येक पदार्थ के परमाणु में नाभिक के चारों ओर ऋण आवेशित कण (इलेक्ट्रॉन) विभिन्न कक्षाओं में घुमतें रहते है। जब दो कुचालक पदार्थो की बनी वस्तुओं को आपस में रगड़ा जाता है तो इस प्रक्रिया में निकाय को ऊर्जा प्राप्त होती है। यह ऊर्जा इलेक्ट्रॉनों को एक वस्तु से दूसरी पर स्थानान्तरित करने में सहायक होती है। स्थिर अवस्था में इस प्रक्रिया से आवेश उत्पन्न किये जाते है। आवेश दो प्रकार के होते है धनात्मक आवेश और ऋणात्मक आवेश। समान प्रकृति के आवेश एक दूसरे को प्रतिकर्षित तथा असमान प्रकृति के आवेश एक दूसरे को आकर्षित करते है। आवेश हमेशा विविक्त बण्डलों (Discrete Packets) में ही पाया जाता है अर्थात् आवेश हमेशा इलेक्ट्रॉन या प्रोटॉन के आवेश (1.6×10^{-19} कूलॉम) या पूर्णांक गुणज होता है। आवेश को न तो उत्पन्न किया जा सकता है और न ही नष्ट। आवेशों को एक वस्तु से दूसरी पर स्थानान्तरित करके वस्तुओं को आवेशित किया जाता है। इससे आवेशों के उत्पन्न होने का आभास होता है जो कि सत्य नहीं है। इससे आवेशों के उत्पन्न होने का आभास होता है जो कि सत्य नहीं है। इस नियम को आवेश संरक्षण का नियम कहते है।

5.2 कूलॉम का नियम (Coulomb's) :

जब एक आवेश को दूसरे आवेश के पास रखा जाता है, तो उन पर बल कार्य करता है। कूलॉम के अनुसार दो बिन्दुवत् आवेशों में अन्योन्य क्रिया के कारण लगने वाला बल

(i) उन आवेशों के मानों के गुणनफल के समानुपाती होता है।

(ii) उन आवेशों के मध्य दूरी के वर्ग के प्रतिलोमानुपाती होता है।

(iii) बल हमेशा दोनों आवेशों को मिलाने वाली रेखा के अनुदिश होता है।

यदि दो बिन्दुवत् आवेश q_1 व q_2, निर्वात में दूरी पर रखें हो तो कूलॉम के नियमानुसार उनके बीच लगने वाला बल F होगा,

$$\vec{F} \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

या

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

यहाँ k एक स्थिर विद्युतिकी नियतांक (Electrostatic-Constant) है तथा इसका मान विभिन्न इकाई पद्धतियों में अलग-अलग होता है। मी.कि.से. तथा SI में निर्वात के लिए इसका मान,

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9 \frac{\text{न्यूटन/मीटर}^2}{\text{न्यूटनमीटर}^2}$$ होता है।

यहाँ ε_0 निर्वात का परावैद्युतांक या उसकी विद्युतशीलता (Permittivity space) है तथा जिसका मान 8.854×10^{-12} कूलॉम ^{2}/न्यूटन-मीटर^2 होता है।

विशेष

(i) कूलॉम के नियम की वैद्यता के लिए आवश्यक है कि आवेश स्थिर हो तथा बिन्दुवत् हों।

(ii) कूलॉम का नियम न्यूटन के गति के तृतीय नियम की अनुपालना करता है अर्थात् q_1 आवेश पर q_2, आवेश के कारण तथा q_2 आवेश पर q_1 आवेश के कारण लगने वाला बल, परिमाण में समान होते है तथा विपरीत दिशा में कार्य करते है। $i.e\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{21}$

(iii) कूलॉम का नियम केन्द्रीय बलों का निरूपित करता है।

(iv) कूलॉम के नियम की स्थिर विद्युतिकी में वही भूमिका है जो गुरुत्वाकर्षण भौतिकी में न्यूटन के नियम की। आवेश एवं द्रव्यमान इन नियमों के संगत राशियां है।

(v) कूलॉम का नियम 10^{-15} मीटर से अनन्त दूरियों के लिए लागू रहता है।

बोध प्रश्न

1. विद्युत आवेश के मुख्य गुणधर्म कौन-कौन से है?

   .....

2. क्या विद्युत आवेश संरक्षण नियम का पालन करता है?

   .....

3. यदि दो स्थिर आवेशों के मध्य की दूरी आधी कर दी जाये तो उनके मध्य बल पर क्या प्रभाव होगा?

   .....

उदाहरण : 1 एक पॉलीथीन के टुकड़े को ऊन से रगड़ने पर, ऊन पर $3\times10^{-7}C$ ऋण आवेश आ जाता है। इस प्रक्रिया में कितने इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरित हुए? क्या इसमें द्रव्यमान भी स्थानान्तरित होता है?

हल :

आवेश $q = -3\times10^{-7}C = ne$ ($\because$ आवेश हमेशा e का पूर्ण गुणज होता है)

अत: $$n = \frac{q}{e}$$

$$= \frac{-3\times10^{-7}}{-1.6\times10^{-19}}$$

$$= 1.875\times10^{12}$$

हम जानते है कि इलेक्ट्रॉनों का द्रव्यमान $9.1\times10^{-31}kg$ होता है।

इस प्रक्रिया में ऊन पर इलेक्ट्रॉनों की संख्या में वृद्धि होती है अत: उसके द्रव्यमान में भी वृद्धि होगी। द्रव्यमान में वृद्धि यदि Δm है तो

$$\Delta m = nm_e$$

$$\text{या } \Delta m = 1.875\times10^{12}\times9.1\times10^{-31}$$

$$= 1.7\times10^{-18}\ \text{kg}$$

5.3 सतत् आवेश वितरण (Continuous Charge Distribution) :

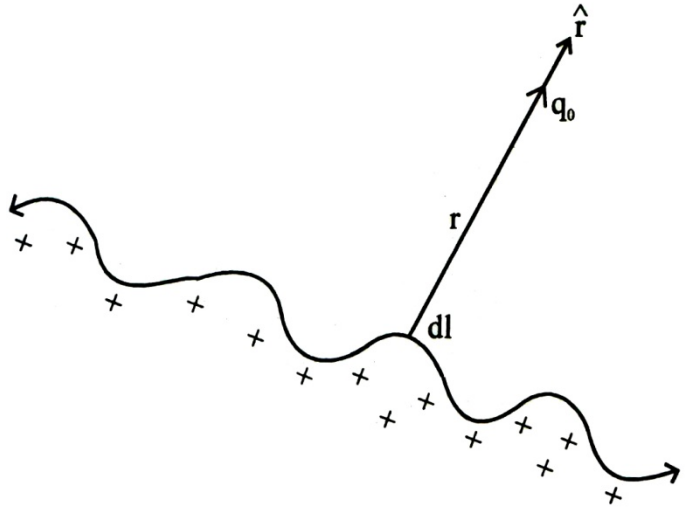
हम जानते है कि विद्युत आवेश क्वांन्टीकृत रूप में ही उपलब्ध होता है। न्यूनतम उपलब्ध आवेश $\pm e$, इलेक्ट्रॉन / प्रोटॉन पर आवेश के बराबर होता है। आवेश जिसका फैलाव बहुत छोटे क्षेत्रफल में हो तथा इस क्षेत्रफल की विमा, प्रेक्षण बिन्दु से दूरी की तुलना में बहुत कम हो तो उसे बिन्दु आवेश लिया जा सकता है।

ऐसा निकाय जिसमें आवेश नजदीक रखे हों, सतत् आवेश वितरण कहलाता है। सतत् आवेश वितरण से अभिप्राय है कि विविक्त आवेशों का वितरण सतत् है। आवेशों के मध्य दूरी बहुत कम है। अनेक परिस्थितियों में आवेश को किसी सतत् रूप से वितरित करना सुविधाजनक पाया जाता है। सतत् आवेश वितरण तीन प्रकार से हो सकता है -

5.3.1 रैखिक आवेश वितरण (Linear Charge Distribution)

जब आवेश समान रूप से एक रेखा पर वितरित होता है तो इसे रैखिक आवेश कहते है। रैखिक आवेश घनत्व अर्थात आवेश प्रति इकाई लम्बाई को λ से व्यक्त करते है।

अतः $\lambda = \frac{dq}{dl}\ \frac{\text{कूलॉम}}{\text{मीटर}}$



चित्र 5.1 - रैखिक आवेश वितरण के कारण परीक्षण आवेश पर बल

रैखिक आवेश वितरण में परीक्षण आवेश q_0 पर लगने वाला कुल बल F का मान ज्ञात करने के लिए रैखिक आवेश के छोटे से भाग dl जिस पर आवेश dq है, पर ध्यान केन्द्रित करते है।
इस छोटे से भाग पर आवेश $dq = \lambda.dl$ के कारण परीक्षण आवेश q_0 पर लगने वाला बल होगा-

$$dF = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\hat{r}$$

या $$dF = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda dl}{r^2}\hat{r}$$

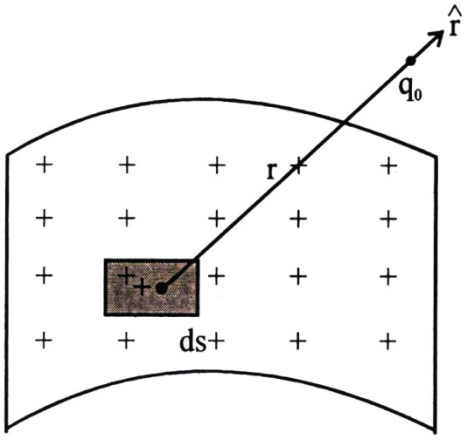
इस प्रकार रैखिक आवेश के सभी छोटे भागों के कारण परीक्षण आवेश पर बलों का सदिश योग, रैखिक आवेश के कारण कुल बल $\vec{F}$ के बराबर होगा।

अर्थात् $$\vec{F} = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\lambda}{r^2}\hat{r}dl$$

5.3.2 पृष्ठ आवेश वितरण (Surface Charge Distribution)

जब आवेश समान रूप से किसी क्षेत्रफल में वितरित हो तो इसे पृष्ठ आवेश वितरण कहते है। पृष्ठ आवेश घनत्व अर्थात् आवेश प्रति इकाई क्षेत्रफल को σ द्वारा प्रदर्शित करते है।

$$\sigma = \frac{dq}{ds}\frac{\text{कूलॉम}}{\text{मीटर}^2}$$



चित्र 5.2 - पृष्ठ आवेश वितरण के कारण परीक्षण आवेश पर बल

पृष्ठ आवेश वितरण में परीक्षण आवेश q_0 पर लगने वाला कुल बल F का मान ज्ञात करने के लिए पृष्ठ आवेश के छोटे से भाग ds जिस पर आवेश dq है, पर ध्यान केन्द्रित करते है।
इस छोटे से भाग पर आवेश $dq = \sigma.ds$ के कारण परीक्षण आवेश q_0 पर लगने वाला बल होगा-

$$dF = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\hat{r}$$

या $$dF = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma.ds}{r^2}\hat{r}$$

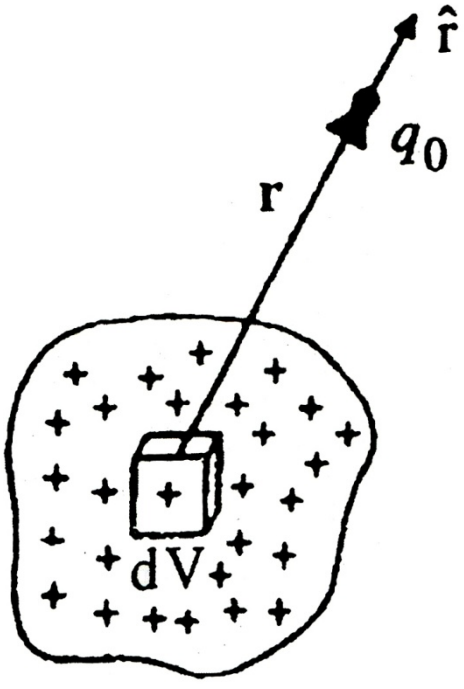
अत: पृष्ठ आवेश के कारण परीक्षण आवेश पर लगने वाला कुल बल

$$\vec{F} = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\sigma.ds}{r^2}\hat{r}$$

5.3.3 आयतन आवेश वितरण (Volume Charge Distribution)

जब आवेश समान रूप से किसी आयतन में वितरित हो तो उसे आयतन आवेश वितरण कहते है। आयतन आवेश घनत्व अर्थात् प्रति इकाई आयतन को ρ द्वारा व्यक्त करते है।

$$\rho = \frac{dq}{dv}\frac{\text{कूलॉम}}{\text{मीटर}^3}$$



चित्र 5.3 - आयतन आवेश वितरण के कारण परीक्षण आवेश पर बल

आयतन आवेश वितरण के कारण परीक्षण आवेश q_0 पर लगने वाले कुल बल को निम्न प्रकार लिखा जा सकता है।

$$\vec{F} = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{\rho}{r^2}\hat{r}dv$$

5.4 विद्युत क्षेत्र एवं विद्युत विभव (Electric Field and Electric Potential) :

प्रत्येक आवेश के चारों ओर आकाश में ऐसा क्षेत्र, जिसमें अन्य आवेश को रखने पर वह बल का अनुभव करता है तो उस क्षेत्र को विद्युत क्षेत्र कहते है। यदि आकाश में स्थिति बिन्दुओं पर विद्युत क्षेत्र का मान समय के साथ परिवर्तित हो तो उसे परिवर्तित विद्युत क्षेत्र कहते है। यदि

विद्युत क्षेत्र का मान आकाश में स्थित बिन्दुओं पर समय के साथ नियत बना रहे तो उसे अपरिवर्तित विद्युत क्षेत्र कहते है।

विद्युत क्षेत्र के किसी बिन्दु पर यदि परीक्षण धन आवेश q_0 रखें तथा इस पर लगने वाला बल $\vec{F}$ हो तो उस बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र की तीव्रता $\vec{E}$ को निम्न प्रकार परिभाषित किया जाता है।

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

यदि $q_0 = 1$ कूलॉम तब $\vec{E} = \vec{F}$

अर्थात् विद्युत क्षेत्र के किसी बिन्दु पर एकांक धन आवेश पर कार्यरत वैद्युत बल, उस बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र की तीव्रता कहलाता है। उस बिन्दु पर तीव्रता की दिशा वह होगी जिसमें मुक्त धन आवेश क्षेत्र में चलने का प्रयत्न करता है।

"'किसी बिन्दु पर विद्युत विभव v वह विद्युत राशि है जिसकी किसी दिशा में दूरी के साथ बदलने की ऋणात्मक दर उस बिन्दु पर उस दिशा में विद्युत क्षेत्र की तीव्रता $\vec{E}$ बतलाती है।"

अर्थात $\vec{E} = -\frac{dv}{dr}$

यहाँ ऋण चिन्ह का अभिप्राय है कि विद्युत क्षेत्र की दिशा, विभव प्रवणता के घटने की दिशा में होती है।

आवेशों के कारण उत्पन्न विद्युत क्षेत्र एक संरक्षी क्षेत्र होता है अर्थात् किन्हीं दो बिन्दुओं A तथा B के मध्य क्षेत्र का रेखा समाकल सिर्फ इन बिन्दुओं की स्थिति पर निर्भर करता है तथा उसके लिए प्रयुक्त पथ पर निर्भर नहीं करता है।

अत: $\int_A^B E.dl$ किसी भी पथ के लिए समान होता है।

5.5 विद्युत स्थितिज ऊर्जा (Electric Potential Energy) :

विद्युत क्षेत्र में स्थिति के कारण बिन्दु आवेशों द्वारा संचित ऊर्जा को विद्युत स्थितिज ऊर्जा कहते है। यदि दो आवेश q_1 तथा q_2 एक दूसरे से r दूरी पर स्थित हो तो वे एक दूसरे के विद्युत क्षेत्र में है। उनके मध्य विद्युत स्थितिज ऊर्जा का मान, किसी एक आवेश के विद्युत क्षेत्र में दूसरे आवेश को अनन्त से पहले आवेश से r दूरी तक लाने में विद्युत बल के विरूद्ध किये गये कार्य के बराबर होगा। इस कार्य को उन आवेशों के बीच विद्युत स्थितिज ऊर्जा कहते है।

यदि आवेश q_1 के कारण, उससे r दूरी पर विद्युत विभव का मान V हो तो इकाई धनावेश को अनन्त से उस बिन्दु तक लाने में किये गये कार्य का मान V के बराबर होगा अर्थात् इकाई आवेश पर किया गया कार्य

$$W = V = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad \text{.....(i).}$$

अब यदि इकाई धनावेश के बजाय q_2 आवेश को अनन्त से q_1 आवेश से r दूरी तक लाये तो इस प्रक्रिया में किया गया कार्य

$$W^1 = q_2 \times V$$

$$= q_2 \times \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r} \text{ (समी. (i) से मान रखने पर)}$$

$$= \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

इस कार्य में व्यय की गई ऊर्जा आवेशों के मध्य विद्युत स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाती है।

अत: विद्युत स्थितिज ऊर्जा = विद्युत विभाग × आवेश

यदि विद्युत स्थितिज ऊर्जा धनात्मक है तो आवेशों को एक दूसरे से दूर ले जाने में बाहरी ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती है। यदि विद्युत स्थितिज ऊर्जा ऋणात्मक है तो आवेशों को एक दूसरे से दूर ले जाने के लिए बाहरी ऊर्जा की आवश्यकता होती है।

5.6 विद्युत धारिता (Electrical Capacitance) :

किसी चालक की विद्युत धारिता उसके द्वारा आवेश संग्रह करने की क्षमता का माप होती है। जब धातु की रोधी प्लेट (Insulated Plate) को कोई आवेश q दिया जाता है तो उसका विभव भी उसी अनुपात में बढ़ जाता है। यदि किसी समय चालक पर आवेश q तथा चालक पर विभव v है तो

$$v \alpha q \text{ या } q \alpha v$$

या $$q = cv \quad \text{.....(i)}$$

यहाँ c एक समानुपाती नियतांक है जिसे चालक की धारिता कहते है। नियतांक c का मान चालक के आकार, क्षेत्रफल तथा उसके चारों ओर के माध्यम पर निर्भर करता है। नियतांक c का मान चालक पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर नहीं करता है।

यदि $v = 1$ तब $c = q$

अर्थात् किसी चालक की धारिता आवेश की उस मात्रा के बराबर होती है जो उस चालक का विभव एकांक इकाई बढ़ा देता है।

$S.I.$ पद्धति में धारिता c का मात्रक फैरड़ होता है।

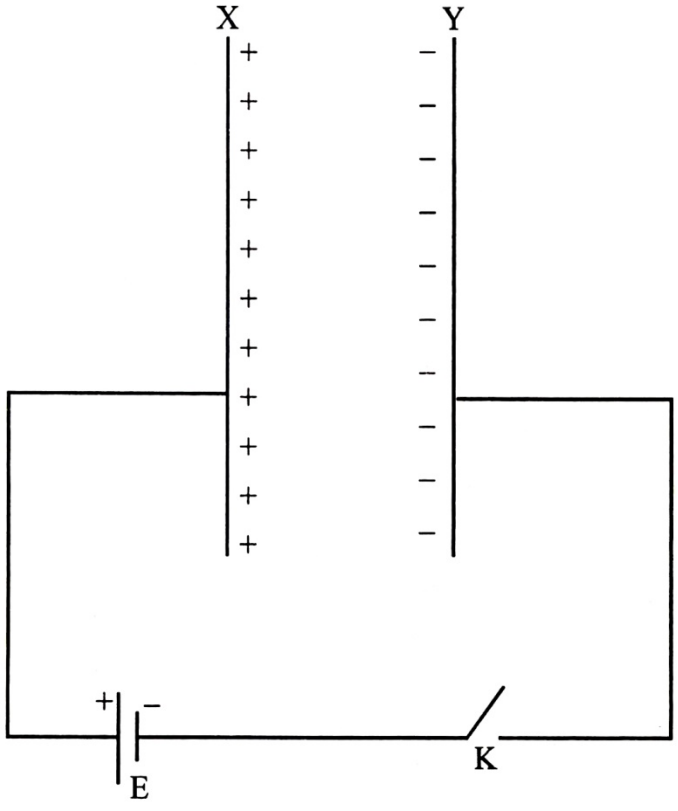
5.6.1 संधारित्र का सिद्धान्त (Principle of a Capacitor)

चूंकि चालक की धारिता उसकी आकृति, आकार, समीपवर्ती माध्यम और उसके निकट किसी दूसरे चालक की उपस्थिति पर निर्भर करती है। इन सभी बातों को ध्यान में रखकर ऐसा प्रबन्ध कर सकते है कि चालक की धारिता अधिक से अधिक हो जाये। इस प्रकार के उच्च धारिता के संयोजनों के कई उपयोग होते है तथा इन्हें संधारित्र (Capacitance) कहते है।

"आवेशित चालक के पास यदि कोई दूसरा चालक रखा जाता है जिसका सम्पर्क पृथ्वी से हो तो पहले चालक की धारिता बहुत अधिक बढ़ जाती है।" यह संधारित्र का सिद्धान्त है।

5.6.2 समान्तर प्लेट संधारित्र (Parallel Plate Capacitor)

यदि एक धातु की प्लेट X को किसी दूसरी धातु की प्लेट Y के समीप, चित्रानुसार रखें तो यह एक संधारित्र बन जाता है। इसे समान्तर प्लेट संधारित्र कहते है। X प्लेट को किसी विभव स्रोत के धनात्मक ध्रुव से तथा Y प्लेट को ऋणात्मक ध्रुव से जोड़ देते है। इस प्रकार संधारित्र की धारिता बहुत बढ़ जाती है क्योंकि Y प्लेट पर मौजूद ऋण आवेश X के विभव को कम कर देता है।



चित्र 5 4 समान्तर प्लेट संधारित्र

माना समान्तर प्लेट संधारित्र की एक प्लेट पर $+q$ एवं दूसरी प्लेट पर $-q$ आवेश है। इन समान क्षेत्रफल की प्लेटों का क्षेत्रफल A एवं उनके मध्य की दूरी d है। इन आवेशित प्लेटों विद्युत क्षेत्र की तीव्रता को निम्न प्रकार व्यक्त किया जा सकता है -

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{q}{A\varepsilon_0}$$

जहाँ $\sigma = \frac{q}{A}$ तल आवेश घनत्व

इन प्लेटों के मध्य विभवान्तर का मान, इकाई आवेश को एक प्लेट से दूसरी प्लेट तक ले जाने में किये गये कार्य के बराबर होता है। अत: प्लेटों के मध्य विभवान्तर = प्लेटों के मध्य विद्युत तीव्रता × दूरी

$$= \frac{q}{A\varepsilon_0} \times d$$

$\therefore$ समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता

$$C = \frac{\text{प्लेट पर आवेश}}{\text{विभवांतर}}$$

$$= \frac{q}{q_d / A\varepsilon_0}$$

$$C = \frac{A\varepsilon_0}{d}$$

यहाँ ε_0 निर्वात की विद्युतशीलता है।

अत: समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता प्लेटों के क्षेत्रफल के समानुपाती और उनके बीच दूरी के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

