महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO ९००१:२०१५) (ISO/IEC २७००१:२०१३)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

उपयोजित विज्ञान
Applied Science
(312308)

द्वितीय सत्र
(K Scheme)

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील द्वितीय सत्र पदविका)

(Learning Material)

उपयोजित विज्ञान

Applied Science

(312308)

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील दुसरे सत्र पदविका)

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त)
(ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

मार्गदर्शक

प्रा. श्रीमती. सत्यश्री नारायण मांडके
समन्वयक विज्ञान आणि मानवता विभाग

प्रमुख समन्वयक

डॉ. अरविंद शहाजी कोंडेकर
प्राचार्य

समन्वयक

प्रा. महादेव ज्ञानू वलेकर
वरिष्ठ अधिव्याख्याता,पदार्थविज्ञान विभाग
प्रा. दादा दशरथ शिंदे
अधिव्याख्याता रसायनशास्त्र

लेखक

प्रा. बाळकृष्ण प्रे पाटील
निवड श्रेणी अधिव्याख्याता, पदार्थविज्ञान विभाग
प्रा. बाळासाहेब सूर्यभान साळुंके
वरिष्ठ अधिव्याख्याता, पदार्थविज्ञान विभाग
प्रा. शिवाजी दत्तात्रय पाटील
निवड श्रेणी अधिव्याख्याता, पदार्थविज्ञान विभाग
प्रा.सचिन सं.बांदल,
वरिष्ठ अधिव्याख्याता, रसायनशास्त्र
प्रा.फियाजोद्दीन म.तांबोळी
वरिष्ठ अधिव्याख्याता, रसायनशास्त्र
प्रा. श्रीमती वंदना म.पाटील,
अधिव्याख्याता, रसायनशास्त्र

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO: ९००१:२०१५) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

Email : director@msbte.com Web : www.msbte.org.in

प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो . अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असतांना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनिय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तर्काने अनुमान काढण्याची क्षमता म्हणजेच चिकित्सक विचार विद्यार्थ्यांमध्ये अधिक दृढ होतील असा मला विश्वास आहे. जेव्हा विद्यार्थी ज्ञान मिळवण्याच्या माध्यमाशी पूर्णपणे परिचित आणि सोयीस्कर असतात, तेव्हा त्यांच्यासाठी वर्गातील चर्चेत भाग घेणे सोपे होते, संकल्पनात्मक व सैद्धांतिक बाबींचे आकलन परिपूर्ण होते, संज्ञानात्मक क्षमता सुधारते आणि त्यांचा आत्मविश्वास देखील वाढतो या सर्व गोष्टींचा विचार करून मंडळाकडून शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे . भारत देश हा खेड्यापाड्यातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेतांना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरीता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून उपलब्ध करून दिलेला आहे .

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषांतुन शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. सदर धोरणामुळे प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर निर्माण करण्याची आवश्यकता आहे . त्यास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिताची शैक्षणिक सामग्रीही संबंधीत भागधारकरांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षण अधिक दर्जेदार करण्यासाठी महाराष्ट्रातील अनुभवी व तज्ञ अध्यापकांनी व्यवहारिक मराठी भाषा व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावली यांचा वापर करून मराठी - इंग्रजी भाषेचा सुवर्णमध्य साधण्याचा प्रयत्न केलेला आहे. मंडळाच्या स्तरावर गठीत सुकाणू समितीमार्फत सदर शैक्षणिक सामुग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामुग्री अधिक सम्पन्न झालेली असून विद्यार्थी त्यांच्या व्यक्तिमत्त्वाचा सुसंवादी आणि सर्वांगीण विकास साधतील. परिणामतः विश्वस्तरीय मनुष्यबळाच्या गरजा पूर्ण करण्यात महाराष्ट्र राज्य अग्रेसर राहील व पर्यायाने राष्ट्रनिर्मिती करीता निश्चितच हातभार लागेल , असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य यांनी दर्शविलेले समर्पण व वचनबद्धता कौतुकास पात्र आहे , या सर्वांचे मी मनः पूवक अभिनंदन करतो !