5.7 चुम्बकीय क्षेत्र तथा चुम्बकीय बल (Magnetic Field and Magnetic Force) :

जब किसी द्रव्यमान m को गुरूत्वीय क्षेत्र g में रखा जाता है तो उस पर गुरूत्वीय बल $F_g = mg$ लगता है। इसी प्रकार जब कोई आवेश q स्थिर अवस्था में हो तो उस पर विद्युत बल $F_e = qE$ लगता है जहाँ E विद्युत क्षेत्र की तीव्रता है। इसी प्रकार यदि कोई आवेशित कण गतिशील है तथा वहाँ पर विद्युत क्षेत्र उपस्थित नहीं है फिर भी उस पर कोई बल लग रहा है तो निश्चित रूप से वहाँ एक क्षेत्र होगा जिसे चुम्बकीय क्षेत्र कहते है तथा इस बल को चुम्बकीय बल कहते है। यह बल केवल आवेश की गति के कारण ही होता है।

माना एक आवेशित कण जिस पर आवेश q है, चुम्बकीय क्षेत्र B में v वेग से गतिशील है तो उस पर लगने वाले चुम्बकीय बल को निम्न प्रकार व्यक्त किया जाता है -

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

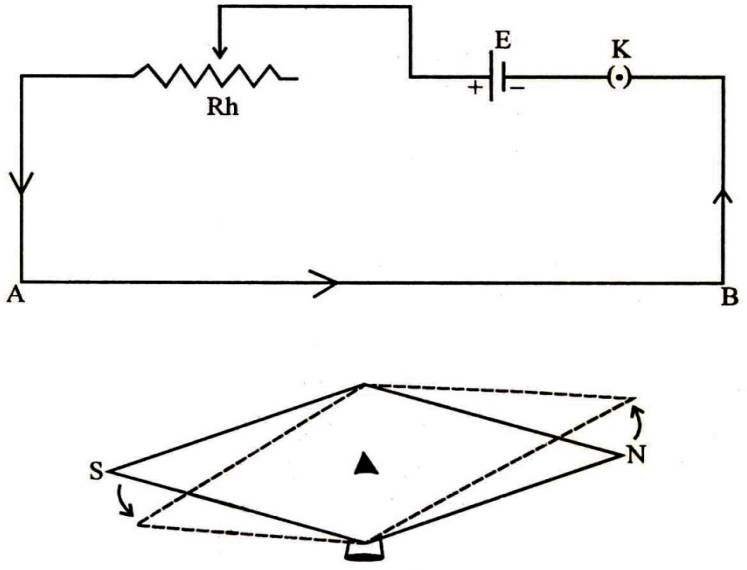
$$\vec{F}_m = qvB \sin\theta \hat{r}$$

यहाँ θ, चुम्बकीय क्षेत्र B व आवेश के वेग v के मध्य कोण है।

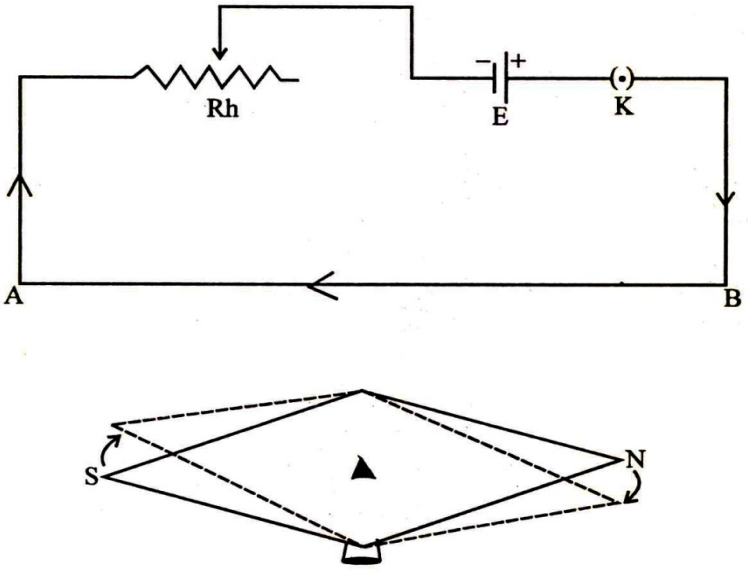
स्थिति : 1 यदि चुम्बकीय क्षेत्र B की दिशा, आवेश के वेग की दिशा के लम्बवत् हो अर्थात् $q = 90^0$ तब $F_m = qvB$ (अधिकतम)

स्थिति : 2 यदि चुम्बकीय क्षेत्र B की दिशा, आवेश के वेग की दिशा में हो अर्थात $q = 0^0$ तब $F_m = 0$ (न्यूनतम)

5.8 ओर्स्टेड़ प्रयोग (Oersted Experiment)



(अ)



(ब)

चित्र 5.5 - ओसर्टेड प्रयोग

चित्रानुसार एक चालक तार AB लेते है। इस चालक तार के श्रेणी क्रम में एक बैटरी E, धारा नियन्त्रक (Rh), तथा कुंजी (k) जोड़ते है। एक चुम्बकीय दिक्सूचक सुई जो क्षैतिज तल में उर्ध्वाधर अक्ष के परित: स्वतन्त्रापूर्वक घूर्णन कर सकती है, को चालक तार AB के समान्तर रखते है। अब कुंजी लगाकर परिपथ पूर्ण करते है जिससे तार में धारा प्रवाहित होती है।

ओर्स्टेड़ ने प्रेक्षित किया कि-

(i) जब परिपथ पूर्ण करते है तो सुई विक्षेपित होती है।

(ii) जब तार में धारा प्रवाहित नहीं करते है तो सुई में कोई विक्षेप नहीं होता है।

(iii) धारा के मान में वृद्धि करने पर, सुई का विक्षेप कोण भी बदलता है)

(iv) जब तार में धारा A से B की ओर प्रवाहित होती है तो चुम्बकीय सुई का N-ध्रुव पश्चिम की ओर विक्षेपित होता है।

(v) जब तार में धारा B से A की ओर प्रवाहित होती है तो चुम्बकीय सुई का N-ध्रुव पूर्व की ओर विक्षेपित होता है।

(vi) उपरोक्त परिस्थितियों में चुम्बकीय सुई के विक्षेप की दिशा विपरीत हो जाती है यदि धारावाही तार को चुम्बकीय सुई के नीचे रख दिया जाये।

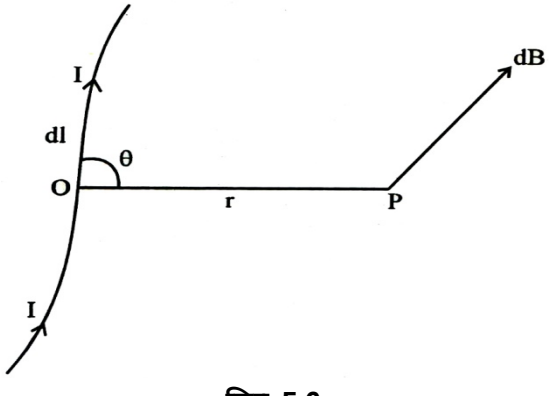
इस प्रकार ओर्स्टेड़ प्रयोग ने प्रयोग से निष्कर्ष निकाला कि -

जब किसी चालक तार में धारा प्रवाहित की जाती है तो उसके चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। इस चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण एवं दिशा का मान चालक तार में प्रवाहित धारा के परिमाण व दिशा पर निर्भर करता है। इस घटना को धारा का चुम्बकीय प्रभाव कहते है।"

5.9 बायो-सावर्ट का नियम (Biot -Savart Law) :

ओर्स्टेड प्रयोग के अनुसार किसी चालक तार में धारा प्रवाहित करने पर उसके चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। किसी धारावाही अल्पांश के कारण किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र के परिमाण की गणना सर्वप्रथम जीन - बेप्टाइस बायो तथा फिलिक्स सावर्ट ने की तथा एक नियम प्रतिपादित किया जिसे बायो-सावर्ट का नियम कहते है।

इस नियम के अनुसार किसी धारावाही चालक के अल्पांश (dl) के कारण उसके मध्य बिन्दु से r दूरी पर स्थित किसी बिन्दु P पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र का परिमाण (dB) निम्न बिन्दुओं पर निर्भर करता है।



चित्र 5.6

(i) प्रवाहित धारा की प्रबलता के समानुपाती होता है अर्थात्

$$dB \alpha I$$

(ii) धारावाही चालकें के अल्पांश की लम्बाई के समानुपाती होता है अर्थात्

$$dB \alpha dl$$

(iii) प्रेक्षण बिन्दु P व अल्पांश को मिलाने वाली रेखा $((OP)$ तथा अल्पांश के मध्य कोण के ज्या $((\sin e)$ के समानुपाती होता है, अर्थात्

$$dB \alpha \sin\theta$$

(iv) प्रेक्षण बिन्दु P व अल्पांश को मिलाने वाली रेखा $((OP)$ की लम्बाई के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है, अर्थात्

$$dB \alpha \frac{1}{r^2}$$

अत: संयुक्त रूप में बायो-सावर्ट का नियम निम्न प्रकार लिखा जा सकता है -

$$dB \propto \frac{Idl \sin\theta}{r^2}$$

या $$dB = k\frac{Idl \sin\theta}{r^2} s$$

यहाँ k एक समानुपाती नियतांक है जिसका मान प्रेक्षण बिन्दु P व अल्पांश के मध्य उपस्थित माध्यम पर निर्भर करता है।

SI पद्धति में $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$ (निर्वात में)

CGS पद्धति में $k = 1$

विशेष स्थितियाँ (Special Cases)

(i) यदि प्रेक्षण बिन्दु, चालक के अक्ष पर हो तो dl तथा r परस्पर समान्तर होगें अर्थात् $\theta = 0^0$ या $\sin\theta = 0$

$\therefore$ $B = 0$ (चुम्बकीय क्षेत्र का न्यूनतम मान)

(ii) यदि प्रेक्षण बिन्दु, चालक के निरक्ष पर हो तो dl तथा r परस्पर लम्बवत होगें अर्थात् $\theta = 90^0$ या $\sin\theta = 1$

$\therefore$ $B = k\frac{Idl}{r^2}$ (चुम्बकीय क्षेत्र का अधिकतम मान)

5.10 सीधे और लम्बे धारावाही चालक के कारण उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र (Magnetic Field due to a Long and Straight Current Carrying Conductor) :

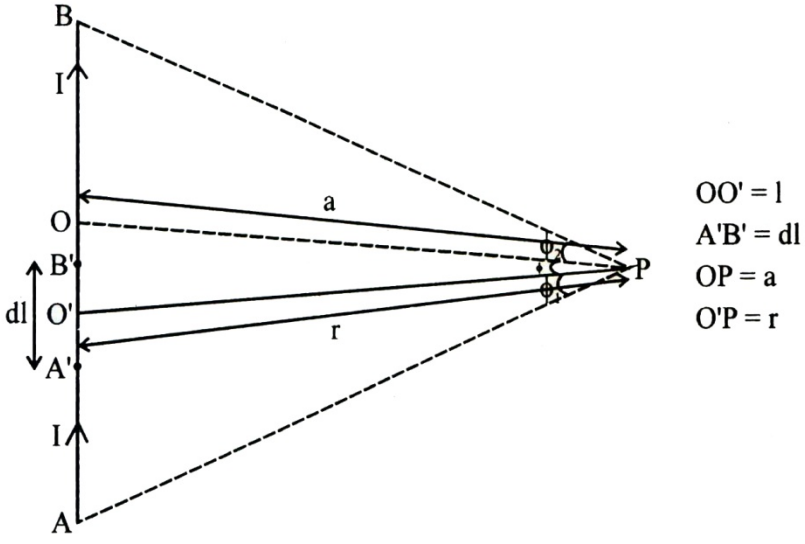
माना AB एक सीधा एवं लम्बा धारावाही चालक है जिसमें I एम्पियर धारा A से B की तरफ प्रवाहित हो रही है। माना इस धारावाही चालक के लम्बवत a दूरी पर स्थित किसी बिन्दु P पर

चुम्बकीय क्षेत्र की गणना करनी है। इसके लिए चालक तार पर अल्पांश A'B'=dl लेते है जिसका मध्य बिन्दु O'' है जिसकी प्रेक्षण बिन्दु से दूरी r है।

अत: बायो सावर्ट के नियमानुसार इस धारावाही अल्पांश dl के कारण बिन्दु P पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र

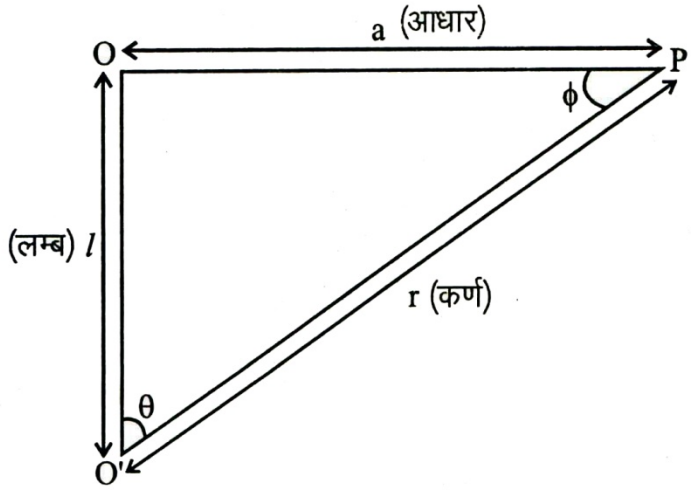
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\theta}{r^2} \qquad \text{.....(i)}$$

जहां θ, धारावाही अल्पांश व r के मध्य कोण है।



चित्र 5.7 - सीधे और लम्बे धारावाही चालक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र

बिन्दु P पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए समी. (i) का सम्पूर्ण तार के लिए समाकलन करते है। चूंकि सम्पूर्ण तार के लिए राशियां θ व r परिवर्तित होती है अत: सभी राशियों को कोण ϕ के पद में लेते है।



चित्र 5.8

समकोण त्रिभुज POO' में

$$\theta = 90^\circ - \phi \text{ .....(ii)}$$

$$\therefore \quad \sin\theta = \sin(90-\phi) = \cos\phi$$

इसी प्रकार पुन: $\Delta POO'$ में

$$\because \quad \cos\phi = \frac{\text{आधार}}{\text{कर्ण}} = \frac{a}{r} \qquad \therefore \quad r = \frac{a}{\cos\phi} \qquad \text{.....(iii)}$$

$$\because \quad \tan\phi = \frac{\text{लम्ब}}{\text{आधार}} = \frac{l}{a} \qquad \therefore \quad l = a\tan\phi$$

या $\quad \dfrac{dl}{d\phi} = a\sec^2\phi$ (θ के सापेक्ष अवकलन करने पर)

या $\quad dl = a\sec^2\phi d\phi$ .....(iv)

समी. (ii), (iii), (iv) मान समी. (i) में रखने पर

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I(a\sec^2\phi.d\phi).\cos\theta}{\left(a/\cos\phi\right)^2}$$

या $\quad dB = \dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{I\cos\phi d\phi}{a}$ .....(v)

चूंकि सभी धारावाही अल्पांशों के कारण बिन्दु P पर चुम्बकीय क्षेत्र एक ही दिशा में उत्पन्न होगा, अत: बिन्दु P पर परिणामी चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करने के लिए चालक AB की लम्बाई पर $(-\phi_1)$ से (θ_2) सीमा के सापेक्ष समाकलन करते है। अत:

$$B = \int_{-\phi_1}^{\phi_2}\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\cos\phi}{a}d\phi$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{a}\int_{-\phi_1}^{\phi_2}\cos\phi d\phi$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{a}[\sin\phi]_{-\phi_1}^{\phi_2}$$

$$\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{a}[\sin\phi_2 - \sin(-\phi_1)]$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{a}[\sin\phi_2 + \sin\phi_1]$$

विशेष स्थितियाँ

(i) यदि धारावाही चालक अनन्त लम्बाई का हो तो उससे लम्बवत् a दूरी पर स्थित किसी बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र

$$\because \quad \phi_1 = \phi_2 = \frac{\pi}{2}$$

या $\quad \sin\phi_1 = \sin\phi_2 = \sin\dfrac{\pi}{2} = 1$

$$\therefore \qquad B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}(1+1)$$

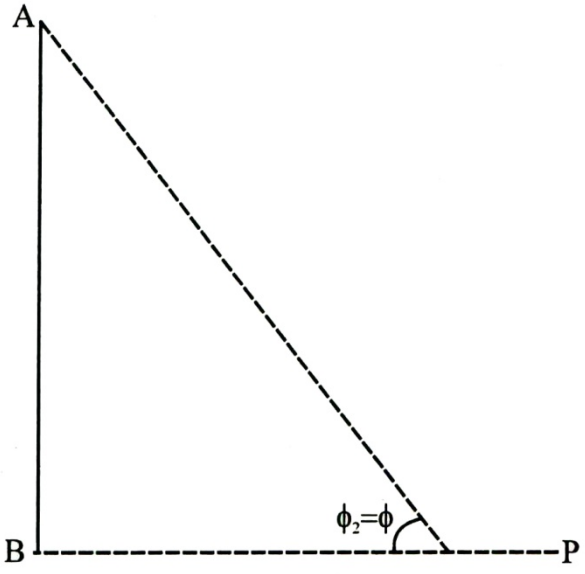
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}$$

(ii) सीमित लम्बाई के धारावाही चालक के एक सिरे पर चुम्बकीय क्षेत्र

$\phi_1 = 0, \phi_2 = \phi$

$$\therefore \qquad B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}[\sin o + \sin \phi]$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}\sin \phi$$



चित्र 5.9

5.11 एम्पियर का नियम (Ampere's Law) :

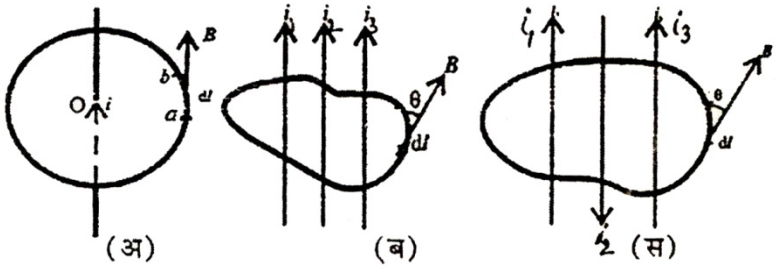
एम्पियर के नियम अनुसार चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित किसी बन्द पृष्ठ पर चुम्बकीय क्षेत्र का रेखा समाकल उस बन्द पृष्ठ में से गुजरने वाली धाराओं के बीजीय योग तथा m_0 के गुणनफल के बराबर होता है अर्थात्

$$\oint B.dl = \mu_0 \sum i$$

यहाँ μ_0 निर्वात की चुम्बकशीलता है।

इस नियम को एम्पियर का परिक्रमी नियम (Ampere's Law) भी कहते है।

यहाँ चुम्बकीय क्षेत्र का बन्द पृष्ठ पर रेखा समाकल $\phi B.dl$, चुम्बकीय क्षेत्र B व उसमें उपस्थित रेखीय अल्पांश dl के अदिश गुणनफल के समाकलन के बराबर होता है।



चित्र 5.10 - एम्पियर नियम के उदाहरण

चित्र (अ) से $\phi B.dl = \mu_0 i$

चित्र (ब) से $\phi B.dl = \mu_0(i_1 + i_2 + i_3)$

चित्र (स) से $\phi b.dl = \mu_0(i_1 - i_2 + i_3)$

यह नियम सममित धारा वितरण तथा अनन्त लम्बाई के स्थिर धारा चालक के लिए आसानी से लागू होता है। रेखीय समाकल बन्द पृष्ठ की आकृति तथा उसके भीतर धारावाही चालक की स्थिति पर निर्भर नहीं करता है। यह केवल बन्द पृष्ठ से गुजरती हुई धारा पर निर्भर करता है।

5.12 (a) फैराडे का नियम :

फैराडे द्वारा विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के दो नियम दिये गये जिन्हें फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियम कहते है।

1. जब किसी परिपथ से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होता है तो परिपथ में एक विद्युत वाहक बल प्रेरित हो जाता है। यदि परिपथ "बन्द" हो तो उसमें प्रेरित धारा भी बहने लगती है। यह धारा भी तब तक बहती है जब तक चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होता है।
2. प्रेरित वि. वा. बल चुम्बकीय फ्लक्स के परिवर्तन की दर के समान होता है। यदि Δt समय अन्तराल में चुम्बकीय पलक्स ϕ_B में परिवर्तन $\Delta\phi_B$ हो तो परिपथ में प्रेरित वि. वा. बल (e)

$$e = -\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$$

$$= -\frac{d\phi_B}{dt} \quad \text{यदि} \quad \Delta t \to o$$

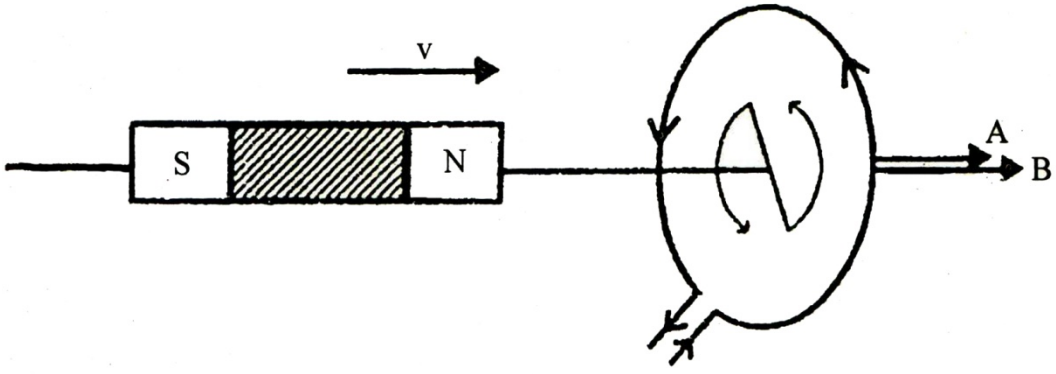
उपरोक्त सूत्र में ऋणात्मक चिन्ह यह प्रदर्शित करता है कि प्रेरित वि. वा. बल सदैव फ्लक्स परिवर्तन का विरोध करता है।

5.12(b) लैन्स का नियम :

इस नियम के अनुसार, किसी परिपथ में प्रेरित विद्युत धारा की दिशा सदैव ऐसी होती है कि वह उस कारण का विरोध करे जिसके कारण वह स्वयं उत्पन्न हुई है।

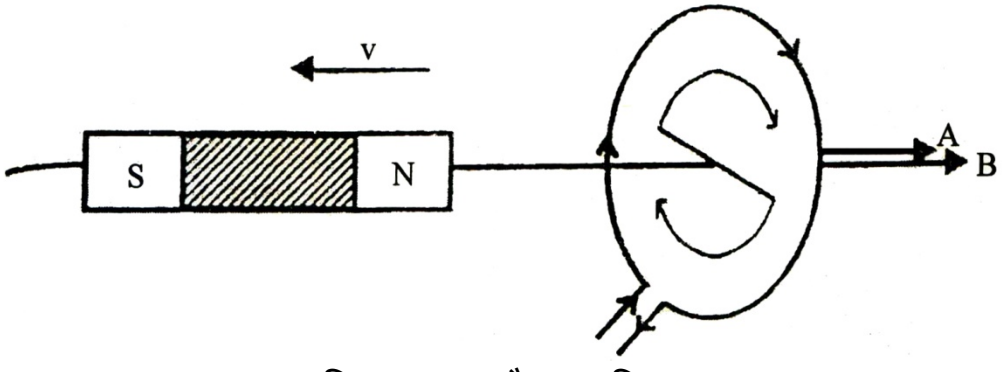
प्रयोग

जब किसी चुम्बक को कुण्डली के सापेक्ष गति प्रदान की जाती है तो कुण्डली में धारा प्रेरित होती है।



चित्र 5.11 (अ) - लैन्ज का नियम

जब एक दण्ड चालक के उत्तरी ध्रुव को किसी कुण्डली के पास लाया जाता है तो कुण्डली में प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होती है कि कुण्डली का चुम्बक के उत्तरी ध्रुव के पास वाला फलक उत्तरी ध्रुव बन जाये। इस प्रकार दण्ड, चुम्बक एवं कुण्डली में प्रतिकर्षण उत्पन्न हो जाता है तथा चुम्बक व कुण्डली दूर जाने का प्रयास करते है अर्थात् कुण्डली में प्रेरित धारा पास आते चुम्बक का विरोध करती है।



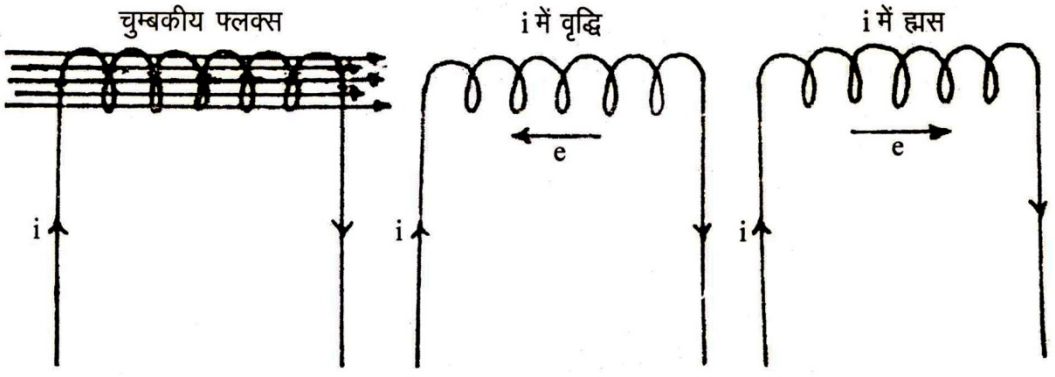
चित्र 5.11 (ब)- लैन्ज का नियम

जब एक दण्ड चुम्बक का उत्तरी ध्रुव किसी कुण्डली से दूर ले जाया जाता है तो कुण्डली में प्रेरित धारा की दिशा इस प्रकार होती है कुण्डली के उत्तरी ध्रुव के पास वाला फलक दक्षिणी ध्रुव बन जाये। इस प्रकार दण्ड चुम्बक एवं कुण्डली में आकर्षण उत्पन्न हो जाता है तथा चुम्बक एवं कुण्डली पास आने का प्रयास करते है, अर्थात् कुण्डली में प्रेरित धारा दूर जाते हुए चुम्बक का विरोध करती है।

5.13 स्वप्रेरकत्व (Self Inductance)

जब किसी कुण्डली में धारा प्रवाहित होती है तो वह चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। इसके फलस्वरूप कुण्डली में से चुम्बकीय पलक्स निर्गत होता है अर्थात् धारावाही कुण्डली से चुम्बकीय फ्लक्स सम्बद्ध होता है। यदि कुण्डली में प्रवाहित धारा के मान में समय के सापेक्ष परिवर्तन करते

है तो कुण्डली से सम्बद्ध चुम्बकीय फ्लक्स में भी समय के सापेक्ष परिवर्तन होता है और परिणामस्वरूप कुण्डली में वि. वा. बल प्रेरित हो जाता है। प्रेरित वि. वा. बल की दिशा इस प्रकार होती है कि यह चुम्बकीय फ्लक्स या धारा के परिवर्तन का विरोध करता है। इस घटना को स्वप्रेरण (Self Induction) कहते है। अतः कुण्डली के जिस गुण के कारण कुण्डली से प्रवाहित धारा के परिवर्तन का विरोध होता है, उसे स्वप्रेरकत्व (Self Inductance) कहते है।



चित्र 5.12 - स्वप्रेरकत्व

यदि कुण्डली में किसी क्षण धारा का मान I है तो कुण्डली में प्रेरित वि. वा. बल धारा के परिवर्तन की दर के अनुक्रमानुपाती होता है तथा यह प्रभावस्वरूपे इस परिवर्तन का विरोध करता है अर्थात्

$$e\alpha -\frac{dl}{dt}$$

या $$e=-L\frac{dl}{dt}$$

यह L एक नियतांक है जिसे स्वप्रेरकत्व गुणांक कहते है।

यदि $$-\frac{\partial l}{\partial t}=1 \text{ तो} e=L$$

अर्थात् किसी कुण्डली का स्वप्रेरकत्व गुणांक L आंकिक रूप से उस प्रेरिक वि. वा. बल के मान के बराबर होता है जो कुण्डली में धारा के ह्रास की दर एकांक होने पर उत्पन्न होता है।

मी.कि.से. मात्रक पद्धति में प्रेरकत्व का मात्रक हेनरी (Henry) या $\frac{\text{वोल्ट}-\text{सेकिन्ड}}{\text{एम्पियर}}$ या $\frac{\text{वेबर}}{\text{एम्पियर}}$ - होता है।

बोध प्रश्न

1. स्वप्रेरण गुणांक का मात्रक एवं विमीय सूत्र लिखिए।

   .....

2. लेन्ज का नियम किस भौतिक राशि के संरक्षण पर आधारित है।

   .....

5.14 सारांश (Summary) :

1. कूलॉम का नियम $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}$
2. किसी चालक का विद्युत विभव उसकी वह विद्युत अवस्था है जिस पर आवेश प्रवाह निर्भर करता है। पृथ्वी का विद्युत विभव शून्य माना जाता है। यह एक अदिश राशि है।
3. बिन्दु आवेश की स्थितिज ऊर्जा

$U =$ विभव $\times$ आवेश
$= V \times q$

4. धारिता C = $\frac{\text{आवेश की मात्र}}{\text{विभव का बढ़ना}} = = \frac{q}{V}$

सिद्धान्त :- आवेशित चालक के पास यदि कोई दूसरा चालक लावें, जो भूसम्पर्कित हो तो पहले चालक की धारिता बढ़ जाती है।

समान्तर पट्ट संधारित्र की धारिता $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$ (निर्वात में)

$= \frac{\varepsilon_0 A}{d}$ (परावैद्युत माध्यम में)

5. जब किसी परिपथ में धारा परिवर्तन होने से उसी परिपथ में वि.वा.ब. प्रेरित होता है तो इस घटना को स्वप्रेरण कहते है।

स्वप्रेरित वि.वा.ब. $= -4\frac{di}{dt}$

6. बायो-सावर्ट नियम का गणितीय रूप

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{idl\sin\theta}{r^2}$$

7. एम्पियर का नियम $\oint B.dl = \mu_0 \sum i$

5.15 संदर्भ ग्रन्थ (Reference Books) :

1. Electrodynamics by Gupta-Kumar, Pragati Publication, Meerut.
2. Indroduction of Electrodynamics by David-J-Griffith.

5.16 शब्दावली (Glossary) :

आवेश	-	Charge
विभव	-	Potential
विद्युत वाहक बल	-	EMF
स्वप्रेरकत्व	-	Self-Inductance

विद्युतशीलता	-	Permittivity
धारावाही	-	Current Carrying
अन्योन्य-प्रेरकत्व	-	Mutual-Inductance

5.17 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer of SAQ's) :

1. कृपया 5.1 देखें।
2. हाँ
3. चार गुना
4. मात्रक = हेनरी, $\frac{\text{वेबर}}{\text{एम्पियर}}$, $\frac{\text{वोल्ट–सेकिण्ड}}{\text{एम्पियर}}$
5. ऊर्जा संरक्षण सिद्धान्त पर

5.18 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question) :

लघुउत्तरात्मक प्रश्न

1. बायो सावर्ट का नियम लिखिये। किसी सीमित लम्बाई के धारावाही चालक के कारण लम्बवत r दूरी पर उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र की गणना करो।
2. एम्पियर के नियम की विवेचना करो।
3. कूलॉम का नियम क्या होता है? इस नियम के लिए आवश्यक शर्तें क्या है?
4. किसी चालक की धारिता किसे कहते है? समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता किन-किन बातों पर निर्भर करती है। इसकी धारिता का सूत्र ज्ञात करो।
5. स्वप्रेरण से आप क्या समझते है, उदाहरण देकर समझाइये।
6. विद्युत चुम्बकीय प्रेरण सम्बन्धी फैराडे के नियमों का उल्लेख करो।
7. लैन्ज नियम को उदाहरण सहित समझाइये।

इकाई 6

द्रव्य के अणुसंख्य गुणधर्म

COLLIGATIVE PROPERTIES OF MATTER

इकाई की रूपरेखा

6.1 उद्देश्य

6.2 प्रस्तावना

6.3 वाष्प दाब का अवनमन

6.4 क्वथनांक का उन्नयन

6.5 हिमांक का अवनमन

6.6 परासरण दाब

6.7 अणुसंख्य गुणधर्मों के अपसामान्य मान

6.8 सारांश

6.9 शब्दावली

6.10 संदर्भ ग्रन्थ

6.11 बोध प्रश्नों के उत्तर

6.12 अभ्यासार्थ प्रश्न

6.1 उद्देश्य (Objectives) :

इस इकाई के अध्ययन के पश्चात आप द्रव्यों के गुणधर्मों को निम्नलिखित बिन्दुओं से समझ पायेंगे-

1. द्रव्यों के अणुसंख्य गुणधर्म कौनसे है?
2. किसी द्रव का वाष्प दाब क्या होता है तथा किसी द्रव में किसी पदार्थ को विलेय करने पर द्रव का वाष्प दाब किस प्रकार परिवर्तित होता है।
3. किसी द्रव में एक विलेय पदार्थ मिलाने पर उसका क्वथनांक किस प्रकार प्रभावित होता है।
4. किसी द्रव का हिमांक उसमें कोई पदार्थ विलेय करने पर किस प्रकार परिवर्तित होता है।
5. परासरण दाब क्या होता है तथा विलयन के परासरण दाब को उसमें उपस्थित विलेय द्रव्य की मात्रा किस प्रकार प्रभावित करती है।

6.2 प्रस्तावना (Introduction) :

द्रव्य तीन अवस्थाओं में पाया जाता है । ये तीन अवस्थायें ठोस, द्रव और गैस हैं। इनमें से कोई दो प्रकार की अवस्था वाले द्रव्य परस्पर मिलकर विलयन बनाते हैं। दोनों द्रव्यों में जो कम मात्रा मे होता है उसे विलेय कहते हैं तथा जो द्रव्य अधिक मात्रा में होता है उसे विलायक कहते हैं।

सबसे अधिक बनने वाले और उपयोग में आने वाले विलयन ठोस-द्रव विलयन होते हैं जिनमें विलेय ठोस को द्रव विलायक में घोला जाता है, जैसे नमक, चीनी अथवा अमोनियम क्लोराइड का जल में विलयन।

विलयनों का महत्व उनके गुणों के कारण होता है। ठोस पदार्थो के द्रव में विलयन पारदर्शक होते हैं। विलयनों के कुछ गुण निश्चित रूप से विलेय और विलायक की प्रकृति पर निर्भर करते हैं। जैसे चीनी अथवा ग्लूकोस का जल में विलयन मीठा होता है, परन्तु नमक का जल में विलयन नमकीन होता है। सोडियम सल्फेट का विलयन रंगहीन होता है, परन्तु कॉपर सल्फेट का रंग नीला होता हैं-

विलयनों के कुछ गुण विलेय और विलायक की प्रकृति अर्थात् रासायनिक संरचना और संघटन पर निर्भर नहीं करते। विलयनों के ये गुण विलेय और विलायक के कणों अर्थात् अणुओं या आयनों की संख्या पर निर्भर करते है। अत: इन गुणधर्मों को अणुसंख्य गुणधर्म (Colligative Properties) कहते है। इन गुणधर्मों के आधार पर विलयन में विलेय के अणुओं की संख्या ज्ञात कर सकते है तथा विलेय के मोलर द्रव्यमान या अणुभार की गणना की जा सकती है। अणुसंख्य गुणधर्मों के कुछ उदाहरण निम्नलिखित है।

(1) वाष्प दाब अवनमन (2) क्वथनांक का उन्नयम

(3) हिमांक का अवनमन (4) परासरण दाब

इस इकाई में आप उक्त अणुसंख्य गुणधर्मों की जानकारी प्राप्त करेगें।

6.3 वाष्प दाब का अवनमन (Lowering of Vapour Pressure) :

द्रवों की सतह पर वायुमण्डलीय दाब कार्यरत रहता है। द्रव अपनी सतह पर निरन्तर वाष्प बनाते हैं। यह क्रिया उत्क्रमणीय होती है और वाष्प कण पुन: द्रव में परिवर्तित होते रहते हैं। एक स्थिति ऐसी आती है जब वाष्प कणों का बनना और पुन: द्रव में परिवर्तित होना समान हो जाता है। इसे साम्यावस्था कहते हैं। ये वाष्प कण भी द्रव की सतह पर दाब डालते है।

किसी निश्चित ताप पर जब द्रव और उस द्रव की वाष्प साम्यावस्था में होते हैं तो वाष्प द्वारा द्रव की सतह पर डाला गया दाब, उस ताप पर द्रव का वाष्प दाब कहलाता है।

जब किसी अवाष्पशील और विद्युत अनअपघट्य पदार्थ को किसी द्रव में घोला जाता है तो विलायक का वाष्प दाब कम हो जाता है।

वाष्प दाब में यह कमी विलयन में घुले हुये विलेय की मात्रा के समानुपाती होती है।

विलयन की सतह पर विलायक और विलेय दोनों के अणु उपस्थित होते हैं। जबकि शुद्ध विलायक की सतह पर केवल विलायक के अणु उपस्थित होते हैं। इस प्रकार विलयन की सतह के इकाई क्षेत्र में विलायक के अणु हमेशा शुद्ध विलायक की तुलना में कम होते हैं। इस कारण विलयन का वाष्प दाब, विलायक के वाष्प दाब की तुलना में सदैव कम होता है।

विलेय के कणों की उपस्थिति के फलस्वरूप विलायक के वाष्प द्रव का कम होना वाष्प दाब अवनमन कहलाता है। यदि विलायक (शुद्ध द्रव) के वाष्प दाब को p से तथा ज्ञात सान्द्रता वाले विलयन के वाष्प दाब को p_s से प्रदर्शित किया जाये, तो वाष्प दाब अवनमन का मान $p - p_s$ होगा। वाष्प दाब अवनमन तथा विलायक के वाष्प दाब का अनुपात, विलयन के वाष्प दाब का आपेक्षिक अवनमन कहलाता है। अत:

विलयन के वाष्प दाब का आपेक्षिक अवनमन $= \frac{p - p_s}{p}$

1887 में राऊल ने विलयन के वाष्प दाब के आपेक्षिक अवनमन और सान्द्रता के लिये एक नियम दिया जो राऊल का नियम (Raoull's Law) कहलाता है। इस के अनुसार, "'जब किसी अवाष्पशील एवं विद्युत अनअपघट्य विलेय को किसी विलायक में घोलते हैं, तो विलायक के वाष्प दाब का आपेक्षिक अवनमन, विलयन में उपस्थित विलेय की मोल भिन्न के बराबर होता है।"

विलयन में यदि विलेय के n मोल उपस्थित है, जो विलायक के N मोल में घुले हुये हैं, तो विलयन में कुल मोल $(n+N)$ होगें।

विलेय की मोल भिन्न विलयन में उपस्थित विलेय के मोलों (n) तथा कुल मोलों $(n+N)$ का अनुपात होता है।

अत: विलेय की मोल भिन्न $\frac{n}{n+N}$

अब राऊल के नियमानुसार,

$$\frac{p-p_s}{p}=\frac{n}{n+N} \qquad \text{....(6.1)}$$

राऊल का यह नियम तनु विलयनों पर सही अर्थ में लागू होता है। यदि विलयन अत्यन्त तनु है, तो n का मान N के मान की अपेक्षा बहुत छोटा होगा। इस स्थिति में $n+N$ के स्थान पर केवल N लिखा जा सकता है। अत: वाष्प दाब के आपेक्षिक अवनमन को निम्न प्रकार से प्रदर्शित कर सकते है-

$$\frac{p-p_s}{p}=\frac{n}{N}(\because n+N\approx N) \qquad \text{.....(6.2)}$$

समीकरण (6.2) से स्पष्ट है कि विलयन के वाष्प दाब का आपेक्षिक अवनमन विलेय के मोलों अथवा कणों की संख्या पर निर्भर करता है। अत: वाष्प दाब अवनमन एक अणुसंख्य गुणधर्म है।

यदि विलयन तनु नहीं है तो राऊल नियम के अनुसार,

$$\frac{p-p_s}{p}=\frac{n}{n+N}$$

अथवा $$\frac{p}{p-p_s}=\frac{n+N}{n}$$

अथवा $$\frac{p}{p-p_s}=1+\frac{N}{n}$$

अथवा $$\frac{p}{p-p_s}-1=\frac{N}{n}$$

अथवा $$\frac{p-p+p_s}{p-p_s}=\frac{N}{n}$$

अथवा $$\frac{p_s}{p-p_s}=\frac{N}{n}$$

अथवा $$\frac{p - p_s}{p_s} = \frac{n}{N}$$ .....(6.3)

समीकरण (6.3) भी समीकरण (6.2) की भांति प्रदर्शित करता है कि वाष्प दाब अवनमन विलेय के मोलों अथवा कणों की संख्या पर निर्भर करता है। समीकरण (6.1) और (6.3) अत्यन्त तनु विलयनों के लिये तथा समीकरण (6.2) तनु विलयनों के लिये मान्य है।

1.3.1 वाष्प दाब अवनमन द्वारा अणु भार ज्ञात करना

वाष्प दाब अवनमन का उपयोग अवाष्पशील पदार्थो का अणुभार ज्ञात करने हेतु किया जा सकता है।

माना किसी प्रयोग में विलेय की मात्रा w ग्राम है और इसका मोलर द्रव्यमान m है। इस विलेय को W ग्राम विलायक में घोला गया है। विलायक का मोलर द्रव्यमान M है। अत:

विलेय के मोलों की संख्या, $n = \frac{w}{m}$

तथा विलायक के मोलों की संख्या, $N = \frac{W}{M}$

राऊल के नियम से आप जानते है कि,

$$\frac{p - p_s}{p} = \frac{n}{N}$$

अथवा $$\frac{p - p_s}{p} = \frac{w/m}{W/M}$$ ($n = \frac{w}{m}$ तथा $N = \frac{W}{M}$ रखने पर)

अथवा $$\frac{p - p_s}{p} = \frac{wM}{mW}$$ .....(6.4)

उक्त समीकरण में वाष्प दाब अवनमन, W,M ज्ञात होने पर विलेय का मोलर द्रव्यमान अर्थात् अणुभार (m) ज्ञात किया जा सकता है।

बोध प्रश्न

1. निम्नलिखित कथनों में सत्या / असत्य बताइये -
   - (क) पदार्थो का रंग और कठोरता उनके अणुसंख्य गुणधर्म हैं। (सत्य / असत्य)
   - (ख) परासरण दाब पदार्थो का अणुसंख्य गुणधर्म नहीं है। (सत्य / असत्य)
   - (ग) किसी विलायक में आवाष्पशील तथा अनअपघट्य पदार्थ घोलने पर उसका वाष्प दाब कम हो जाता है। (सत्य / असत्य)
   - (घ) वाष्प दाब अवनमन की सहायता से किसी विलेय का अणुभार ज्ञात किया जा सकता है। (सत्य / असत्य)
2. एक विलयन बनाने हेतु m मोलर द्रव्यमान वाले w ग्राम विलेय को M मोलर द्रव्यमान वाले W ग्राम विलायक में घोला गया है। विलयन में विलेय की मोल

संख्या (n) तथा विलायक की मोल संख्या (N) को किन सूत्रों द्वारा प्रदर्शित करेगें?

.....