(प्रमोद नाईक)
संचालक
म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

अनुक्रमणिका

अ.क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	पदार्थ आणि कॅनेमॅटिकसचे गुणधर्म **(Properties of matter and Kinematics)**	1 - 15
2	लहरी आणि दोलन **(Waves and oscillations)**	16 - 41
3	आधुनिक भौतिकशास्त्र (फोटोइलेक्ट्रिसिटी, एक्स रे, लेसर आणि नॅनोटेक्नॉलॉजी) **Modern Physics (Photoelectricity, X-rays, Laser & Nanotechnology)**	42 – 54
4	धातू आणि संमिश्रे **(Metals And Alloys)**	56 - 75
5	जल उपचार/पाणी शुध्दीकरण प्रक्रिया **(Water Treatment)**	76 - 102
6	इंधन आणि ज्वलन अथवा दहन **(Fuel and Combustion)**	103 - 130

युनिट : १

पदार्थ आणि कॅनेमॅटिकसचे गुणधर्म
(Properties of matter and Kinematics)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome): उद्योगातील संबंधित सामग्री त्याच्या भौतिक गुणधर्मांचे विश्लेषण करून निवडा

घटक निष्पत्ती (Theory learning outcome):

1. दिलेल्या सामग्रीसाठी लवचिकता आणि प्लॅस्टिकिटी संकल्पना स्पष्ट करा.
2. लवचिकतेच्या मोड्युलीच्या दिलेल्या प्रकारांमध्ये संबंध स्थापित करा.
3. दिलेल्या धातूच्या वायरच्या वर्तनाचा अंदाज लावा.
4. दिलेल्या गतिमान वस्तूसाठी संबंधित न्यूटनचे गतीचे नियम स्पष्ट करा.
5. दिलेल्या परिस्थितीसाठी कार्य, शक्ती, उर्जेची गणना करा.

परिचय / तर्क:

साहित्य अनेक गुणधर्म दर्शविते आणि या गुणधर्मांमधील बदलानुसार त्यांचे वर्तन बदलते. लवचिकता आणि प्लॅस्टिकिटी आपल्याला स्पष्ट करते की सामग्री बाह्य लागू शक्तींशी कसे वागते. नुकसान न करता सामग्री, घटक किंवा प्रणालीच्या गुणधर्मांचे मूल्यांकन करण्यासाठी उद्योग.

1 . 1 आंतर आण्विक बल (Inter molecular Force)

घनामध्ये, अणू आणि रेणू अशा प्रकारे व्यवस्थित केले जातात की प्रत्येक रेणू शेजारच्या रेणूंमुळे शक्तींद्वारे कार्य करतात. या शक्तींना आंतर आण्विक शक्ती म्हणून ओळखले जाते.

1.1.1 विकृत शक्ती (Deforming Force)

ऑब्जेक्ट लागू केल्यावर त्याच्या कॉन्फिगरेशनमध्ये बदल घडवून आणणारे बल विकृत बल म्हणतात. विकृती निर्माण करणाऱ्या शक्तीला विकृत शक्ती म्हणतात. विकृती विकृत शक्तीच्या थेट प्रमाणात असते.

1.1.2 पुनर्संचयित करणे (Restoring Force)

पुनर्संचयित शक्ती ही एक शक्ती आहे जी शरीराला त्याच्या समतोल स्थितीत आणण्यासाठी कार्य करते. पुनर्संचयित शक्ती हे केवळ वस्तुमान किंवा कणांच्या स्थितीचे कार्य आहे, हे बल शरीराचा मूळ आकार आणि आकार पुनर्संचयित करण्यासाठी जबाबदार आहे. पुनर्संचयित बल लागू केलेल्या शक्तीच्या थेट प्रमाणात आहे.

पुनर्संचयित शक्ती = लागू बल

Applied force = Internal Restoring force

1.1.3 लवचिकता आणि लवचिक शरीर (Elasticity and Elastic body)

विकृत शक्ती काढून टाकल्यावर शरीराचे मूळ कॉन्फिगरेशन (लांबी, आकारमान किंवा आकार) परत मिळविण्याच्या गुणधर्माला लवचिकता म्हणतात.

बाह्य शक्ती जेव्हा शरीरावर कार्य करतात तेव्हा त्याच्या आकारात किंवा आकारात होणारा बदल त्याच्या अणू किंवा रेणूंमधील शक्तींद्वारे निर्धारित केला जातो. या कमी पल्ल्याच्या अणु शक्तींना लवचिक बल म्हणतात.

उदा. रबर, स्टील, तांबे, पाणी इ

ज्या शरीरातून विकृत शक्ती काढून टाकल्यानंतर लगेच आणि पूर्णपणे त्याचे मूळ कॉन्फिगरेशन परत मिळते, त्याला पूर्णपणे लवचिक शरीर म्हणतात. क्वार्ट्ज आणि फॉस्फर कांस्य ही जवळजवळ परिपूर्ण लवचिक शरीराची उदाहरणे आहेत.