नोट: आप अपने उत्तरों की जांच हेतु इस इकाई के भाग 611 में दिये उत्तरों से मिलान करें।

6.4 क्वथनांक का उन्नयन (Elevation of Boiling Point) :

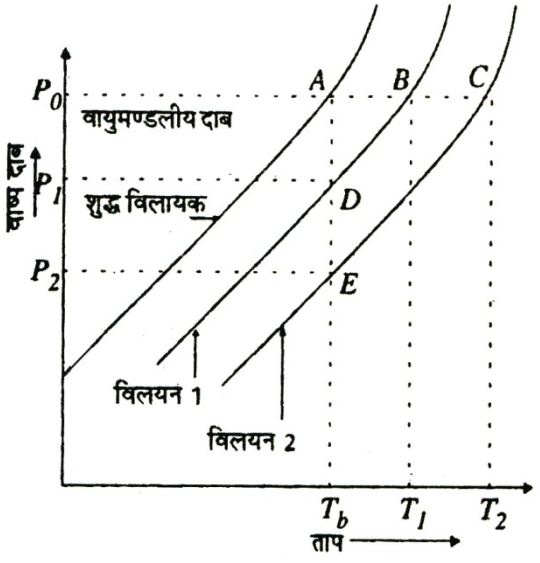
जिस तापमान पर किसी द्रव का वाष्प दाब वायुमण्डलीय दाब के बराबर हो जाता है वह तापमान उस द्रव का क्वथनांक कहलाता है। इस तापमान पर वह द्रव उबलने लगता है। उदाहरण के लिये जल का क्वथनांक $100^{\circ}C$ है।

जब किसी अवाष्पशील पदार्थ को विलायक में घोलते हैं तो विलायक का वाष्प दाब कम हो जाता है। यह बात आप इस इकाई के बिन्दु 6.3 द्वारा जान चुके हैं।

विलयन का वाष्प दाब शुद्ध विलायक के वाष्प दाब से सदैव कम होता है। अत: विलयन के वाष्प दाब को वायुमण्डलीय दाब के बराबर करने हेतु विलयन को शुद्ध विलायक की अपेक्षा अधिक गर्म करना पड़ता है। इसका अर्थ यह हुआ कि विलयन का क्वथनांक शुद्ध विलायक के क्वथनांक से सदैव अधिक होगा। यह क्वथनांक का उन्नयन कहलाता है।

इससे निष्कर्ष निकलता है कि क्वथनांक में उन्नयन वाष्प दाब के अवनमन के समानुपाती है।

चित्र 6.1 में शुद्ध विलायक और भिन्न सान्द्रता के दो विलयनों के वाष्प दाब और तापमान के मध्य खींचें गये वक्रों को प्रदर्शित किया गया है। यहां विलयन - 2 की सान्द्रता विलयन - 1 की सान्द्रता से अधिक है।



चित्र 6.1 : शुद्ध विलायक तथा विलयनों के वाष्पदाब और क्वथनांक उन्नयन में सम्बन्ध

दोनों विलयनों के वक्र शुद्ध विलायक के वक्र से नीचे है। ये वक्र एक वायुमण्डल दाब (p) पर खींची क्षैतिज रेखा को क्रमश: A, B, C, D पर काटते हैं। इन बिन्दुओं के संगत तापमान क्रमश: T_b, T_1 तथा T_2 हैं। T_b शुद्ध विलायक का क्वथनांक है तथा T_1 और T_2 क्रमश: विलयन - 1

और विलयन - 2 के क्वथनांक हैं। दोनों विलयनों के क्वथनांक (T_1 और T_2) शुद्ध विलायक के क्वथनांक से अधिक है। यह तथ्य निम्न प्रकार से दिखाया जा सकता है-

	विलयन - 1		विलयन - 2		शुद्ध विलायक
क्वथनांक	T_2	>	T_1	>	T_b

चित्र 6.1 से आप समझ सकते हैं कि -

विलयन - 1 का क्वथनांक उन्नयन $= T_1 - T_b$ (रेखा AB द्वारा प्रदर्शित)

तथा विलयन - 2 का क्वथनांक उन्नयन $T_2 - T_b$ (रेखा AC द्वारा प्रदर्शित)

शुद्ध विलायक के क्वथनांक (T_b) पर विलायक का वाष्प दाब p तथा विलयन -1 और विलयन -2 के वाष्प दाब क्रमश: p_1 और p_2 हैं।

अत: विलयन - 1 के लिये वाष्प दाब अवनमन= $= p - p_1$ (रेखा द्वारा प्रदर्शित)

विलयन - 2 के लिये वाष्प दाब अवनमन= $p - p_2$ (रेखा AE द्वारा प्रदर्शित)

तनु विलयनों के लिये वाष्प दाब तथा तापमान में खींचें गये वक्र क्वथनांक के निकट लगभग सरल रेखा के रूप में होते हैं। अत: चित्र 6.1 में त्रिभुज ABD तथा त्रिभुज ACE को दो समरूप त्रिभुज माना जा सकता है। इस आधार पर

$$\frac{AB}{AC} = \frac{AD}{AE}$$

अथवा $$\frac{T_1 - T_b}{T_2 - T_b} = \frac{p - p_1}{p - p_2}$$ (रेखाओं के मान रखने पर)

अथवा $$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}$$

अतः $$\Delta T_b \propto \Delta p \quad ...(6.5)$$

समीकरण (6.5) से स्पष्ट है कि क्वथनांक में उन्नयन (ΔT_b) वाष्प दाब अवनमन (Δp) के समानुपाती है।

इस इकाई में आप पढ़ चुके है कि राऊल के नियम के अनुसार,

$$\frac{p - p_s}{p} = \frac{n}{N} = \frac{wM}{mW}$$

अथवा $$\frac{\Delta p}{p} = \frac{wM}{mW}$$

अथवा $$\Delta p = P \times \frac{wM}{mW}$$

अथवा $$\Delta T_b \propto p \times \frac{wM}{mW} \qquad (\because \Delta T_b \propto \Delta p)$$

अथवा $$\Delta T_b = kp \times \frac{wM}{mW} \qquad ....(6.6)$$

समीकरण (6.6) में k एक स्थिरांक है। एक विलायक के लिये अणुभार M तथा वाष्प दाब p के मान भी निश्चित अथवा स्थिर होते हैं। अत: $k, M,$ और p को एक नये स्थिरांक K के रूप में लिखा जा सकता है। इस स्थिति में,

$$\Delta T_b = K \times \frac{w}{mW} \qquad \text{....(6.7)}$$

K उन्नयन स्थिरांक कहलाता है।

यदि $w/m = n = 1$ हो तथा $W = 1$ ग्राम हो तो, $\Delta T_b = K$ होगा।

इसका अर्थ यह है कि किसी विलायक का उन्नयन स्थिरांक किसी अवाष्पशील विलेय के 1 मोल को 1 ग्राम विलायक में विलेय करने पर विलायक के क्वथनांक उन्नयन के बराबर होगा।

परन्तु आप भली भांति समझते हैं कि विलेय के 1 मोल अर्थात् एक ग्राम अणु भार को एक ग्राम विलायक में घोलना सम्भव नहीं। अत: एक मोल विलेय को 1000 ग्राम विलायक में घोलने हैं। यह विलेयता अब मोललता (molality) में व्यक्त की जाती है।

समीकरण (1.7) में $w/m = 1$ (एक मोल) तथा W=1000 ग्राम रखने पर,

$$\Delta T_b = \frac{K}{1000} = K_b$$

अर्थात $$K = 1000 K_b \text{ .....(6.8)}$$

यहां K_b मोलल उन्नयन स्थिरांक (molal elevation constant) कहलाता है। इसे मोलल क्वथनांक स्थिरांक अथवा क्वथनांक मित्तिक स्थिरांक भी कहते हैं।

मोलल उन्नयन स्थिरांक (K_b) वह क्वथनांक उन्नयन है जो विलेय के एक मोल को 1000 ग्राम विलायक में घोलने पर प्राप्त होता है। K_b को डिग्री से. किग्रा. प्रतिमोल मे व्यक्त करते हैं।

समीकरण (6.7) में K का मान समीकरण (6.8) से रखने पर,

$$\Delta T_b = \frac{1000 K_b . w}{mW} \qquad \text{.....(6.9)}$$

उक्त समीकरण (6.9) के आधार पर विलेय के मोलर द्रव्यमान (अणुभार) का मान ज्ञात किया जा सकता है।

$$m = \frac{1000 K_b . w}{\Delta T_b . W} \qquad \text{.....(6.10)}$$

विलेय की तोली हुई मात्रा (w) को विलायक की तोली हुई मात्रा (W)में घोल कर विलयन का क्वथनांक उन्नयन (ΔT_b) ज्ञात किया जाता है। विलायक के लिये उपलब्ध K_b का मान एवं अन्य मान समीकरण (6.10) में रखकर मोलर द्रव्यमान (m) की गणना कर ली जाती है।

बोध प्रश्न

3. निम्नलिखित वाक्यों में रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिये। उत्तर के लिये शब्द का चयन कोष्ठक से करें।

   (क) जब किसी अवाष्पशील पदार्थ को विलायक में घोलते हैं तो विलायक का वाष्प दाब ..... हो जाता है। (अधिक/कम)

(ख) विलयन का क्वथनांक शुद्ध विलायक के क्वथनांक से ..... होता है। (अधिक/कम)

(ग) किसी विलयन के क्वथनांक में उन्नयन () वाष्प दाब अवनमन () के ..... होता है। (बराबर/समानुपाती/व्युत्क्रमानुपाती)

(घ) समीकरण में मोलल उन्नयन स्थिरांक ..... है।)

4. एक विलेय के ग्राम को विलायक के ग्राम में घोल कर उसका क्वथनांक उन्नयन ( ) ज्ञात कर लिया जाता है। विलेय के मोलर द्रव्यमान की गणना सूत्र लिखिये।

.....

6. यदि क्वथनांक उन्नयन का सूत्र है तो किन परिस्थितियों में का मान K के बराबर होगा।

.....

नोट : आप अपने उत्तरों की जांच हेतु इस इकाई के भाग 6.11 में दिये गये उत्तरों से मिलान करें।

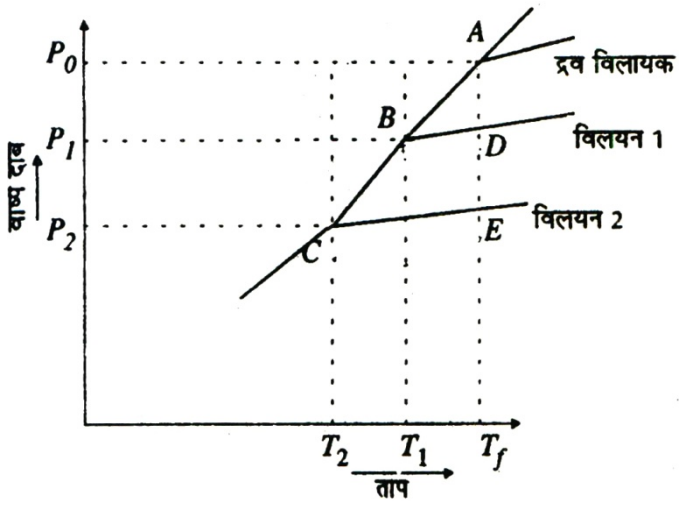
6.5 हिमांक का अवनमन (Depression of Freezing Point) :

किसी द्रव का हिमांक वह तापमान होता है, जिस पर उसकी द्रव और ठोस अवस्थाओं का वाष्प दाब समान होता है। अर्थात् इस तापमान पर द्रव जमकर ठोस अवस्था प्राप्त कर लेता है।

जब किसी अवाष्पशील पदार्थ को विलायक में घोलते हैं तो विलायक का वाष्प दाब कम हो जाता है। विलयन का वाष्प दाब सदैव शुद्ध विलयन से कम होता है। यह जानकारी आप इस इकाई में प्राप्त कर चुके हैं।

इस आधार पर विलयन, शुद्ध विलायक से कम तापमान पर जमता है। अर्थात् विलयन का हिमांक शुद्ध विलायक के हिमांक से कम होगा। हिमांक कीं इस कमी को हिमांक का अवनमन कहते हैं।

हिमांक का अवनमन, वाष्प दाब के अवनमन के समानुपाती होता है। इस कथन को आप विलायक तथा भिन्न सान्द्रताओं के दो विलयनों के वाष्प दाब और तापमान में वक्र खींच कर समझ सकते हैं, जैसा चित्र 6.2 में दिखाया गया है। -



चित्र 6.2 : शुद्ध विलायक और विलयनों के हिमांक अवनमन तथा वाष्प दाब सम्बन्धी वक्र

यहां शुद्ध विलायक, विलयन -1 तथा विलयन - 2 के वाष्प दाब - तापमान वक्र खींचे गये हैं। विलयन - 2 की सान्द्रता विलयन - 1 की सान्द्रता से अधिक है। वक्रों पर बिन्दु A, B, C क्रमश: विलायक, विलयन - 1 तथा विलयन - 2 के हिमांकों (T_f ,T_1 तथा T_2) तथा वाष्प दाबों ($p, p_1,$ तथा p_2) से सम्बन्धित हैं। विलयनों के हिमांक T_1 और T_2 शुद्ध विलायक के हिमांक T_f से कम है। यही बात वाष्प दाब मानों पर भी लागू होती है। P_1 और P_2 के मान P से कम हैं।

आप इसे निम्न प्रकार से भी समझ सकते है -

	विलायक		विलयन - 1		विलयन - 2
हिमांक	T_f	>	T_1	>	T_2
वाष्प दाब	p	>	p_1	>	p_2

चित्र 6.2 के अनुसार विलयनों के हिमांक अवनमन तथा वाष्प दाब अवनम निम्न प्रकार लिखे जा सकते हैं -

विलयन - 1 के हिमांक में अवनमन= $T_f - T_1$ (रेखा BD द्वारा प्रदर्शित)

विलयन - 2 के हिमांक में अवनमन= $T_f - T_2$ (रेखा CE द्वारा प्रदर्शित)

विलयन - 1 के वाष्प दाब में अवनमन $p - p_1$ (रेखा AD द्वारा प्रदर्शित)

विलयन - 2 के वाष्प दाब में अवनमन $p - p_2$ (रेखा AE द्वारा प्रदर्शित)

तनु विलयनों के लिये चित्र 6.2 के वक्रों के भाग सीधी रेखा समान लिये जा सकते हैं। यहां त्रिभुज ABC तथा त्रिभुज ACE समरूप है। इन त्रिभुजों की समरूपता के आधार पर लिखा जा सकता है कि,

$$\frac{BD}{CE} = \frac{AD}{AE}$$

अथवा $$\frac{T_f - T_1}{T_f - T_2} = \frac{p - p_1}{p - p_2}$$ (रेखाओं के मान रखने पर)

अथवा $$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}$$

यहां ΔT_1 और ΔT_2 हिमांक में कमी अथवा अवनमन को प्रदर्शित करते हैं तथा Δp_1 और Δp_2 वाष्प दाब में कमी या अवनमन को प्रदर्शित करते हैं।

अत: $$\Delta T_f \propto \Delta p$$ ...(6.11)

अर्थात् हिमांक अवनमन वाष्प दाब अवनमन के समानुपाती होता है।

अत्यन्त तनु विलयनों के लिये राऊल के नियमानुसार,

$$\frac{p - p_s}{p} = \frac{n}{N}$$

यदि w ग्राम विलेय (जिसका मोलर द्रव्यमान m है) W ग्राम विलायक (जिसका मोल द्रव्यमान M है), में घुला है तो इस विलयन के लिये

$$n = \frac{w}{m} \text{ और } N = \frac{W}{M}$$

अत: $$\frac{p - p_s}{p} = \frac{w/m}{W/M}$$

अथवा $$\Delta p = p\frac{wM}{mW}$$

अथवा $$\Delta p \propto p\frac{wM}{mW}$$

अथवा $$\Delta T_f \propto \frac{wM}{mW}$$ (समीकरण 6.11 से)

अथवा $$\Delta T_f = kp\frac{wM}{mW}$$

अत: $$\Delta T_f = \frac{kw}{mW}$$ (क्योंकि p और M के मान भी स्थिर है) ...(6.12)

यहां k अवनमन स्थिरांक' (depression constant) कहलाता है।

समीकरण (6.12) में यदि $m/w = 1$ (एक मोल) तथा $W = 1$ ग्राम हो तो, $\Delta T_f = k$ होगा।

इसका अर्थ है कि किसी विलायक का अवनमन स्थिरांक (k) किसी अवाष्पशील विलेय के एक मोल को एक ग्राम विलेय में घोलने पर विलायक के हिमांक में उत्पन्न कमी या अवनमन के बराबर होता है।

परन्तु आप समझते हैं कि एक मोल विलेय को एक ग्राम विलेय में घोलना सम्भव नहीं है। अत: विलायक की मात्रा 1000 ग्राम ली जाती है और विलेयता को मोललता मे व्यक्त करते हैं।

समीकरण (6.12) में $m/w = 1$मोल तथा W= 1000 ग्राम रखने पर,

$$\Delta T_f = \frac{k}{1000} = K_f$$

अर्थात्

$$K = 1000K_f \quad ...(6.13)$$

यहां K_f विलायक का मोलल अवनमन स्थिरांक कहलाता है। इसे मोलल हिमांक स्थिरांक अथवा हिमांकमितीय स्थिरांक भी कहते हैं।

मोलर अवनमन स्थिरांक (K_f) हिमांक में उस अवनमन के बराबर है। जो विलेय के एक मोल को 1000 ग्राम विलायक में घोलने पर प्राप्त होता है। K_f को डिग्री से. किग्रा. प्रतिमोल इकाई द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

समीकरण (6.12) में K का मान समीकरण (1.13) से रखने पर,

$$\Delta T_f = \frac{1000K_f.w}{m.W} \quad .....(6.14)$$

उक्त समीकरण (6.14) के आधार पर विलेय पदार्थ का मोलर द्रव्यमान अर्थात् अणु भार ज्ञात किया जा सकता है,

$$m = \frac{1000K_f.w}{\Delta T_f.W} \quad .....(6.15)$$

विलेय की तोली हुई मात्रा (w) को विलायक की तोली हुई मात्रा (W) में घोलकर का विलयन का हिमांक अवनमन (ΔT_f) ज्ञात किया जाता है। विलायक के लिये उपलब्ध K_f का मान तथा अन्य मान समीकरण (6.15) में रखकर कर विलेय पदार्थ के मोलर द्रव्यमान की गणना कर ली जाती है।

बोध प्रश्न

6. निम्नलिखित कथनों में सत्य / असत्य बताइये -
   - (क) जब किसी अवाष्पशील पदार्थ को विलायक में घोलते हैं तो विलेय का वाष्प दाब कम हो जाता है। (सत्य/असत्य)
   - (ख) विलयन का हिमांक शुद्ध विलायक के हिमांक से कम होता है। (सत्य/असत्य)
   - (ग) विलयन के हिमांक का अवनमन, वाष्प दाब के अवनमन के समानुपाती होता है।(सत्य/असत्य)
   - (घ) किसी विलायक के मोलल अवनमन स्थिरांक को मोलल हिमांक स्थिरांक कहना गलत होगा। (सत्य/असत्य)
7. मोलल अवनमन स्थिरांक के अन्य दो नाम क्या हैं?

   (1)........................ (2)....................
8. सूत्र में क्या होताहै?

   ....

नोट. आप अपने उत्तरों की जांच हेतु इस इकाई के भाग 6.11 में दिये गये उत्तरों से मिलान करें।

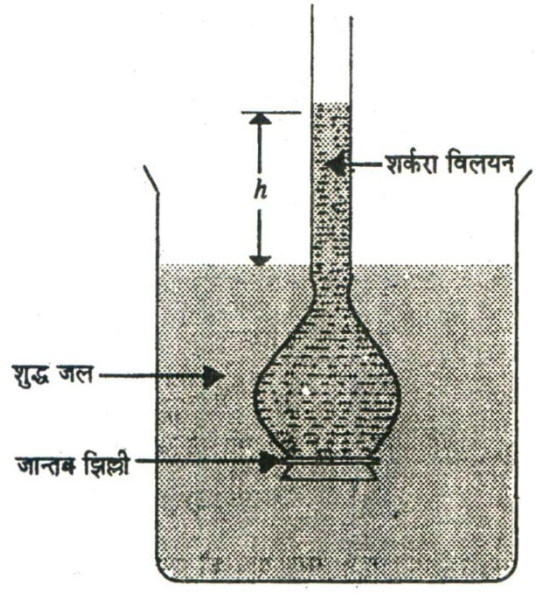
6.6 परासरण दाब (Osmotic Pressure) :

यदि सूखे मटरों को अथवा किशमिश को कुछ समय के लिये जल में रखा जाये तो ये फूल जाते हैं। इसी प्रकार चने या साबुत दालें रात भर जल में रखी जाती हैं तो ये फूल जाते हैं। इसका कारण है कि इन खाघ पदार्थो का जो झिल्ली रूपी छिलका होता है उसमें होकर जल के अणु भीतर प्रवेश कर जाते हैं। परन्तु भीतर का कोई भी अवयव बाहर नहीं आता। अत: जल में भिगोये रखने पर उक्त पदार्थ फूल जाते हैं। क्योंकि इन पदार्थो का छिलका अर्द्ध पारगम्य झिल्ली का कार्य करता है तथा मात्र विलायक के अणुओं को झिल्ली के एक ओर से दूसरी ओर जाने देता है। विलेय पदार्थ के कण झिल्ली को पार नहीं कर सकते।

परिभाषा के अनुसार, "कम सान्द्रता वाले विलयन से विलायक के अणुओं का अर्द्धपारागम्य झिल्ली में होकर उच्च सान्द्रता वाले विलयन की ओर होने वाला स्वत: प्रवर्तित प्रवाह परासरण कहलाता है।"

स्वत: प्रवर्तित प्रवाह तब तक होता रहता है जब तक साम्य स्थापित न हो जाये। साम्य की स्थिति में झिल्ली के दोनों ओर सान्द्रता समान हो जाती है।

परासरण की परिघटना का अवलोकन सर्वप्रथम 1748 में ऐबे नोलेट (Abbe Nollet) ने एक साधारण प्रयोग के माध्यम से किया। इस प्रयोग में एक थिसेल कीप के मुंह पर एक जांतव झिल्ली (animal membrane) लगाकर इसे चीनी के विलयन भर लेते हैं और फिर इसे जल से भरे पात्र में उलट कर लटका देते हैं, जैसा चित्र 6.3 में प्रदर्शित है।



चित्र 6.3 : परासरण प्रदर्शन

थिसेल कीप में विलयन का स्तर तथा पात्र में जल स्तर प्रारम्भ में एक ही स्थिति में रखा जाता है जिससे दोनों पर वायुमण्डलीय दाब समान हो। इस स्थिति को चित्र में A से अंकित किया है।

पात्र के जल के अणु परासरण के प्रभाव से झिल्ली में होकर थिसेल कीप के स्तम्भ में प्रवेश करते हैं। इससे वहाँ जल स्तर में वृद्धि प्रारम्भ हो जाती है और यह अधिकतम ऊंचाई B, तक पहुंचती है। यह स्थिति साम्य अवस्था है जबकि थिसेल कीप के भीतर के द्रव का दाब, पात्र से झिल्ली के माध्यम से प्रवेश करने वाले जल के अणुओं को रोकने में सक्षम हो जाता है। द्रव में उत्पन्न यह दाब परासरण दाब कहलाता है।

परिभाषा के अनुसार, "वह द्रव स्थैतिक दाब (hydrostatic pressure) जो अर्द्धपारगम्य झिल्ली द्वारा जल के और अधिक अणुओं के प्रवाह को रोकने हेतु पर्याप्त हो, परासरण दाब कहलाता है।" परासरण दाब सामान्यत: π (पाई) द्वारा व्यक्त किया जाता है। यदि उक्त प्रयोग में थिसेल कीप के स्तम्भ में विलयन के स्तर में h वृद्धि होती है तो परासरण दाब,

$$\pi = hdg \quad ...(6.15)$$

जहां, d विलयन का घनत्व तथा g गुरूत्वीय त्वरण है।

परासरण दाब एक अणुसंख्य गुणधर्म है क्योंकि यह पदार्थ के कणों की संख्या पर निर्भर करता है न कि उसकी प्रकृति पर।

6.6.1 परासरण दाब की गणना कर विलेय का मोलर द्रव्यमान ज्ञात करना

तनु विलयनों के लिये वान्ट हॉफ समीकरण निम्नलिखित है -

$$\pi V = nRT \quad ....(6.16)$$

या $$\pi = \frac{n}{V} RT$$

या $$\pi = 1CRT$$ (यहां n/V मोलर सान्द्रता C)... (6. 17)