1.1.4 प्लास्टीसिटी आणि प्लास्टिक बॉडी (Plasticity and plastic body)

विकृत शक्ती काढून टाकल्यानंतर देखील शरीर त्याच्या मूळ आकारात आणि आकारात परत येऊ शकत नाही याला

प्लास्टीसिटी म्हणतात आणि अशा शरीराला प्लास्टिक बॉडी म्हणतात.
भौतिक शरीराचा गुणधर्म ज्यामुळे शरीर विकृत शक्ती काढून टाकल्यानंतर त्याचे मूळ परिमाण परत मिळवत नाही. ज्या शरीरात प्लास्टीसिटी चा गुणधर्म असतो त्याला प्लास्टिक बॉडी म्हणतात.
उदा. चिकणमाती, शिसे, पुटी, कणिक, मेण, डिंक इ.
निसर्गात पूर्णपणे प्लास्टिक बॉडी नाही परंतु सामान्यतः पुट्टी हे पूर्णपणे प्लास्टिकच्या शरीराचे उदाहरण मानले जाते .

1.1.5 कडकपणा (Rigidity)

एखाद्या शरीराच्या गुणधर्मामुळे शरीराचे आकारमान बदलत नाही, त्यावर खूप शक्ती लागू केली जाते, त्याला कडकपणा म्हणतात.

1.2 ताण (Stress)

शरीराच्या प्रति युनिट क्रॉस सेक्शनल क्षेत्रामध्ये अंतर्गत लवचिक पुनर्संचयित शक्ती म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.तणावाची व्याख्या अंतर्गत शक्ती F चे गुणोत्तर म्हणून केली जाते, जे पदार्थ विकृत झाल्यावर तयार होते, ज्या क्षेत्रावर हे बल कार्य करते त्या A क्षेत्रामध्ये. समतोलामध्ये, हे बल बाह्यरित्या लागू केलेल्या बलाच्या परिमाणात समान असते. दुसऱ्या शब्दात,

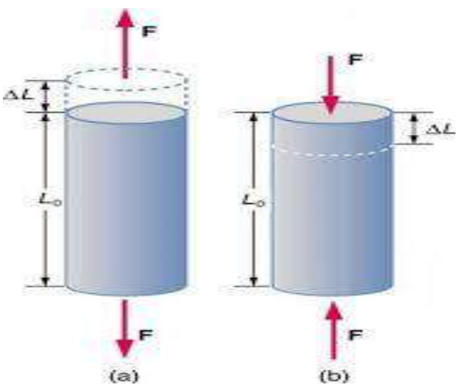
ताण=(अंतर्गत पुनर्संचयित शक्ती)/क्षेत्र

$$Stress = \frac{Internal\ restoring\ force}{Area}$$

1.2.1 तणावाचे प्रकार : तणाव तीन प्रकारचा असतो.

(i) अनुदैर्ध्य ताण (Longitudinal Stress or tensile stress)

अनुदैर्ध्य ताण: शरीराच्या पृष्ठभागावर लंब असलेल्या प्रति युनिट क्षेत्राची पुनर्संचयित शक्ती म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते. सामान्य ताण दोन प्रकारचा असतो: तन्य ताण आणि संकुचित ताण.
जर विकृत शक्ती शरीराच्या लांबीमध्ये बदल घडवून आणते (धातूची तार, तुळई) संबंधित तणावाला अनुदैर्ध्य ताण म्हणतात.



आकृती 1.1 $$Longitudinal\ Stress = \frac{Applied\ force}{Area\ of\ cross\ section}$$

अनुदैर्ध्य ताण = (लागू बल)/(क्रॉस सेक्शनचे क्षेत्रफळ)

$=F/A = mg/(\pi r^2)$ $(A=\pi r^2)$ आणि r = वायरची त्रिज्या

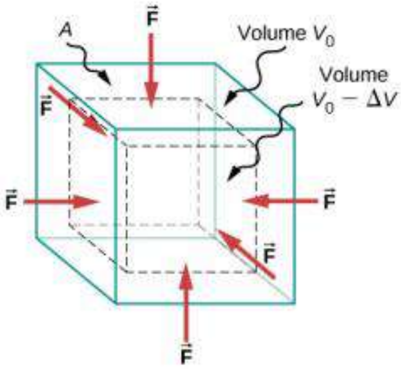
टीप:

1) विकृत शक्ती अंतर्गत शरीराची लांबी वाढल्यामुळे रेखांशाचा ताण निर्माण झाल्यास त्याला तन्य ताण म्हणतात.