यदि w ग्राम विलेय विलयन में उपस्थित है तथा इसका द्रव्यमान m है, तो

$$n = \frac{w}{m}$$

समीकरण (6.16) में n का मान रखने पर,

$$\pi v = \frac{w}{m} RT \quad ....(6.18)$$

अत: समीकरण (6.16) (6.17) अथवा (6.18) किसी से भी परासरण दाब (π) की गणना की जा सकती है। समीकरण (6.18) के आधार पर मोलर द्रव्यमान (m) की गणना की जा सकती है।

$$m = \frac{wRT}{\pi V} \quad .....(6.19)$$

विलेय की तोली हुई मात्रा (w) को विलायक के ज्ञात आयतन (V) में घोलकर प्राप्त विलयन का तापमान (T) तथा परासरण दाब (π) मापने से विलेय का मोलर द्रव्यमान समीकरण (6.19) द्वारा ज्ञात कर सकते हैं। R एक स्थिरांक है जिसका मान 0.0821 लीटर वायुमण्डल K^{-1} मोल - 1 होता है।

6.7 अणुसंख्य गुणधर्मों के अपसामान्य मान (Abnormal Values of Colligative Properties) :

इस इकाई में आप जान चुके हैं कि अणुसंख्य गुणधर्मों के मान विलयन में घुले हुये विलेय के कणों की संख्या पर निर्भर करते हैं।

यदि विलयन में विलेय के अणुओं की आण्विक अवस्था में कोई परिवर्तन नहीं होता तो विलयन में विलेय के कणों की संख्या के मान सामान्य अथवा सैद्धान्तिक मान कहलाते हैं।

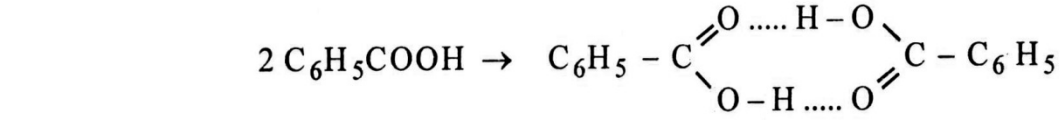
विलयन में यदि विलेय के अणुओं का वियोजन होता है तो कणों की संख्या बढ़ जाती है और यदि विलेय के कण संगुणित होते है तो कणों की कुल संख्या में कमी आ जाती है।

विलेय के कणों की वृद्धि या कमी का प्रभाव अणुसंख्य गुणधर्मों पर पड़ता है और उसी के अनुरूप अणुसंख्य गुणधर्म परिवर्तित होते है । इस प्रकार प्राप्त मान अणुसंख्य गुणधर्मों के अपसामान्य कहलाते हैं।

अणुसंख्य गुणधर्मों के अपसामान्य मानों का प्रभाव क्वथनांक के उन्नयन, हिमांक के अवनमन, वाष्पदाब के अवनमन और परासरण दाब आधारित अणु भार मानों पर भी पड़ता है।

उदाहरण के लिये बेन्जोइक अम्ल (C_6H_5COOH) को बेन्जीन विलायक में घोलकर अम्ल का अणुभार हिमांक के अवनमन के आधार पर ज्ञात किया जाता है तो अणु भार का मान 244 आता है जबकि अणुसूत्र से अणुभार 122 निकाला गया।

इस प्रकार बेन्जोइक अम्ल के अणुभार का प्रायोगिक मान उसके सैद्धान्तिक मान से दुगुना है । इसका, कारण बेन्जीन विलयन में बेन्जोइक अम्ल के दो अणुओं का मिलकर द्विलक बनाना है, जैसा कि आगे समीकरण द्वारा प्रदर्शित किया गया है ।



इस प्रकार बने द्विलकों के कारण बेन्जोइक अम्ल का प्रायोगिक मान (244) उसके सैद्धान्तिक मान (122) से दुगुना होता है ।

इसके विपरित यह देखा गया है कि प्रबल विद्युत अपघट्य जैसे KCI के अणुभार का अणुसंख्य गुणधर्मों पर आधारित मान उसके सैद्धान्तिक मान से आधा होता है । इसका कारण है कि जलीय विलयन में KCL के वियोजन से विलेय के कणों की संख्या दुगुनी हो जाती है, जैसा कि निम्नलिखित समीकरण से स्पष्ट है ।

$$KCI \rightleftharpoons K^{+} + CI^{-}$$

एक कण   दो कण

उक्त उदाहरणों में आपने पाया कि पदार्थ कणों के संगुणन और विघटन के कारण अणुसंख्य गुणधर्मों के अपसामान्य प्राप्त होते हैं । अर्थात ऐसे मान प्राप्त होते हैं, जो सामान्य मानों से सर्वथा भिन्न होते है ।

1886 में वान्ट हॉफ (Van't Hoff) ने संगुणन अथवा विघटन की सीमा बताने हेतु एक गुणक दिया जिसे वान्ट हॉफ गुणक कहते है तथा इसे अंग्रेजी के अक्षर i से प्रदर्शित करते हैं ।

वॉन्ट हॉफ के अनुसार,

$$i = \frac{\text{सामान्य आण्विक द्रव्यमान}}{\text{प्रायोगिक आण्विक द्रव्यमान}}$$

जब संगुणन होता है तो i का मान एक से कम होता है । उदाहरण के लिये बेन्जोइक अम्ल के बेन्जीन विलयन के लिये i का मान 0.5 होता है।

$$i = \frac{\text{बेंजोईक अम्ल का आण्विक द्रव्यमान}}{\text{बेंजोईक अम्ल का प्रायोगिक आण्विक द्रव्यमान}}$$

$$= \frac{122}{244} = 0.5$$

दूसरे उदाहरण, पोटैशियम क्लोराइड के जल मे विलयन के लिये i का मान 2 है ।

$$i = \frac{\text{KCL का आण्विक द्रव्यमान}}{\text{KCL का प्रायोगिक आण्विक द्रव्यमान}}$$

$$= \frac{74.5}{37.2} = 2 \text{ (लगभग)}$$

वॉन्ट हॉफ गुणक का उपयोग करते हुये अणुसंख्य गुणधर्मों सम्बन्धी सूत्रों में सुधार किये गये जो निम्न प्रकार हैं ।

$$\Delta T_b = \frac{i.1000 k_{b.} w}{mW}$$

हिमांक के अवनमन के

$$\Delta T_F = \frac{i.1000 k_{f.} w}{mW}$$

परासरण दाब के लिये,

$$\pi V = inRT$$

बोध प्रश्न

9. निम्नलिखित कथनों में सत्य/असत्य बताइये -

(क) कम सान्द्रता वाले विलयन से विलायक के अणुओं का प्रवाह अर्द्धपारगम्य झिल्ली से होकर उच्च सान्द्रता वाले विलयन में होता है।
(सत्य/असत्य)

(ख) अधिक सान्द्रता वाले विलयन से विलेय के अणुओं का प्रवाह अर्द्धपारगम्य झिल्ली से होकर कम सान्द्रता वाले विलयन में होता है।
(सत्य/असत्य)

(ग) अर्द्धपारगम्य झिल्ली से विलायक के अणु एक ओर से दूसरी ओर निकल जाते हैं परन्तु विलेय के अणु नहीं निकल पाते

(सत्य/असत्य)

(घ) बेन्जीन विलयन में बेन्जोइक अस्त के अणुओं का संगुणन होता है जिससे उसका प्रायोगिक आण्विक द्रव्यमान कम हो जाता है।

(सत्य/असत्य)

10 निम्नलिखित वाक्यों में रिक्त स्थानों की पूर्ति, कोष्ठक में दिये गये शब्द/शब्द समूह का चयन कर कीजिये-

(क) अर्द्धपारगम्य झिल्ली के माध्यम से ..... के कणों का स्वत: प्रवर्तित प्रवाह परासरण कहलाता है ।

(विलेय/विलायक/विलयन)

(ख) परासरण दाब को व्यक्त करने वाला समीकरण, है। यहां d के द्वारा .....के घनत्व को दर्शाया गया है।

(विलेय/विलायक/विलयन)

(ग) बेन्जोइक अस्त के बेन्जीन में विलयन के लिये वान्ट हॉफ गुणक का मान 0.5 है, क्योकिइस विलयन में बेन्तोइक अम्ल के अणुओं का ..... होता है। (संगुणन/वियोजन/वाष्पन)

(घ) जल में भिगाये सूखे मटर कुछ घंटों में फूल जाते हैं । इसका कारण जल के अणुओं का मटर में ..... है ।

(परासरण/संगुणन/वियोजन)

नोट : आप अपने उत्तरों का मिलान इस इकाई के भाग 6.11 में दिये गये उत्तरों से करें ।

6.8 सारांश (Summary) :

- अणुसंख्य गुणधर्म पदार्थो की प्रकृति पर निर्भर नहीं करते, उनके कणों की संख्या पर निर्भर करते हैं।

- अणुसंख्य गुणधर्म है - वाष्पदाब का अवनमन, क्वथनांक का उन्नयन, हिमांक का अवनमन तथा परासरण दाब ।
- जब किसी अवाष्पशील और अपअपघट्य पदार्थ को किसी द्रव में घोला जाता है तो विलायक का वाष्पदाब' कम हो जाता है ।
- वाष्पदाब अवनमन द्वारा पदार्थो का अणुभार (m) निकालने का समीकरण है -

$$\frac{p - p_s}{p} = \frac{wM}{mM}$$

- विलयन का क्वथनांक शुद्ध विलायक के क्वथनांक से सदैव अधिक होता है । इसे क्वथनांक का उन्नयन कहते हैं ।

- क्वथनांक के उन्नयन से विलेय का मोलर द्रव्यमान (m) ज्ञात करने का सूत्र है

$$m = \frac{1000k_b.w}{\Delta T_b.W}$$

- विलयन का हिमांक शुद्ध विलयन के हिमांक से कम होता है । इसे हिमांक का अवनमन कहते हैं ।

- हिमांक के अवनमन से विलेय का मोलर द्रव्यमान (m) ज्ञात करने का सूत्र है,

$$m = \frac{1000k_f.w}{\Delta T_f.W}$$

- कम सान्द्रता वाले विलयन से विलायक के अणुओं का अर्द्धपारगम्य झिल्ली में होकर उच्च सान्द्रता वाले विलयन की ओर होने वाला स्वत: प्रवर्तित प्रवाह परासरण कहलाता है
- अर्द्धपारगम्य झिल्ली के माध्यम से होने वाले विलायक के अणुओं के प्रवाह को रोकने वाला दाब, परासरण दाब कहलाता है ।
- परासरण दाब की गणना वान्ट हॉफ समीकरण, $\pi V = nRT$ से करते हैं, जहां π परासरण दाब है ।
- परासरण दाब (π) के आधार पर अणु भार ज्ञात करने का सूत्र है,

$$m\frac{wRT}{\pi V}$$

- विलयन में विलेय पदार्थ के संगुणन अथवा वियोजन से अणुसंख्य गुणधर्मों के अपसामान्य मान प्राप्त होते हैं ।
- अणुसंख्य गुणधर्मों के अपसामान्य मानों को सामान्य करने हेतु वान्ट हॉफ गुणक i का उपयोग किया जाता है । इसके अनुसार,

क्वथनांक में उन्नयन, $\Delta T_b = \frac{i.1000k_{b.w}}{mW}$

हिमांक में अवनमन, $\Delta T_f = \frac{i.1000k_{f.w}}{mW}$

तथा परासरण दाब के लिये, $\pi V = inRT$

6.9 शब्दावली (Glossary):

विलेय	solute
विलायक	solvent
साम्यावस्था	equilibrium
वाष्प दाब	vapour pressure
सान्द्रता	Concentration
विद्युत अनअपघट्य	non-electrolyte
अवाष्पशील	non-volatile

आपेक्षिक	relative
मोलर द्रव्यमान	मोलर mass
तापमान	Temperature
समानुपाती	proportional
हिमांकमितीय	cryoscopic
अर्द्धपारगम्य	semipermeable
स्वत: प्रवर्तित	Spontaneous
परिघटना	phenomenon
संगुणन	association
वियोजन	Dissociation
द्विलक	dimer
सैद्धान्तिक	theoretical
गुणक	factor

6.10 संदर्भ ग्रंथ (Reference Books)

1. Principles of physical chemistry
   -B.R.Puri,L.R.Sharma and M.S.Pathani
2. Advanced Physical Chemistry-Prof.Gurdeep Raj
3. Principles of Chemistry-S.K.Kundra

6.11 बोध प्रश्नों के उत्तर(Answer's of SAQ's) :

1. (क) सत्य (ख) असत्य (ग) सत्य (घ) सत्य

2. $n = w/m$ तथा $n = w/m$

3. (क) कम (ख) कम (ग) समानुपाती (घ) k_b

4. $m = \dfrac{1000K_{b.}W}{mW}$

5. जब $w/m = 1$ मोल तथा $w = 1$ ग्राम हो ।

6. (क) असत्य (ख) सत्य (ग) सत्य (घ) असत्य

=

7. (क) मोलल हिमांक स्थिरांक (ख) हिमांकमितीय स्थिरांक

8. ΔT_f हिमांक अवनमत है ।

9. (क) सत्य (ख) असत्य (ग) सत्य (घ) असत्य

10. (क) विलाय (ख) विलयन (ग) संगुणन (घ) परासरण ।

क

6.12 अभ्यासार्थ प्रश्न

1. अणुसंख्य गुणधर्म किसे कहते हैं तथा ये गुण धर्म कौनसे हैं?
2. विलयन के क्वथनांक उन्नयन तथा विलेय के अणु भार में सम्बन्ध स्थापित कीजिये ।
3. वाष्प दाब किसे कहते हैं? विलयन के वाष्प दाब के आपेक्षिक अवनमन और विलेय की मोल भिन्न में क्या सम्बन्ध होता है?
4. विलयन के वाष्प दाब के आपेक्षिक अवनमन से विलेय का अणु भार किस प्रकार ज्ञात किया जा सकता है?
5. विलयन का हिमांक अवनमन क्या होता है? विलयन के हिमांक अवनमन और विलेय के अणु भार में सम्बन्ध स्थापित कीजिये ।
6. परासरण और परासरण दाब क्या है? परासरण दाब के अणुभार ज्ञात करने हेतु सूत्र व्युत्पन्न कीजिये ।
7. अणुसंख्य गुणधर्मों के अपसामान्य मान से आप क्या समझते हैं? ये मान किन स्थितियों में प्राप्त होते हैं?

इकाई 7

ऊष्मागतिकी

THERMODYNAMICS

इकाई की रूपरेखा

7.0 उद्देश्य

7.1 प्रस्तावना

7.2 कुछ आधारभूत अवधारणाएं

7.3 ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम

7.4 ऊष्मागतिकी का द्‌वितीय नियम

7.5 एन्ट्रॉपी

7.6 ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम

7.7 सारांश

7.8 शब्दावली

7.9 संदर्भ ग्रन्थ

7.10 बोध प्रश्नों के उत्तर

7.11 अभ्यासार्थ प्रश्न

7.0 उद्देश्य (Objectives)

इस इकाई के अध्ययन के पश्चात् आप समझ पायेंगे -

1. ऊष्मागतिकी का अर्थ और महत्व ।
2. ऊष्मा ऊर्जा और किये गये कार्य में सम्बन्ध ।
3. ऊष्मागतिकी सम्बन्धी मूलभूत नियम जो क्रमश: शून्य नियम प्रथम नियम द्‌वितीय नियम तथा तृतीय नियम के रूप में जाने जाते हैं ।

7.1 प्रस्तावना (Introduction)

ऊष्मागतिकी का सामान्य अर्थ ऊष्मा का प्रवाह है । दूसरे शब्दों में ऊष्मा के प्रवाह का अध्ययन ऊष्मागतिकी कहलाता है । ऊष्मागतिकी के अन्तर्गत आप ऊष्मा और ऊर्जा के अन्य रूपों के मध्य मात्रात्मक सम्बन्धों का अध्ययन करेंगे । ऊर्जा के विभिन्न रूप जैसे ऊष्मा ऊर्जा, विद्‌युत ऊर्जा, रासायनिक ऊर्जा, यांत्रिक ऊर्जा, विकिरण ऊर्जा आदि परस्पर एक दूसरे में मात्रात्मक रूप से परिवर्तित होते हैं ।

इस इकाई में आप रासायनिक पदार्थो के भौतिक रूपान्तरों और रासायनिक अभिक्रियाओं के परिणाम स्वरूप होने वाले ऊर्जा के परिवर्तनों का विशेष रूप से अध्ययन करेगें ।

ऊर्जा, कार्य करने की क्षमता का माप है । प्रयोगों और अनुभवों के आधार पर यह पाया गया कि कार्य ऊर्जा को पूर्णत: समतुल्य मात्रा में ऊष्मा में परिवर्तित किया जा सकता है, किन्तु ऊष्मा ऊर्जा को पूर्णत: कार्य ऊर्जा में रूपान्तरित नहीं किया जा सकता । जेम्स जूल ने 1840 में सर्वप्रथम यह बतलाया कि यांत्रिक कार्य का परिमाण (W) उत्पन्न ऊष्मा के परिमाण (H का समानुपाती होता है ।

$$W \propto H \quad \text{अथवा} \quad W = JH$$

यहां J ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक है । यदि $H = 1$ कैलोरी हो तो $W = J$ होगा । अत: ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक (J) एक कैलोरी ऊष्मा उत्पन्न करने हेतु किये कार्य कार्य का परिमाण हैं-

1 कैकोरी ऊष्मा 4.185 जूल अथवा 4.185×10^7 अर्ग के बराबर होती है । ऊष्मागतिकी के मूल नियम अनुभवों पर आधारित हैं जिन्हें आप इस इकाई में जानेगें । ये नियम निम्नलिखित हैं -

1. शून्य नियम (Zeroth Law) - इस नियम के अनुसार, " यदि दो वस्तुएं किसी तीसरी वस्तु के साथ पृथक रूप से ऊष्मीय साम्य में हैं, तो वे दोनों वस्तुएं परस्पर भी ऊष्मीय साम्य में होंगी। "
2. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम - ब्रह्माण्ड की कुल ऊर्जा स्थिर होती हैं ।
3. ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम - ब्रह्माण्ड की एन्ट्रॉपी निरन्तर बढ़ रही है ।
4. ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम - पूर्ण शुद्ध क्रिस्टलीय पदार्थ की एन्ट्रॉपी परम शून्य ताप पर शून्य होती है ।

7.2 कुछ आधारभूत अवधारणाएं (Some fundamental concepts)

ऊष्मागतिकी के नियमों का अध्ययन करने से पूर्व कुछ उपयोगी पदों और अवधारणाओं का समझना आवश्यक हैं, जो निम्नलिखित हैं

1. तन्त्र अथवा **निकाय (System) :**

ब्रह्माण्ड का वह विशिष्ट भाग जिसे ऊष्मागतिकी अध्ययन के चुना गया हो और ब्रह्माण्ड के शेष भाग से वास्तविक अथवा काल्पनिक सीमा द्वारा पृथक हो, तन्त्र या निकाय कहलाता है । उदाहरण के लिये एक सिलिण्डर में भरी गैस, जिसे अध्ययन हेतु चुना गया है, एक तंत्र है ।

2. पारिपार्श्विक (Surrounding) :

तन्त्र के अतिरिक्त ब्रह्माण्ड का शेष भाग पारिपार्श्विक कहलाता है । उक्त उदाहरण में गैस सिलिण्डर के बाहर ब्रह्माण्ड का सम्पूर्ण भाग इस तन्त्र का पारिपार्श्विक कहलायेगा ।

3. संगामी और विषमांगी तन्त्र (Homogeneous and Heterogeneous Systems) :

वह तन्त्र, जिसके सम्पूर्ण भाग के गुणों में समानता हों और सभी भागों का संघटन समान हो अर्थात् पूरे तन्त्र की प्रावस्था एक हो, संगामी तन्त्र कहलाता है । जैसे कोई ठोस तत्व अथवा यौगिक, एक द्रव, गैसों का मिश्रण, विलयन आदि ।

वह तन्त्र जिसमें एक से अधिक प्रावस्थाएं साम्य में विद्यमान हो अर्थात् तन्त्र के विभिन्न भागों के गुण एवं संघटन असमान हो, विषमांगी तन्त्र कहलाता है । उदाहरण के लिये ठोस मिश्रण, कोलाइडी विलयन, आदि ।

4. खुला और बंद तंत्र (Open and Closed Systems) :

जब तंत्र और पारिवार्श्विक के मध्य द्रव्य और ऊर्जा दोनों का विनिमय सम्भव हो, तो उसे खुला तंत्र कहते हैं । उदाहरण - खुले पात्र में रखा गर्म जल ।

जब तंत्र और पारिपार्श्विक के मध्य ऊर्जा का विनिमय तो सम्भव हो परन्तु द्रव्य (पदार्थ) का विनिमय सम्भव न हो, तो उसे बंद तंत्र कहते है । उदाहरण - एक बंद पात्र में रखा में रखा गर्म जल ।

5. विलगित तंत्र (Isolated System) :

जब तंत्र और पारिपार्श्विक के मध्य द्रव्य और ऊर्जा दोनों का विनिमय सम्भव नहीं होता, तो इस प्रकार का तंत्र विलगित तंत्र कहलाता है । उदाहरण के लिये थर्मस पलास्क में रखा गर्म जल ।

6. तंत्र की अवस्था (State of a System.) :

किसी तंत्र की अवस्था को निर्धारण करने वाले कारक ताप, दाब, आयतन और संघटन होते हैं । ये गुण तंत्र की अवस्था के चर या परिवर्ती कहलाते हैं । यदि एक संगामी तंत्र, जिसमें एक ही पदार्थ लिया गया हो, का अध्ययन करना हो तो एक तंत्र के लिये संघटन स्वत: ही निश्चित हो जाता है । ताप, दाब एवं आयतन ही तंत्र की अवस्था के चर होगें । यदि पदार्थ गैसीय अवस्था में है, और इन चरों में से दो चर ज्ञात है तो तीसरा चर गैस समीकरण ($PV = RT$) से ज्ञात हो जायेगा ।

7. तंत्र के गुण (Properties of System):

तंत्र के गुण दो प्रकार के होते हैं - मात्राश्रित और मात्रा स्वतंत्र । मात्राश्रित गुण तंत्र में उपस्थित पदार्थ की मात्रा पर निर्भर करते हैं । ये गुण है - आयतन, द्रव्यमान, ऊर्जा, एन्ट्रॉपी, एन्थैल्पी आदि।

मात्रास्वतंत्र गुण तंत्र में उपस्थित पदार्थ की सान्द्रता पर निर्भर करते हैं, पदार्थ की मात्रा पर नहीं। इनके उदाहरण है - घनत्व, गलनांक, क्वथनांक, विस्कासिता पृष्ठतनाव, विशिष्ट ऊष्मा आदि ।

8. उष्मागतिक प्रक्रम (Thermodynamic Process) :

तन्त्र के एक अवस्था से दूसरी अवस्था में परिवर्तन को उष्मागतिक प्रक्रम कहते हैं। ये प्रक्रम निम्न प्रकार के होते हैं -

(क) समदाबी प्रक्रम (Isobaric Process) - इस उष्मागतिक प्रक्रम में दाब स्थिर रहता है।

(ख) समतापी प्रक्रम (Isothermal Process) - यह प्रक्रम स्थिर ताप पर होता है।

(ग) समआयतनिक प्रक्रम (Isochoric Process) - इस प्रक्रम के मध्य तन्त्र का आयतन स्थिर रहता है।

(घ) रुद्धोष्म प्रक्रम (Adiabalic Process) - इस प्रक्रम में तंत्र तथा पारिपार्श्विक के मध्य ऊष्मा का आदान-प्रदान सम्भव नहीं होता।

(ङ) चक्रीय प्रक्रम (Cyclic Process) - इस प्रक्रम में तन्त्र विभिन्न अवस्थाओं में से गुजरकर पुन: अपनी प्रारम्भिक अथवा मूल अवस्था प्राप्त कर लेता है।

9. उत्क्रमणीय तथा अनुत्क्रमणीय प्रक्रम (**Reversible and Irreversible Process)** :

उत्क्रमणीय प्रक्रम में प्रेरक बल और विरोधी बल के मध्य अति सूक्ष्म अन्तर होता है। इस प्रक्रम में तन्त्र और पारिपार्श्विक सदैव साम्य अवस्था में रहते हैं।

अनुत्क्रमणीय प्रक्रम में तन्त्र और पारिपार्श्विक साम्य अवस्था में नहीं रहते। प्रकृति में होने वाले सभी स्वत: प्रक्रम अनुत्क्रमणीय प्रक्रम के उदाहरण हैं, जैसे गैस का विसरण उच्च दाब से निम्न दाब की ओर, जल का प्रवाह उच्च तल से निम्न तल की ओर, ऊष्मा का प्रवाह उच्च ताप से निम्न ताप की ओर आदि।

अनुत्क्रमणीय प्रक्रम को बाह्य कार्य द्वारा उत्क्रमणीय प्रक्रम में परिवर्तित किया जा सकता है। जैसे पम्प द्वारा जल का प्रवाह निम्न स्तर से उच्च स्तर की ओर करना आदि।

10. उष्मागतिक साम्य - ये तीन प्रकार के होते हैं -

(i) तापीय साम्य - तन्त्र के एक भाग से दूसरे भाग में ऊष्मा का प्रवाह नहीं होता तथा सम्पूर्ण तन्त्र समान ताप पर रहता है।

(ii) यांत्रिक साम्य- इस साम्य स्थिति में तंत्र का एक भाग दूसरे भाग पर कोई यांत्रिक कार्य नहीं करता अर्थात् तंत्र में पदार्थ का प्रवाह नहीं होता।

(iii) रासायनिक साम्य - इस साम्य स्थिति में समय के साथ तंत्र में उपस्थित प्रावस्थाओं से संघटन में अर्थात् सान्द्रता में परिवर्तन नहीं होता।

11.**कार्य तथा ऊष्मा -**

ऊर्जा के दो रूप है जो ऊष्मागतिकी में बहुत महत्वपूर्ण हैं। कार्य यांत्रिक ऊर्जा है जो पूर्ण रूप से ऊष्मा में परिवर्तित हो जाता है। इसी प्रकार ऊष्मा को भी कार्य में परिवर्तित किया जा सकता है। ऊष्मा किसी प्रकार का द्रव्य नहीं है जिसे कहीं रखा जा सके या वह जल की तरह बह सके। यह दो यन्त्रों के मध्य ऊर्जा स्थानान्तरण का प्रक्रम है जो तभी कार्यरत होता है, जब यन्त्रों के मध्य ताप का अन्तर होता है।

इसी प्रकार कार्य भी कोई द्रव्यमान नहीं है। यह ऊर्जा स्थानान्तरण का प्रक्रम है जो तन्त्र और उसके पारिपार्श्विक पर लागू होता है। जब तन्त्र अपने पारिपार्श्विक पर कार्य करता है तो तन्त्र की ऊर्जा कम हो जाती है और पारिपार्श्विक की ऊर्जा बढ़ जाती है।

12. आन्तरिक या अन्तर्निहित ऊर्जा -

एक तन्त्र में उपस्थित पदार्थ के अणुओं के स्थानान्तरण, घूर्णन और कम्पन गतियों द्वारा उत्पन्न ऊर्जा तथा उपस्थित इलेक्ट्रॉनों तथा नाभिकों की ऊर्जा को सम्मिलित रूप से तन्त्र की आन्तरिक या अन्तर्निहित ऊर्जा कहते हैं। इसे जूल (J) अथवा किलो जूल (SI) में व्यक्त किया जाता है।

किसी तन्त्र की आन्तरिक ऊर्जा तन्त्र में उपस्थित पदार्थ की रासायनिक प्रकृति (संघटन और संरचना), ताप, दाब तथा आयतन पर निर्भर करती है। ये कारक तन्त्र की अवस्था निर्धारित करते

हैं अत: आन्तरिक ऊर्जा तन्त्र की अवस्था पर निर्भर करती है। यह अवस्था परिवर्तन के पथ पर निर्भर नहीं करती।

बोध प्रश्न

1. निम्नलिखित कथनों में सत्य / असत्य बताइये-
   (क) ऊर्जा के विभिन्न रूपों का परस्पर परिवर्तन मात्रात्मक होता है। (सत्य / असत्य)
   (ख) समीकरण, में ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक है। (सत्य / असत्य)
   (ग) कोलाइडी विलयन, संगामी तन्त्र का एक उदाहरण है। (सत्य / असत्य)
   (घ) बन्द तन्त्र का एक उदाहरण थर्मस फ्लास्क में भरा गर्म जल है। (सत्य / असत्य)
2. निम्नलिखित वाक्यों के रिक्त स्थानों की पूर्ति साथ दिये गये कोष्ठक से शब्द / शब्द समूह का चयन कर कीजिये-
   (क) किसी तन्त्र की आन्तरिक ऊर्जा तन्त्र में उपस्थित पदार्थ की रासायनिक प्रकृति, ताप,..... पर निर्भर करती है। (गलनांक एवं थनांक दाब एवं आयतन)
   (ख) उष्मागतिक साम्य तीन प्रकार के होते हैं- तापीय साम्य, रासायनिक साम्य और.....। (यांत्रिक साम्य / दाब साम्य)
   (ग) रूद्धोष्य प्रक्रम में तंत्र और पारिपार्श्विक के मध्य..... का आदान-प्रदान सम्भव नहीं होता। (द्रव्यमान / ऊष्मा)
   (घ) जब तन्त्र और पारिपार्श्विक के मध्य द्रव्य और ऊर्जा, दोनों का विनिमय सम्भव नहीं होता, तो यह तन्त्र..... कहलाता है । (बन्द तन्त्र / विलगित तन्त्र)
3. जब तन्त्र और पारिपार्श्विक के मध्य ऊर्जा का विनिमय सम्भव हो परन्तु द्रव्य का विनिमय सम्मव न हो, तो यह तन्त्र निम्न में से कौनसा होगा?
   खुला तन्त्र, बन्द तन्त्र अथवा विलगित तन्त्र
   .....
4. निम्नलिखित में से कौनसे समांगी तन्त्र के और कौनसे विषमांगी तन्त्र के उदाहरण है?
   हाइड्रोजन गैस, जल, नमक का विलयन, कोलाइडी विलयन, कार्बन के अपर रूपों ग्रेफाइट,काजल और हीरे के कणों का मिश्रण।
   .....

7.3 ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम (First Law of Thermody namics)

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम को ऊर्जा संरक्षण का नियम भी कहते हैं। राबर्ट मेयर और हैल्महोल्ट्ज द्वारा प्रस्तावित ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार, "ऊर्जा को न तो उत्पन्न

किया जा सकता है और ना ही नष्ट किया जा सकता है परन्तु एक प्रकार की ऊर्जा का दूसरे प्रकार की ऊर्जा में परिवर्तन किया जा सकता है।"

उक्त नियम के आधार पर निम्नलिखित निष्कर्ष सामने आते हैं -

(i) ब्रह्माण्ड (तंत्र और पारिपार्श्विक) की कुल ऊर्जा स्थिर है।

(ii) जब भी एक प्रकार की ऊर्जा लुप्त होती है तो उसके तुल्य दूसरे प्रकार की ऊर्जा उत्पन्न हो जाती है।

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के आधार के पर यह ही कहा गया कि ऐसी शाश्वत् गति मशीन का निर्माण असम्भव है जो कि तुल्य मात्रा में ऊर्जा लिये बिना, उतने ही कार्य का उत्पादन कर सके।\

7.3.1 ऊष्मा गतिकी के प्रथम नियम का गणितीय व्यंजक -

माना एक गैसीय तंत्र ऊष्मा की 'q' मात्रा अवशोषित कर अपनी प्रारम्भिक अवस्था 'A'से अंतिम अवस्था 'B'' में आ जाता है। इस अवस्था परिवर्तन में यदि तंत्र द्वारा पारिपार्श्विक पर किया गया कार्य 'W'' हो, तब ऊष्मागतिकी के प्रथम निगम के अनुसार-

$$\Delta E = E_B - E_A \qquad \text{..... (7.1)}$$

यहां ΔE तंत्र में हुई ऊर्जा की वृद्धि है, E_B तथा E_A क्रमश: अंतिम अवस्था A और प्रारम्भिक अवस्था B की ऊर्जाएं हैं।

तंत्र द्वारा अवशोषित ऊर्जा तंत्र की ऊर्जा में वृद्धि और तंत्र द्वारा किये गये कार्य के योग के बराबर होती है -

$$q = \Delta E + w$$

अथवा $$\Delta E = q - w \qquad \text{....(7.2)}$$

समीकरण (7.2) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का गणितीय रुप है।

यदि तंत्र द्वारा ऊष्मा का अवशोषण होता है तो ''q' का मान धनात्मक होगा तथा यदि तंत्र द्वारा ऊष्मा उत्सर्जित होती है तो 'q' का मान ऋणात्मक होगा।

यदि तंत्र द्वारा पारिपार्श्विक पर कार्य किया जाता है तो W का मान ऋणात्मक होता है तथा यदि तंत्र पर पारिपार्श्विक द्वारा कार्य किया जाता है तो W का मान धनात्मक होगा।

7.3.2 ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुप्रयोग

आप जान चुके हैं कि ऊष्मागतिकी वह विज्ञान है जो भौतिक और रासायनिक क्रियाओं से सम्बन्धित विभिन्न ऊर्जाओं और ऊष्मा के मात्रात्मक सम्बन्ध का ज्ञान करवाता है।

ऊष्मागतिकी का सम्बन्ध ऊर्जा परिवर्तन से है। आप जानते हैं कि प्रकाश संश्लेषण अभिक्रिया में पेड़ पौधे वायुमण्डल में उपस्थित जल और कार्बनडाइऑक्साइड का उपयोग कर तथा सूर्य के प्रकाश की ऊर्जा का अवशोषण कर अपना भोजन बनाते हैं, जिसे निम्नलिखित समीकरण द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है।

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{प्रकाश ऊर्जा} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

प्रकाश ऊर्जा प्राप्त उत्पाद, $C_6H_{12}O_6$ के अणुओं में रासायनिक बंधों की स्थितिज ऊर्जा के रुप में संचित हो जाती है। $C_6H_{12}O_6$ यदि ऑक्सीजन से अभिक्रिया करता है, तो CO_2, H_2O तथा ऊर्जा पुन: प्राप्त हो जाती है।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ऊर्जा}$$

इस प्रकार की अनेक अभिक्रियाएं है जिनमें ऊष्मा के रूप में ऊर्जा परिवर्तन होता है। इन परिवर्तनों का अध्ययन ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के आधार पर किया जा सकता है। रासायनिक परिवर्तनों में उक्त प्रकार की अभिक्रियाओं में उदासनीकरण जल योजन, दहन आदि सम्मिलित हैं।

प्रकाश संश्लेषण एक ऊष्मा शोषी रासायनिक अभिक्रिया है परन्तु $C_6H_{12}O_6$ का ऑक्सीकरण एक ऊष्माक्षेपी रासायनिक अभिक्रिया है।

ऊर्जा परिवर्तन के मान को ΔH द्वारा प्रदर्शित करें तो इसे निम्न प्रकार लिखा जा सकता है -

ΔH =उत्पादों की पूर्ण ऊष्मा - अभिकारको की पूर्ण ऊष्मा

अत: उष्माशोषी अभिक्रिया के लिये ΔH का मान धनात्मक होगा, परन्तु उष्माशोषी अभिक्रिया के लिये ΔH का मान ऋणात्मक होगा।

यदि ΔH का मान शून्य है तो अभिक्रिया ऊष्मा उदासीन कहलाती है। इस स्थिति में,

उत्पादों की पूर्ण ऊष्मा=अभिकारको की पूर्ण ऊष्मा

इस प्रकार की अभिक्रियाओं में ऊष्मा का उत्सर्जन अथवा अवशोषण नहीं होता है।

रासायनिक अभिक्रियाओं में होने वाले ऊष्मा परिवर्तन के अध्ययन को ऊष्मा रसायन कहते हैं, जिसका आधार ऊष्मा गतिकी का प्रथम नियम है।

किसी रासायनिक अभिक्रिया में होने वाले ऊष्मा ऊर्जा परिवर्तन को अभिक्रिया ऊष्मा कहते हैं। इसे ऊष्मारासायनिक समीकरण द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। उदाहरण के लिये,

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + 97.74 \text{ किलोजूल}$$

अथवा $$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3; \Delta H = -97.74 \text{ किलोजूल}$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के कुछ अनुप्रयोगों की आप यहां जानकारी प्राप्त करेगें जैसे अभिक्रिया ऊष्मा, सम्भवन ऊष्मा, दहन ऊष्मा, उदासीनीकरण ऊष्मा, विलयन ऊष्मा, जल योजन ऊष्मा आदि।

(क) अभिक्रिया ऊष्मा (Heat of Reaction)

किसी रासायनिक अभिक्रिया के अभिकारको की मोलर मात्राओं के पूर्ण रूप से क्रिया करने में तंत्र में जो पूर्ण ऊष्मा परिवर्तन अथवा एन्थैल्पी परिवर्तन होता है, उसे अभिक्रिया ऊष्मा कहते हैं।

उदाहरण के लिये 1 मोल ग्रेफाइट (12 ग्राम) गैसीय ऑक्सीजन के 1 मोल अथवा 32 ग्राम से अभिक्रिया कर 1 मोल कार्बन डाइऑक्साइड (44 ग्राम) बनाता है। इस अभिक्रिया में 94 किलोकैलोरी ऊष्मा उत्सर्जित होती है।

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 94 \text{ किलोकैलोरी}$$

यहां 94 किलोकैलारी उक्त अभिक्रिया की अभिक्रिया ऊष्मा है।

अभिक्रिया ऊष्मा को प्रभावित करने वाले कारक निम्नलिखित है -

(i) अभिकारको और उत्पादों की भौतिक अवस्था,

(ii) अभिक्रिया का ताप,

(iii) गैसीय अभिकारको और उत्पादों का दाब और आयतन,

(iv) अभिकारको और उत्पादों की सान्द्रता।

(ख) सम्भवन ऊष्मा (Heat of Reaction)

"किसी पदार्थ के 1 ग्राम अणु को उसके तत्वों द्वारा बनाने पर होने वाले ऊर्जा परिवर्तन को उस पदार्थ की सम्भवन ऊष्मा कहते है।"

सम्भवन ऊष्मा के मापन में तत्व मानक अवस्था में होने चाहिये, अर्थात् उनका ताप 298 K तथा दाब एक वायुमण्डल हो। सम्भवन ऊष्मा को ΔH_f द्वारा प्रदर्शित करते हैं। उदाहरण के लिये, जल और सल्फर डाइऑक्साइड के लिये सम्भवन ऊष्मा के मान क्रमश: 6832 किलो कैलोरी तथा 71 किलो कैलोरी हैं। इसे निम्नलिखित समीकरणों द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है -

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow HO_{2(l)}; \quad \Delta H_f = -68.32 \text{ किलो कैलोरी}$$

$$S_{(S)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}; \quad \Delta H_f = -71 \text{किलो कैलोरी}$$

(ग) दहन ऊष्मा (Heat of Combustion)

"किसी तत्व अथवा यौगिक के 1 मोल द्रव्यमान का ऑक्सीजन गैस की उपस्थिति में पूर्ण दहन करने पर पूर्ण ऊर्जा अथवा एन्थैल्पी में जो परिवर्तन होता है, उसे तत्व अथवा यौगिक की दहन ऊष्मा कहते हैं।"

यदि पदार्थ का दहन मानक परिस्थितियों (298 K तथा 1 वायुमण्डल दाब) में कराया जाये तो ऊर्जा परिवर्तन को मानक दहन ऊष्मा कहते हैं, जिसे ΔH° द्वारा प्रदर्शित करते हैं। उदाहरण के लिये

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O; \Delta H^\circ = \text{-929 किलोजूल}$$

$$C_6H_6 + \frac{15}{2}O_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O; \Delta H^\circ = \text{-3268 किलोजूल}$$

दहन ऊष्मा का उपयोग उद्योगों में प्रयुक्त ईंधनों का ऊष्मीय मान (Calorific value), खाद्य पदार्थो के खाद्य मान (food value), हाइड्रोकार्बनों के अणु सूत्र, उच्चतम ज्वाला ताप, आदि ज्ञात करने में किया जाता है।

कार्बनिक यौगिकों की सजातीय श्रेणी में दहन ऊष्मा एक निश्चित क्रम से घटती है । उदाहरण के लिये संतृप्त हाइड्रोकार्बन श्रेणी में प्रत्येक क्रमागत सदस्य के लिये दहन ऊष्मा का मान 65.70 किलो जूल कम हो जाता है। अत: दहन ऊष्मा के मान से यौगिक के अणु सूत्र की जानकारी प्राप्त हो सकती हैं।

हमारे भोजन में लिये जाने वाले पदार्थ शरीर में ऑक्सीकृत होकर हमें ऊर्जा देते हैं। एक औसत व्यस्क व्यक्ति को प्रतिदिन 12555 किलोजूल ऊर्जा ऊष्मा के बराबर ऊर्जा की आवश्यकता पड़ती है। अत: खाद्य पदार्थो की दहन ऊर्जाएं ज्ञात हों तो हम आवश्यक भोजन की मात्रा की गणना कर सकते हैं। इसका विशेष लाभ यह कि कम लागत के पौष्टिक भोजन पदार्थो का चयन किया जा सकता है। खाद्य पदार्थो की दहन ऊष्मा उनके खाद्य मान के नाम से जानी जाती है।

(घ) उदासीनीकरण ऊष्मा (Heat of Neutralisation)

आप जानते है कि एक अम्ल और एक क्षार के बीच रासायनिक अभिक्रिया होने से लवण और जल बनता है। यह प्रक्रिया उदासीनीकरण कहलाती है। इस प्रक्रिया में सदैव ऊष्मा उत्सर्जित होती है जिसे उदासीनीकरण ऊष्मा कहते हैं।

परिभाषा के अनुसार, *"एक ग्राम तुल्यांक अम्ल को एक ग्राम तुल्यांक क्षार द्वारा तनु विलयन में उदासीन करने में उत्पन्न ऊष्मा की मात्रा को उदासीनीकरण ऊष्मा कहते है।"*

उदाहरण के लिये 1 ग्राम तुल्यांक HCL अम्ल अर्थात् 36.5 ग्राम HCL अम्ल के तनु विलयन को 1 ग्राम तुल्यांक NaOH अर्थात् 40 ग्राम NaOH के तनु विलयन द्वारा उदासीन करने पर 57.25 किलोजूल ऊष्मा उत्सर्जित होती है। इस कथन को आप समीकरण के रूप में निम्न प्रकार से लिख सकते हैं।

HCl (जलीय)+ $NaOH$ (जलीय) $\rightarrow$ $NaCl$ (जलीय) + H_2O; ΔH = -57.25 किलोजूल

प्रबल अम्ल और प्रबल क्षार जैसा, कि HCl और NaOH हैं, के लिये उक्त उदासीनीकरण समीकरण निम्न प्रकार से लिख सकते हैं,

$$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O; \quad \Delta H = -57.25 \text{ किलोजूल}$$

यह समीकरण सभी प्रबल अम्लो और प्रबल क्षारों के लिये लिखी जा सकती है। यही कारण है कि प्रबल अम्ल और प्रबल क्षार की उदासीनीकरण ऊष्मा का मान लगभग 57.25 किलोजूल प्राप्त होता है।

अम्ल या क्षार किसी एक अथवा दोनों के दुर्बल होने से उदासीनीकरण ऊष्मा का मान कम हो जाता है।

उदाहरण के लिये,

$$CH_3COOH \text{ (जलीय)} + NaOH \text{ (जलीय)} \rightarrow CH_3COONa \text{ (जलीय)} + H_2O$$

दुर्बल अम्ल प्रबल क्षार $\Delta H = -55.23$ किलोजूल

$$HCl \text{ (जलीय)} + NH_4OH \text{ (जलीय)} \rightarrow NH_4Cl \text{ (जलीय)} + H_2O$$

प्रबल अम्लदुर्बल क्षार $\Delta H = -51.34$ किलोजूलउक्त उदाहरणों से दुर्बल अम्ल अथवा दुर्बल क्षार की वियोजन ऊर्जा की गणना की जा सकती है।

CH_3COOH और $NaOH$ की अभिक्रिया के लिये,

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

अथवा -55.23=D=-57.23

$$\therefore \quad D = 57.32 - 55.23 = +2.09 \text{ किलोजूल}$$

अर्थात् दुर्बल अम्ल, CH_3COOH के वियोजन में 2.09 किलोजूल ऊष्मा खर्च होती है।

यदि अम्ल और क्षार दोनों दुर्बल हों, तो उदासीनीकरण ऊष्मा का मान बहुत कम प्राप्त होता है। उदाहरण के लिये -

$$\frac{1}{2}H_2S \text{ (जलीय)} + NH_4OH \text{ (जलीय)} \ \frac{1}{2}(NH_4)S \text{ (जलीय)} + H_2O$$

दुर्बल अम्ल) दुर्बल क्षार ΔH =-12.97 किलोजूल

इसके विपरित HF तथा NaOH के उदासीनीकरण का मान अपेक्षा से अधिक प्राप्त होता है। अर्थात 57.32 किलोजूल से अधिक होता है।

HF (जलीय) $+NaOH$ (जलीय) $\rightarrow$ NaF (जलीय) $+H_2O$

प्रबल अम्ल प्रबल क्षार $\Delta H = -68.21$ किलोजूल

यहां 10.96 किलोजूल ऊष्मा HF के आयनिक होने पर आयनों के विलायकन (Solvation) के कारण उत्सर्जित होती है,

HF (जलीय) H^+ (जलीय)+ F^- (जलीय); $\Delta H =$-10.96 किलोजूल

(च) विलयन ऊष्मा (Heat of Solution)

आप जानते है कि विलेय पदार्थ को विलायक में घोलने पर पदार्थ का विलयन प्राप्त होता है। इस विलयन का ताप विलायक के ताप से भिन्न होता है। इसका कारण विलयन बनने की प्रकिया में तन्त्र की ऊर्जा परिवर्तन है। ऊष्मा या तो उत्सर्जित होती है या फिर ऊष्मा का अवशोषण होता है- ऊष्मा उत्सर्जित होती है तो विलयन के ताप में वृद्धि होती है अर्थात् विलयन गर्म हो जाता है, जैसे NaOH को जल में घोलने पर होता है। ऊष्मा का अवशोषण होता है तो विलयन के ताप में कमी आती है अर्थात् विलयन ठंडा हो जाता है, जैसा कि KNO_3 को जल में घोलने पर होता है।

अत: यह स्पष्ट हो गया कि विलयन बनने में उसकी ऊष्मा अर्थात् एन्थैल्पी में परिवर्तन होता है, जिसे विलयन ऊष्मा अथवा विलयन एन्थैल्पी के नाम से जाना जाता है। विलयन बनने में ऊष्मा उत्सर्जित होने पर विलयन ऊष्मा का मान ऋणात्मक होता है। इसके विपरित ऊष्मा का अवशोषण होने पर विलयन ऊष्मा का मान धनात्मक होता है।

परिभाषा के अनुसार, *"जब किसी पदार्थ के एक मोल को विलायक की इतनी मात्रा में घोला जाये कि विलयन को और अधिक तनु करने पर कोई ऊष्मा परिवर्तन न हो तो इस स्थिति में पूर्ण ऊष्मा के अन्तर अथवा एन्थैल्पी परिवर्तन को पदार्थ की विलयन ऊष्मा कहते है?"*

विलयन की उक्त अवस्था में विलयन अत्यन्त तनु विलयन कहलाता है। इस प्रकार के विलयनों का उपयोग पदार्थो के अणुसंख्य गुणधर्मों के अध्ययन हेतु किया जाता है।

विलयन ऊष्मा के कुछ उदाहरण निम्नलिखित है -

HCl (गैस) $+$ जल $\rightarrow$ HCl (जलीय); $\Delta H = -75$ किलोजूल

H_2SO_4 (द्रव) $+$ जल $\rightarrow$ H_2SO_4 (जलीय); $\Delta H = -84.58$ किलोजूल

KCl (ठोस) $+$ जल $\rightarrow$ KCl (जलीय); $\Delta H = +18.40$ किलोजूल

KNO_3 (ठोस)+जल $\rightarrow$ KNO_3 (जलीय); $\Delta H = +35.40$ किलोजूल

विलयन ऊष्मा का ऋणात्मक मान दर्शाता है कि विलयन प्रक्रिया ऊष्माक्षेपी है जबकि धनात्मक मान होने पर प्रक्रिया ऊष्माशोषी होती है।

विलयन की एक सान्द्रता से दूसरी सान्द्रता में परिवर्तन होने वाले ऊष्मा परिवर्तन को तनुकरण ऊष्मा कहते हैं। उदाहरण के लिये, 1 मोल KCL को 20 मोल जल में घोला जाता है तो 15.8 किलोजूल ऊष्मा का अवशोषण होता हैं परन्तु एक मोल जल को 200. मोल जल मे घोला जाये तो 18.4 किलोजूल ऊष्मा का अवशोषण होता है इन कथनों को समीकरण के रूप में लिखने पर

HCl (ठोस) $+$ जल $\rightarrow KCl$ (जलीय); $\Delta H_1 = +15.80$ किलोजूल

HCl (ठोस) $+$ जल $\rightarrow KCl$ (जलीय); $\Delta H_2 = +18.4$ किलोजूल

1 मोल 200 मोल

अतः तनुकरण ऊष्मा $= \Delta H_2 - \Delta H_1$

$= 18.4 - 15.8$

$= +2.60$ किलोजूल

(छ) जलयोजन ऊष्मा (Heat of Hydration)

बहुत से क्रिस्टलीय यौगिकों में क्रिस्टलन जल होता है जैसे $CuSO_4, 5H_2O, FeSO_4, 7H_2O, CaCl_2 6H_2O$ आदि। ऐसे यौगिकों के जलयोजित क्रिस्टलों और निर्जलीय रूप की विलयन ऊष्माओं के मान भिन्न होते हैं। इन विलयन ऊष्माओं के मान का अन्तर जल योजन ऊष्मा के कारण होता है।

परिभाषा के अनुसार, *"किसी पदार्थ की जलयोजन ऊष्मा' पूर्ण ऊष्मा की वह मात्रा है जो किसी निर्जल पदार्थ के 1 मोल को उसकी पूर्व जलयोजित स्थिति में लाने पर प्राप्त या व्यय होती है।"*

उदाहरण के लिये निर्जलीय कॉपर सल्फेट ($CuSO_4$) की विलयन ऊष्मा -66.50 किलोजूल प्रतिमोल है तथा जलयोजित कॉपर सल्फेट ($CuSO_4.5H_2O$) की विलयन ऊष्मा $+11.71$ किलोजूल प्रतिमोल है। इसे समीकरण द्वारा निम्न प्रकार से स्पष्ट किया जा सकता है।

$$CuSO_4 \text{(जलीय)} + \text{जल} \rightarrow CuSO_4 \text{(जलीय)}; \Delta H = -66.50 \text{ किलोजूल}$$

$$CuSO_4.5H_2O \text{ (जलीय)} + \rightarrow CuSO_4 \text{(जलीय)}; \Delta H = +11.71 \text{ किलोजूल}$$

उक्त समीकरणों के आधार पर जलयोजन ऊर्जा ज्ञात की जा सकती है। अत: $CuSO_4$ के जलयोजन के लिये,

$$CuSO_4 \text{ (ठोस)} + 5H_2O \text{ (द्रव)} \rightarrow CuSO_4.5H_2O \text{ (ठोस)}$$

यहाँ $\Delta H = -66.50 - (+11.71)$

$= -78.21$ किलोजूल

इस प्रकार निर्जलीय $CuSO_4$ की जलयोजन ऊष्मा का मान $= -78.21$ किलोजूल प्रतिमोल आता है।

इसी प्रकार निर्जलीय $CaCl_2$ की विलयन ऊष्मा -78.60 किलोजूल प्रतिमोल है तथा जलयोजित $CaCl_2.6H_2O$ की विलयन ऊष्मा $+18.83$ किलोजूल प्रतिमोल है, अत:

$CaCl_2$ की जलयोजन ऊष्मा $= CaCl_2$ की वियोजन ऊर्जा $- CaCl_2.6H_2O$ की विलयन ऊष्मा

$= -78.60 - (18.83)$

$= 97.43$ प्रतिमोल

(ज) आयनीकरण ऊष्मा (Heat Ionisation)

विद्युत अपघट्य वे यौगिक हैं जो जल में विलेय होकर आयन देते है। कुछ यौगिक प्रबल विद्युत अपघट्य होते हैं और जलीय विलयन में पूर्णतय: आयनीकृत हो जाते हैं, जैसे $NaOH, HCl, NaCl$ आदि।

परन्तु कुछ विद्युत अपघट्य जलीय विलयन में पूर्ण रूप से आयनों में विघटित नहीं होते और दुर्बल विद्युत अपघट्य कहलाते हैं, जैसे CH_3COOH, NH_4OH आदि।

किसी विद्युत - अपघट्य के जलीय विलयन मे पूर्ण रूप से आयनीकृत होने पर जो पूर्ण ऊष्मा परिवर्तन होता हैं, उसे आयनीकरण ऊष्मा कहते हैं।

बोध प्रश्न

5. निम्नलिखित कथनों में सत्या/असत्य बताइये-
   (क) ब्रह्माण्ड की कुल ऊर्जा स्थिर है। (सत्य/असत्य)
   (ख) जब भी एक प्रकार की ऊर्जा लुप्त होती है तो उसके तुल्य दूसरे प्रकार की ऊर्जा उत्पन्न हो जाती हैं। (सत्य/असत्य)
   (ग) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का गणितीय रूप है-(सत्य/असत्य)
   (घ) उष्माशोषी रासायनिक अभिक्रिया के लिये पूर्ण ऊष्मा परिवर्तन ( ) का मानऋणात्मक होता है। (सत्य/असत्य)
   (च) तथा की दहन ऊष्माओं के मान क्रमश: किलोजूल तथा किलोजूल हैं, अत: बेन्जीन की तुलना में मेथेन उत्तम ईंधन है।(सत्या/असत्य)
   (छ) प्रबल अम्ल और प्रबल क्षार के लिये उदासीनीकरण ऊष्मा का मान लगभग स्थिरहता है।(सत्या/असत्य)
6. निम्नलिखित वाक्यों में रिक्त स्थानों की पूर्ति कोष्ठक में दिये गये शब्द/शब्द समूह का चयन कर कीजिये -
   (क) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार ऐसी शाश्वत् गति मशीन का निर्माण ..... है जो तुल्य मात्रा में ऊर्जा लिये बिना, उतने ही कार्य का उत्पादन कर सके।(सम्भव/असम्भव)
   (ख) प्रकाश संश्लेषण एक..... रासायनिक अभिक्रिया है। (उष्माशोषी/ऊष्माक्षेपी)
   (ग) कार्बनिक यौगिकों की सजातीय श्रेणी में दहन ऊष्मा का मान एक निश्चित क्रम से ..... है। (घटता/बढ़ता)
   (घ) गैस की विलयन ऊष्मा का मान, किलोजूल प्रतिमोल है अत: गैस का जल में विलेय होना एक ..... प्रक्रिया है । (ऊष्माक्षेपी/ऊष्माशोषी)
7. निम्नलिखित अम्ल - क्षार युग्मों को उनकी बढ़ती उदासीनीकरण ऊष्मा के क्रम में व्यवस्थित कीजिये -

7.4 ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम (Second Law of Thermodynamics)

आपने इस इकाई के भाग 2.4 में जाना कि ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार ब्रह्माण्ड की ऊर्जा स्थिर है। ऊर्जा को न तो उत्पन्न किया जा सकता है और न ही उसे नष्ट किया जा सकता है। एक ऊर्जा को दूसरी ऊर्जा में परिवर्तित किया जा सकता है लेकिन ऊर्जा परिवर्तन की दिशा के बारे यह नियम कोई जानकारी नही देता।

प्रकृति के विभिन्न प्रक्रमों में ऊर्जा परिवर्तन महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। उदाहरण के लिये नदी का जल पहाड़ से समुद्र की ओर बहता है। अर्थात् जल अधिक ऊँचाई वाले स्थान से कम ऊँचाई वाले स्थान की ओर बहता है। इस प्रक्रम में जल की स्थितिज ऊर्जा निरन्तर गतिज ऊर्जा में परिवर्तित होती रहती है। परन्तु इसके विपरित नहीं होता अर्थात् समुद्र का जल पहाड़ की ओर नहीं बहता।

प्रकृति में प्रत्येक प्रक्रम एक निश्चित क्रम में सम्पन्न होता है। ऊष्मागतिकी में भी सभी प्रक्रम एक निश्चित दिशा में सम्पन्न होते हैं। ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की कुछ सीमायें हैं -

(i) प्रथम नियम यह नहीं बतलाता कि किन परिस्थितियों में तथा किस सीमा तक एक प्रकार की ऊर्जा को दूसरे प्रकार की ऊर्जा में परिवर्तित किया जाना सम्भव है।

(ii) सभी प्रकार की ऊर्जाओं को ऊष्मा ऊर्जा में पूर्ण रूप से परिवर्तित किया जा सकता है, परन्तु ऊष्मा ऊर्जा को कभी भी पूर्ण रूप से कार्य ऊर्जा में परिवर्तित नही किया जा सकता। ऐसा क्यों?

(iii) ऊर्जा परिवर्तन स्वत: ही किसी एक दिशा में यदि सम्पन्न होता है तो उसकी दिशा क्या होगी?

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की उक्त सीमाओं के आधार पर ऊष्मागतिकी का द्वितीय नियम प्रस्तावित किया गया। इस नियम को किसी एक कथन द्वारा परिभाषित करना सम्भव नहीं हुआ। अत: ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम को निम्नलिखित कथनों द्वारा व्यक्त किया गया -

(1) ऊष्मा ऊर्जा उच्च ताप से निम्न ताप की ओर स्वत: प्रवाहित होती है, परन्तु बिना किसी बाह्य सहायता के ऊष्मा का प्रवाह निम्न ताप से उच्च ताप की ओर सम्भव नहीं हैं ।

(2) समस्त स्वाभाविक अथवा स्वत: प्रक्रम साम्यावस्था की ओर अग्रसर होते हैं।

(3) समस्त स्वाभाविक अथवा स्वत: प्रक्रम अनुत्क्रमणीय ही होते हैं।

(4) यद्यपि समस्त स्वाभाविक अथवा स्वत: प्रक्रम द्वारा कार्य ऊर्जा उत्पन्न की जा सकती हैं किन्तु अधिकतम कार्य केवल उत्क्रमणीय प्रक्रम द्वारा ही प्राप्त किया जा सकता हैं।

(5) तंत्र के किसी भाग अथवा पारिपार्श्विक में परिवर्तन हुये बिना ऊष्मा को तुल्य मात्रा के कार्य में रूपान्तरित करना असम्भव हैं।

(6) ब्रह्माण्ड की एन्ट्रॉपी सदैव बढ़ने की प्रवृति दर्शाती हैं।

(7) क्लॉसियस (Clausius) ने ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम को निम्न प्रकार से प्रस्तुत किया-

(i) किसी चक्रिय प्रक्रम के लिये सम्भव नहीं है कि उच्च ताप वाले कुण्ड से निम्न ताप वाले कुण्ड की ओर ऊष्मा का प्रवाह, ऊष्मा के कार्य में परिवर्तन बिना हो जाये।

(ii) किसी ऐसी स्व: चालित मशीन का निर्माण करना असम्भव है, जो बिना किसी बाह्य स्त्रोत की सहायता के ऊष्मा का प्रवाह निम्न ताप से उच्च ताप की ओर करती है।

(8) ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का गणितीय रूप निम्नलिखित है-

$$ds = \frac{d_{qrev}}{T}$$

यहां, ds एन्ट्रॉपी में सूक्ष्म परिवर्तन है तथा d_{qrev} तंत्र द्वारा T केल्विन ताप पर उत्क्रमणीय ढंग से अवशोषित ऊष्मा है।

7.4.1 ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनुप्रयोग

ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनुसार धनात्मक कार्य करने वाले चक्रिय प्रक्रम में विभिन्न ताप वाले कम से कम दो ऊष्मा कुण्ड होने चाहिये। कार्नो इंजन में एक ऐसा ही चक्र होता है।

1824 में फ्रेंच इंजीनियर कार्नो (Carnot) ने ऊष्मा को यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तन करने के लिये एक सिद्धान्त दिया, जो तंत्र के चक्रिय परिवर्तन पर आधारित था। यह सिद्धान्त कार्नो के नाम से जाना जाता है। कार्नो चक्र का सबसे महत्वपूर्ण गुण है कि यह उत्क्रमणीय है, अर्थात् यदि चक्रिय प्रक्रम एक बार अग्रिम दिशा और फिर विपरित दिशा में सम्पन्न हो तो पारिपार्श्विक अपनी मूल अवस्था प्राप्त लेता हैं ।

कार्नो चक्र में ऊष्मा कुण्ड ऐसे तंत्र को कहा जाता है जिसका ताप उसके प्रत्येक भाग में समान हो तथा ऊष्मा की किसी मात्रा को तंत्र से निकालने अथवा तंत्र की ओर प्रवाहित करने पर उसका ताप प्रभावित न होता हो। अत: ऊष्मा कुण्ड स्त्रोत तथा सिंक दोनों का कार्य करते हैं।

कार्नो चक्र का उपयोग कार्नो प्रशीतन और ऊष्मा पम्प में देखा जा सकता है। यदि कोई उत्क्रमणीय ऊष्मा इंजिन अपने पारिपार्श्विक में कोई धनात्मक कार्य सम्पन्न कर रहा हो तो वह गर्म कुण्ड से ऊष्मा का अवशोषण करेगा और ठण्डे कुण्ड को ऊष्मा प्रदान करेगा। इस प्रक्रम को इंजिन का अग्रिम चक्र मान लें और इंजिन को विपरित दिशा में चलायें तो कुछ कार्य नष्ट होगा। इस स्थिति में इंजिन ठण्डे कुण्ड से ऊष्मा ग्रहण कर गर्म कुण्ड को प्रदान करेगा। यह इंजिन ऐसे में प्रशीतक के रूप में कार्य करता है।

यदि कार्नो इंजिन को प्रशीतक की भांति लेकिन विपरित दिशा में चलायें तो उस स्थिति में इंजिन बाहर की ऊष्मा को खींच कर भीतर लायेगा और यह ऊष्मा पम्प के रूप में कार्य करेगा।

उक्त तथ्यों को आप निम्न उदाहरणों द्वारा स्पष्ट रूप से समझ सकते हैं -

उदाहरण (1) उस रेफ्रिजरेटर की अधिकतम दक्षता ज्ञात करो जिसका प्रचालन क्षेत्र 263K तथा 298K के मध्य है। इस रेफ्रिजरेटर के भीतर से 200 जूल ऊष्मा हटाने के लिये यंत्र को कितना कार्य करना होगा।

रेफ्रिजरेटर की अधिकतम दक्षता के लिये सूत्र होता है,

$$\varepsilon = \frac{T_2 - T_1}{T_1}$$

जहां $\varepsilon =$ रेफ्रिजरेटर की अधिकतम क्षमता

$$= \frac{298 - 263}{263}$$

$T_1 =$ शीत कुण्ड का ताप

$= 0.133$ $T_2 =$ तप्त कुण्ड या बाहर का ताप है

प्रतिशत दक्षता = 13.3%

ऊष्मा हटाने के लिये किये गये कार्य हेतु सूत्र है,

$w = \varepsilon \times q$

जहां, $w =$ किया गया कार्य

$\therefore \; w = 0.133 \times 200$

जूल $\varepsilon =$ रेफ्रिजरेटर की दक्षता

$= 26.6$ जूल

$q =$ शीट कुण्ड से निकाली गयी ऊष्मा की मात्रा

उदाहरण (2) एक कमरे के बाहर का ताप $5^{\circ}C$ है। कमरे का ताप $25^{\circ}C$ करने हेतु कितनी ऊष्मा की आवश्यकता होगी यदि इस प्रक्रम में 20 किलोजूल प्रति इकाई कार्य नष्ट हो जाता है। ऊष्मा पम्प के लिये दिये गये सूत्र के अनुसार

$$\frac{q_1}{w} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \text{ यहाँ } q_1 = ? \, w = 20 \text{ किलोजूल}$$

अतः $$\frac{q_1}{20} = \frac{298}{298 - 278} \quad T_2 = 273 + 5 = 278k$$

$$q_1 = \frac{298}{20} \times 20 = 298 \text{ किलोजूल}$$

इसी प्रकार ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के आधार पर अनेक उपयोगी गणनायें की जा सकती है और उपयोगी उपकरणों एवं यंत्रों का निर्माण किया जा सकता है।

बोध प्रश्न

8. निम्नलिखित वाक्यों में रिक्त स्थानों की पूर्ति शब्दों के निम्न समूह से कीजिये - असम्भव, एन्ट्रॉपी, साम्यावस्था, उच्च, निम्न
   (क) ऊष्मा ऊर्जा .....ताप से.....ताप की ओर स्वत: प्रवाहित होती है।
   (ख) समस्त स्वाभाविक अथवा स्वत: प्रक्रम ..... की ओर अग्रसर होते हैं।
   (ग) ब्रह्माण्ड की ..... सदैव बढ़ने की प्रवृति दर्शाती है।
   (घ) किसी ऐसी स्वत: चालित मशीन का निर्माण करना ..... है, जो बिना किसी बाह्य स्त्रोत की सहायता के ऊष्मा का प्रवाह.....ताप से .....ताप की ओर करती हो।
9. ऊष्मागतिकी की द्वितीय नियम का गणितीय रूप क्या है?
   .....

7.5 एन्ट्रॉपी (Entropy)

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम द्वारा आपने ऊर्जा परिवर्तन के बारे में जाना तथा द्वितीय नियम द्वारा एन्ट्रॉपी शब्द से आपका परिचय हुआ। एन्ट्रॉपी एक ऐसा अवस्था गुण है जो तंत्र के ताप, दाब तथा आयतन जैसे गुणों का फलन है। एन्ट्रॉपी का सम्बन्ध तंत्र की अव्यवस्था से होता है। ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनुसार किसी तंत्र द्वारा उत्क्रमणीय ढंग से अवशोषित ऊष्मा (q_{rev}) के मान में तंत्र के परम ताप (T) से भाग देने पर एन्ट्रॉपी परिवर्तन का मान प्राप्त होता है।

$$dS = \frac{d_{qrev}}{T}$$

तंत्र की दो तापीय अवस्थाओं T_1 तथा T_2 के मध्य एन्ट्रॉपी परिवर्तन को निम्न प्रकार से प्रदर्शित किया जा सकता है -

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{d_{qrev.}}{T}$$

एन्ट्रॉपी परिवर्तन (ΔS) की कुछ विशेषताएं निम्नलिखित हैं -

(1) एन्ट्रॉपी परिवर्तन एक निश्चित मात्रा है जो प्रक्रम की प्रारम्भिक अवस्था और अन्तिम अवस्था पर निर्भर करती है।

(2) एन्ट्रॉपी परिवर्तन का मान प्रक्रम में हुये परिवर्तन के पथ पर निर्भर नहीं करता।

(3) एष्ट्रॉपी परिवर्तन का मान सदैव अपरिवर्तित रहता है, चाहे प्रक्रम उत्क्रमणीय तरीके से, सम्पादित किया गया हो अथवा अनुत्क्रमणीय तरीके से।

(4) उत्क्रमणीय प्रक्रम में एन्ट्रॉपी परिवर्तन के मान की गणना हेतु अवशोषित ऊष्मा की ही आवश्यकता होती हैं।

(5) अनुत्क्रमणीय प्रक्रमों में एन्ट्रॉपी परिवर्तन का मान अवशोषित ऊष्मा के मान से ज्ञात नहीं किया जा सकता, क्योंकि इन प्रक्रमों में अवशोषित ऊष्मा की मात्रा अनिश्चित होती है।

(6) एन्ट्रॉपी की विमाएं ऊर्जा एवं ताप हैं, परन्तु यह एक मात्राश्रित गुण (extensive property) होने के कारण पदार्थ की मात्रा पर भी निर्भर करती है। अत: एन्ट्रॉपी की इकाई $JK^{-1}mol^{-1}$ (जूल प्रति केल्विन प्रतिमोल) होती है।

(7) एक मोल पदार्थ के लिये एन्ट्रॉपी को मोलर एन्ट्रॉपी कहा जाता है

(8) एक वायुमण्डल दाब तथा 298K ताप पर एक मील शुद्ध पदार्थ की एन्ट्रॉपी को मानक एन्ट्रॉपी (standard entropy) कहते हैं तथा इसे S° द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

7.5.1एन्ट्रॉपी की भौतिक सार्थकता (Physical Significance of Entropy)

ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियमानुसार ब्रह्माण्ड की एन्ट्रॉपी निरन्तर बढ़ रही है। इस कथन को कुछ उदाहरणों द्वारा स्पष्ट किया जा सकता है

(क) अवस्था परिवर्तन में एन्ट्रॉपी का बढ़ना

ठोस अवस्था से द्रव अवस्था में परिवर्तन और फिर गैस अवस्था में परिवर्तन से एन्ट्रॉपी में वृद्धि होती है। पदार्थ की इन अवस्थाओं की एन्ट्रॉपी का बढ़ता क्रम निम्न प्रकार है -

B< द्रव < गैस

ठोस पदार्थ में उसके कण स्थिर और नियमित व्यवस्था में रहते हैं। द्रवों में कणों की गतिशीलता और अव्यवस्था बढ़ जाती है तथा गैस अधिकतम सीमा प्राप्त करती है।

किसी ठोस पदार्थ की एक ग्राम मोल मात्रा को उसके गलनांक बिन्दु पर पूर्णत: द्रव अवस्था में परिवर्तन करने के लिये आवश्यक ऊष्मा का मान पदार्थ की मोलर गलन ऊष्मा (ΔH_f) कहलाता है। अत: गलन का एन्ट्रॉपी परिवर्तन (ΔS_f) निम्न सूत्र द्वारा दिया जा सकता है -

$$\Delta S_{f=} \frac{\Delta H_f}{T_f} \text{(जहां } T_f \text{ पदार्थ का गलनांक है)}$$

इसी प्रकार किसी द्रव की एक ग्राम मोल मात्रा को उसके क्वथनांक बिन्दु पर पूर्णतया वाष्प में परिवर्तित करने हेतु आवश्यक ऊष्मा का मान पदार्थ की मोलर वाष्पन ऊष्मा (ΔH_v) कहलाता है। अत: वाष्पन का एन्ट्रॉपी परिवर्तन (ΔC_v) निम्न सूत्र द्वारा दिया जा सकता है -

$$S_{v=} \frac{\Delta H_v}{T_b} \text{ (जहां } T_b \text{ पदार्थ का क्वथनांक है)}$$

कुछ क्रिस्टलीय पदार्थ एक से अधिक अपररूपों में पाये जाते हैं। इन अपररूपों का रासायनिक संघटन समान होता है। परन्तु संरचना भिन्न होती है। एक अपररूप के दूसरे अपररूप में परिवर्तन से पदार्थ की पूर्ण ऊष्मा में परिवर्तन होता है।

किसी क्रिस्टलीय पदार्थ के एक अपररूप की एक ग्राम मोल मात्रा का उसके संक्रमण ताप (T_t) पर पूर्ण रूप से दूसरे अपररूप में परिवर्तन करने हेतु आवश्यक ऊष्मा के मान को मोलर संक्रमण ऊष्मा (ΔH_t) कहते हैं।

अत: संक्रमण की एन्ट्रॉपी (ΔS_t) को निम्न प्रकार से दिया जा सकता हैं

$$\Delta S_t = \frac{\Delta H_t}{T_t}$$

(ख) गैसों का मिश्रित होना (Making of Gases)

यदि गैसों से भरे दो पात्रों को परस्पर जोड़ दिया जाये तो गैसें परस्पर दोनों पात्रों में विसरित हो जाती है और इस प्रकार उनकी एन्ट्रॉपी में वृद्धि होती है। यहां गैसीय अणुओं की गतिशीलता के लिये अधिक स्थान उपलब्ध होगा और गैस के किसी अणु के एक स्थान पर पाये जाने की सम्भावना या प्रायिकता कम हो जाती है, अर्थात् तंत्र की एन्ट्रॉपी बढ़ जाती है।

(ग) अमोनियम नाइट्रेट का जल में घुलना

अमोनियम नाइट्रेट जल में विलेय हो जाता है, क्योंकि उसके ठोस कणों की क्रिस्टल जालक से निकल जाने की प्रवृति है और जल इस प्रक्रम हेतु माध्यम का कार्य करता है। यौगिक के घुलने से अव्यवस्था अथवा एन्ट्रॉपी में वृद्धि होती है।

(घ) **रबड़ का फैलना और सामान्य अवस्था प्राप्त करना**

खींचने पर रबड़ के अणु व्यवस्थित हो जाते हैं। परन्तु खिंचाव हटाने से पुन: अपनी सामान्य अवस्था प्राप्त कर लेते हैं। सामान्य अवस्था में रबड़ के कण अधिक अव्यवस्थित रहते हैं। अर्थात् सामान्य अवस्था में रबड़ की एन्ट्रॉपी अधिक होती है।

उक्त उदाहरणों से स्पष्ट है कि स्वत: प्रक्रमों में तंत्रों की सदैव यह प्रवृति रहती है कि अधिक अव्यवस्थित हो जायें। यही स्वत: परिवर्तनों का आधार है।

7.5.2.प्रक्रम की तात्कालिकता की कसौटी (गिब्ज मुक्त ऊर्जा) [Criteria of spontaneity of a process (Gibbs free energy)]

ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियमानुसार ब्रह्माण्ड के समस्त उत्क्रमणीय प्रक्रमों में एन्ट्रॉपी का मान स्थिर रहता है परन्तु अनुत्क्रमणीय प्रक्रमों में एन्ट्रॉपी का मान बढ़ता है।

दूसरे शब्दों में आप कह सकते हैं कि यदि किसी प्रक्रम में एन्ट्रॉपी परिवर्तन (ΔS) का मान धनात्मक है तो वह प्रक्रम स्वत: प्रवर्तित होगा। इसके विपरित यदि किसी प्रक्रम में एन्ट्रॉपी

परिवर्तन का मान ऋणात्मक है तो वह प्रक्रम स्वत: प्रवर्तित नहीं होगा। यदि एन्ट्रॉपी परिवर्तन का मान शून्य के तुल्य है तो तंत्र साम्य अवस्था प्राप्त कर लेता है।

उक्त कथन से स्पष्ट है कि प्रक्रम के स्वत: प्रवर्तित होने की सम्भावना ज्ञात करने के लिये तंत्र की एन्ट्रॉपी परिवर्तन तथा पारिपार्श्विक के एन्ट्रॉपी परिवर्तन की जानकारी होना आवश्यक है। परन्तु एन्ट्रॉपी के इन मानों को ज्ञात करना सरल नहीं है। अत: वैज्ञानिकों ने एक नया फलन गिब्ज मुक्त ऊर्जा (G) दिया जिसे निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है।

$$G = H - TS$$

यहां H तथा S क्रमश: तंत्र की एन्थैल्पी (पूर्ण ऊर्जा) तथा एन्ट्रॉपी है, जो तंत्र की प्रारम्भिक और अन्तिम अवस्था पर ही निर्भर करते है पथ पर नहीं।

उक्त समीकरण का समतापी प्रक्रम के लिये उसकी सीमाओं (प्रारम्भिक और अन्तिम) के मध्य अवकलन करने पर हमें निम्न समीकरण प्राप्त होती है -

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

मुक्त ऊर्जा परिवर्तन (ΔG) किसी प्रक्रम का प्रेरक बल होता है। किसी प्रक्रम या अभिक्रिया के स्वत: प्रवर्तित होने के लिये ΔG का मान ऋणात्मक होना चाहिये।

किसी प्रक्रण अथवा अभिक्रिया के स्वत: प्रवर्तित होने या न होने को निम्न प्रकरणों के माध्यम से स्पष्ट किया जा सकता है -

(1) ΔH ऋणात्मक तथा $T\Delta S$ धनात्मक

समीकरण के अनुसार

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

= (ऋणात्मक) - (धनात्मक)

= ऋणात्मक

जब ऊर्जा घटक और एन्ट्रॉपी (अव्यवस्तता) घटक दोनों अभिक्रिया होने के पक्ष में हो, तो अभिक्रिया के होने की सम्भावना अर्थात् स्वत: प्रवर्तिता अत्यधिक होगी।

(2) ΔH ऋणात्मक तथा $T\Delta S$ भी ऋणात्मक

इस स्थिति में यदि, $\Delta H > T\Delta S$ है तो ΔG का मान ऋणात्मक होगा और प्रक्रम स्वत: प्रवर्तित होगा।

(3) ΔH धनात्मक तथा $T\Delta S$ भी धनात्मक

इस स्थिति में यदि, $\Delta H < T\Delta S$ है, तो ΔG का मान ऋणात्मक होगा और प्रक्रम स्वत: प्रवर्तित होगा।

(4) यदि $\Delta H = T\Delta S$ हो, तो समीकरण के अनुसार $\Delta G = 0$ होगा।

इस स्थिति में प्रक्रम या अभिक्रिया साम्यावस्था में होगी।

उक्त प्रकरणों से स्पष्ट है कि ΔG को प्रक्रम की स्वत: प्रवर्तिता के माप के रूप में माना जा सकता है।

7.6 ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम (Third Law of Thermodynamics)

1913 में वैज्ञानिक मैक्स प्लांक ने सुझाव दिया कि प्रत्येक पूर्णरूप से क्रिस्टलीय पदार्थ के लिये 0k पर एन्ट्रॉपी का मान शून्य होता है। यही ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम है।

ऊष्मागतिकी के तृतीय नियम को इस प्रकार परिभाषित किया गया - "परमशून्य ताप (0K) पर किसी विशुद्ध एवं पूर्णरूप से क्रिस्टलीय पदार्थ की एन्ट्रॉपी का मान शून्य होता है।"

स्थिर दाब पर किसी पदार्थ की एन्ट्रॉपी में ताप के सापेक्ष परिवर्तन को निम्न प्रकार से प्रदर्शित करते है -

$$d_s = C_p \times \frac{dT}{T}$$

यदि पदार्थ को 0K से T ताप तक स्थिर दाब पर गर्म करते हैं (ताप T पदार्थ के गलनांक से कम है), तो उक्त समीकरण को इन सीमाओं के मध्य समाकलन करने पर,

$$\int_{SO}^{S_T} dS = C_p \int_O^T \frac{dT}{T}$$

अथवा $$(S_T - S_O) = \int_O^T \frac{C_P}{T}$$

अथवा $$S_T = S_O + \int_O^T \frac{C_P}{T} dT$$

परन्तु ऊष्मागतिकी के तृतीय नियमानुसार S_O अर्थात् परमताप पर एन्ट्रॉपी का मान शून्य होता है अत:

$$S_t = \int_O^T C_p \times \frac{dT}{T}$$

यहां S_t ठोस पदार्थ की T केल्विन ताप पर निरपेक्ष एन्ट्रॉपी है। इस प्रकार ऊष्मागतिकी का तृतीय नियम एन्ट्रॉपी के मान की सीमा निर्धारित करता है।

यदि दाब का मान 1 वायुमण्डल हो तो उक्त एन्ट्रॉपी को मानक एन्ट्रॉपी कहते हैं तथा इसे S_{T^o} द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। स्थिर दाब पर पदार्थ की ऊष्मा धारिता (C_p) ज्ञात कर विभिन्न पदार्थो के मानक एन्ट्रॉपी मान ज्ञात किये गये हैं।

पदार्थो की मानक एन्ट्रॉपी के मान हमें महत्वपूर्ण जानकारी देते हैं। इससे सम्बन्धित कुछ बिन्दु निम्न प्रकार है -

(1) गैस, द्रव और ठोस अवस्थाओं में, गैसों की एन्ट्रॉपी द्रवों से और द्रवों की एन्ट्रॉपी ठोस पदार्थो से अधिक होती है। इसका कारण है कि द्रवों और गैसों की एन्ट्रॉपी में अवस्था परिवर्तन की एन्ट्रॉपी भी जुड़ जाती है। जल की एन्ट्रॉपी 8.41 इकाई है जब कि जल वाष्प की एन्ट्रॉपी 22.70 इकाई होती है।

(2) गैसों की एन्ट्रॉपी कणों की सहती बढ़ने के साथ बढ़ती जाती है। उदाहरण के लिये,

गैस	He	Ne	Ar	Kr	Xe

मानक एन्ट्रॉपी	15.16	17.59	18.61	19.72	20.39
गैस	Hf	HCl	HBr	HI	
मानक एन्ट्रॉपी	20.88	22.46	23.88	24.83	

(3) लगभग समान संहति वाले गैसीय पदार्थो के मानक एन्ट्रॉपी मान उनके घूर्णन की स्वतन्त्रता की कोटि बढ़ने से बढ़ते हैं। उदाहरण के लिये

गैसीय पदार्थ	Ne	HF	H_2O
घूर्णन की कोटि	0	2	3
मानक एन्ट्रॉपी	17.58	20.88	22.70

(4) हीरे में कार्बन परमाणु दृढ़ता से क्रिस्टल में बंधे होते हैं। इनके कम्पन की आवृति उच्च होती है, अत: ऊष्माधारिता का मान कम होता है। इसके परिणामस्वरूप इसकी मानक एन्ट्रॉपी कम होती है। इसके विपरित सिलिकन में दुर्बल बंध तथा उच्च द्रव्यमान के कारण कम्पन की आवृति निम्न होती है, अत: इसकी ऊष्माधारिता उच्च होती है। परिणाम स्वरूप सिलिकन की मानक एन्ट्रॉपी भी उच्च होती है। हीरे और ठोस सिलिकन की मानक एन्ट्रॉपी क्रमश: 0.286 तथा 2.262 इकाई है।

(5) ऐसे ठोस जिनमें अकेली जटिल इकाइयां होती है, उनमें ठोस के कणों को वाण्डर वाल बल बांधे रखते हैं। जैसे I_2, P_4, S_8 आदि। ऐसे ठोस पदार्थो की मानक एन्ट्रॉपी मान उच्च होते हैं।

बोध प्रश्न

10. निम्नलिखित कथनों में सत्य/असत्य बताइये-

(क) एन्ट्रॉपी एक ऐसा अवस्था गुण है जो तंत्र के ताप, दाब तथा आयतन जैसे गुणों का फलन है। (सत्य/असत्य)

(ख) न्ट्रॉपी परिवर्तन का मान प्रक्रम में हुये परिवर्तन के पथ पर निर्भर करता है। (सत्य /असत्य)

(ग) ठोस, द्रव और गैस में सबसे अधिक एन्ट्रॉपी द्रव की होती है। (सत्य/असत्य)

(घ) अमोनियम नाइट्रेट के जल में घुलने का कारण उसकी एन्ट्रॉपी में वृद्धि होना है। (सत्य/असत्य)

(च) खीची हुई अवस्था में रबड़ की एन्ट्रॉपी अधिक होती है। (सत्य /असत्य)

(छ) किसी अभिक्रिया के स्वत: परिवर्तित होने के लिये मुक्त ऊर्जा परिवर्तन ( ) का मान ऋणात्मक होता है। (सत्य/असत्य)

11. ऊष्मागतिकी की तृतीय नियम किस प्रकार के पदार्थो पर लागू होता है।

.....

12. तथा को उनकी मानक एन्ट्रॉपी के बढ़ते क्रम में व्यवस्थित कीजिये।

.....

नोट : आप अपने प्रश्नों के उत्तरों की जांच इस इकाई के भाग 7.10 में दिये गये उत्तरों से मिलान कर करें।

7.7 सारांश (Summary) :

- ऊष्मा के प्रवाह के अध्ययन को ऊष्मागतिकी कहते हैं।
- तंत्र ब्रह्माण्ड का वह भाग हैं जिसे ऊष्मागतिकी के अध्ययन हेतु चुना गया हो तथा ब्रह्माण्ड का शेष भाग पारिपार्श्विक कहलाता है।
- तंत्र की एक अवस्था से दूसरी अवस्था में परिवर्तन को उष्मागतिक प्रक्रम कहते है।
- ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार ब्रह्माण्ड की कुल ऊर्जा स्थिर हैं अर्थात् जब भी एक प्रकार की ऊर्जा लुप्त होती हैं तो उसके तुल्य दूसरे प्रकार की ऊर्जा उत्पन्न हो जाती हैं।
- ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के आधार पर अभिक्रिया ऊष्मा, दहन ऊष्मा, सम्भवन ऊष्मा, उदासीनीकरण ऊष्मा, विलयन ऊष्मा, जलयोजन ऊष्मा, आयनीकरण ऊष्मा, आदि की व्याख्या की जा सकती हैं।
- ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनुसार ऊष्मा ऊर्जा उच्च ताप से निम्न ताप की ओर स्वत: प्रवाहित होती हैं, परन्तु बिना किसी बाह्य सहायता के ऊष्मा का प्रवाह निम्न ताप से उच्च ताप की ओर सम्भव नहीं हैं।
- दूसरी परिभाषा के अनुसार, ब्रह्माण्ड की एन्ट्रॉपी सदैव बढ़ने की प्रवृति दर्शाती हे।
- कार्नो चक्र का उपयोग कार्नो प्रशीतक और ऊष्मा पम्प में देखा जा सकता हैं।
- कार्नो चक्र ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम पर आधारित चक्रिय परिवर्तन होता हैं।
- किसी तंत्र की एन्ट्रॉपी एक ऐसा अवस्था गुण हैं, जो तंत्र के ताप, दाब तथा आयतन जैसे गुणों का फलन है।
- एन्ट्रॉपी का सम्बन्ध तंत्र की अव्यवस्था से होता हैं।
- एन्ट्रॉपी परिवर्तन के आधार पर पदार्थ की अवस्था परिवर्तन, पदार्थ का विलेय होना, परस्पर मिश्रित होना, आदि की जानकारी मिलती हैं।
- मुक्त ऊर्जा परिवर्तन (ΔG) किसी प्रक्रम का प्रेरक बल होता है, जो तंत्र की (एन्थैल्पी और एन्ट्रॉपी) से सम्बन्धित होता हैं। इसका ऋणात्मक मान किसी प्रक्रम अथवा अभिक्रिया की स्वत: प्रवर्तिता को बताता हैं।
- ऊष्मागतिकी के तृतीय नियम के अनुसार, परम शून्य ताप पर किसी विशुद्ध और पूर्ण रूप से क्रिस्टलीय पदार्थ की एन्ट्रॉपी का मान शून्य होता हैं।
- पदार्थो की मानक एन्ट्रॉपी उनके विभिन्न गुणों की विवेचना करती हैं।

7.8 शब्दावली (Glossary) :

ब्रह्माण्ड-	universe
परम शून्य	absolute zero
विनिमय	exchange
कारक	factor
चर	variable
प्रक्रम	process
शाश्वत् गति	perpetual motion
मानक	standard
निर्जलीय	anhydrous
विद्युत	Electrolyte
ऊष्मा कुण्ड	heat reservoir
अग्रिम चक्र	forward cycle
प्रशीतक	refrigerator
अव्यवस्था	randomness
प्रावस्था	Phase
अपर रूप	allotrope
स्वत: प्रवर्तित	spontaneous
उत्कमणीय	revesible
निरपेक्ष	Absolute
ऊष्माधारिता	thermal capacity

7.9 संदर्भ ग्रंथ (Reference Books) :

1. Physical Chemistry-A.J.Mee
2. University Chemistry-B.H.Mahan
3. Physical Chemistry-Walter J.Moore
4. Physical Chemistry With Biological Application-K.J.Laidler
5. Principles of Physical Chemistry-B.R.Puri, L.R. Sharama and M.S. Pathania
6. Physical Chemistry-G.K. Vemulapalli
7. भौतिक रसायन - वी. के. गोयल, आर. एल. पीतलिया, ओ पी. वर्मा
8. भौतिक रसायन - पी. डी. शर्मा, ए. पी. भार्गव, पी. एस. वर्मा, दिनेश गुप्ता
9. भौतिक रसायन - पी. भागचन्दानी

7.10 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer's of SAQ's):

1. (क) सत्य ख) सत्य (ग) असत्य (घ) असत्य
2. (क) दाब एवं आयतन (ख) यांत्रिक साम्य
   (ग) ऊष्मा (घ) विलगित तंत्र
3. बंद तंत्र
4. संगामी तंत्र - हाइड्रोजन गैस, जल, नमक का विलयन
   विषमांगी तंत्र - कोलाइडी विलयन, कार्बन के अपररूपों ग्रेफाइट, काजल और हीरे के कणों का मिश्रण
5. (क) सत्य (ख) सत्य (ग) असत्य (घ) सत्य
6. (क) असम्भव (ख) उष्माशोषी (ग) घटता (घ) ऊष्माक्षेपी
7. $CH_3COOH - NH_4OH < CH_3COOH - KOH < HCl - NaOH$
8. (क) उच्च, निम्न (ख) साम्यावस्था (ग) एन्ट्रॉपी (घ) असम्भव,निम्न, उच्च
9. $dS = \frac{d_{qrev}}{T}$
10. (क) सत्य (ख) असत्य (ग) असत्य (घ) सत्य (च) असत्य (छ) सत्य
11. शुद्ध क्रिस्टलीय ठोस
12. $Ne < HF < H_2O$

7.10 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Question)

1. निम्नलिखित पदों की संक्षिप्त व्याख्या कीजिये -
   (क) तंत्र एवं पारिपार्श्विक(ख) संगामी और विषमांगी तंत्र
   (ग) विलगित तंत्र (घ) ऊष्मागतिक प्रक्रम
   (च) ऊष्मागतिक साम्य (छ) आन्तरिक ऊर्जा
2. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम तथा उसके गणितीय व्यंजक की व्याख्या कीजिये।
3. ऊष्मागतिकी के अनुप्रयोगों का संक्षिप्त वर्णन कीजिये।
4. अभिक्रिया ऊष्मा और उदासीनीकरण ऊष्मा को परिभाषित करते हुये इनके महत्व को समझाइए।
5. ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की क्या सीमायें हैं?
6. "ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम को विभिन्न कथनों के माध्यम से किस प्रकार परिभाषित किया गया है?
7. ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के अनुप्रयोगों का संक्षिप्त वर्णन कीजिये।
8. निम्नलिखित अभिक्रिया की उदासीनकरण ऊष्मा, प्रबल अम्ल और प्रबल क्षार की उदासीनीकरण ऊष्मा से अधिक क्यों हैं?

   HF (जलीय) $+NaOH$ (जलीय)= NaF (जलीय) $+H_2O$; $\Delta H = 68.21$ किलोजूल-
9. घर के बाहर का ताप $5^{\circ}C$ हैं कमरे का ताप $20^{\circ}C$ करने हेतु आवश्यक ऊष्मा की गणना कीजिये यदि इस प्रक्रम में 15 किलोजूल प्रति इकाई कार्य नष्ट हो जाता हैं। (उत्तर 293kJ)

10. एन्ट्रॉपी से आप क्या समझते हैं? एन्ट्रॉपी परिवर्तन की कुछ विशेषताएं लिखिये।
11. उचित उदाहरण देते हुये एन्ट्रॉपी की भौतिक सार्थकता की व्याख्या कीजिये।
12. प्रक्रम की तात्कालिकता से आप क्या समझते हैं? किसी प्रक्रम के तात्कालिक होने या न होने को कैसे निश्चित करते हैं?
13. ऊष्मागतिकी के तीसरे नियम का वर्णन कीजिये। पदार्थो की मानक एन्ट्रॉपी से आपको क्या महत्वपूर्ण जानकारियाँ प्राप्त होती है?
14. निम्न पदार्थो को उनकी बढ़ती मानक एन्ट्रॉपी के क्रम में व्यवस्थित कीजिये -

    SO_3 गैस, N_2 गैस, Ne गैस, हीरा, सिलिकन, जल