2) विकृत शक्ती अंतर्गत शरीराची लांबी कमी झाल्यामुळे रेखांशाचा ताण निर्माण झाल्यास त्याला संकुचित ताण म्हणतात.

II) खंड ताण (Volume Stress or compressive stress)

जर विकृत शक्ती शरीराच्या (रबर) आकारमानात बदल घडवून आणत असेल, तर संबंधित ताणाला खंड ताण म्हणतात.



आकृती 1.2

$$Volume\ Stress = \frac{Applied\ force}{Area}$$

आवाजाचा ताण = (लागू शक्ती)/(क्षेत्र)

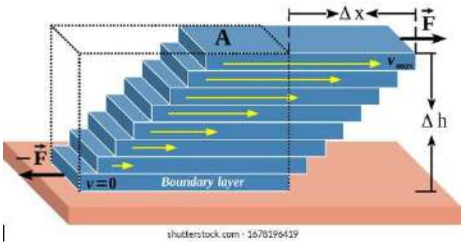
=F/A=(A.dp)/(πr^2)

=dp

= दाबात बदल

III) कातरणे ताण (Shearing Stress)

जर विकृत शक्ती शरीराच्या आकारात (घन) बदल घडवून आणत असेल, तर संबंधित तणावाला शिअरिंग स्ट्रेस म्हणतात.



आकृती 1.3

$$Shearing\ Stress = \frac{Tangential\ applied\ force}{Area} = \frac{F}{A}$$

कातरणे ताण = (स्पर्शीय लागू बल)/(क्षेत्रफळ) =F/A

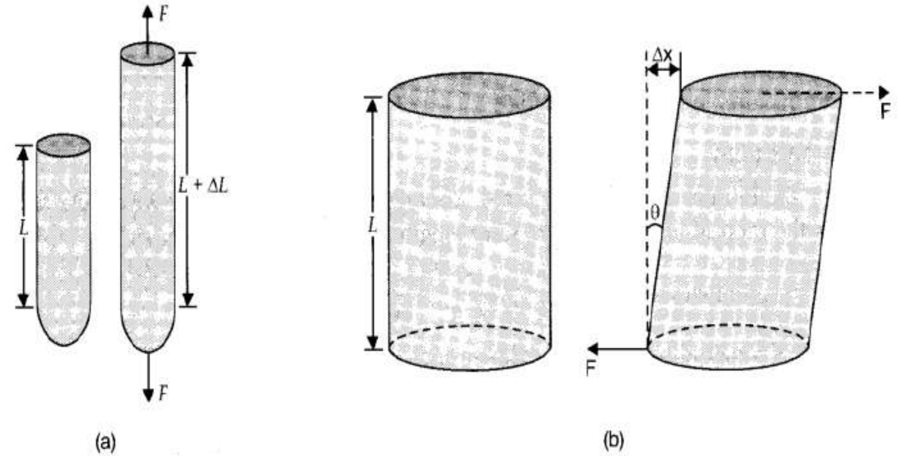
1.2.3 ताण (Strain):

हे आकार किंवा आकारातील बदलाचे मूळ आकार किंवा आकाराचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते. त्याला कोणतेही परिमाण नाही, ती फक्त एक संख्या आहे.

ताण तीन प्रकारचा आहे:

(i) अनुदैर्ध्य ताण (Longitudinal strain): जर विकृत शक्ती केवळ लांबीमध्ये बदल घडवून आणते, तर शरीरात निर्माण होणाऱ्या ताणाला अनुदैर्ध्य ताण किंवा तन्य ताण म्हणतात. हे असे दिले आहे:

$$\text{Longitudinal strain} = \frac{\text{Change in length } (\Delta l)}{\text{Original length } (l)}$$



आकृती 1.4

(ii) व्हॉल्यूमेट्रिक स्ट्रेन (Volumetric strain): जर विकृत शक्ती केवळ आवाजात बदल घडवून आणते, तर शरीरात तयार होणाऱ्या ताणाला व्हॉल्यूमेट्रिक स्ट्रेन म्हणतात. हे असे दिले आहे:

$$\text{Volumetric strain} = \frac{\text{Change in volume } (\Delta V)}{\text{Original volume } (V)}$$

(iii) शिअर स्ट्रेन (Shear strain): व्यक्त केलेल्या स्पर्शिक ताणामुळे शरीरात जो कोन झुकाव होतो त्याला शिअर स्ट्रेन म्हणतात. हे असे दिले आहे:

$$\text{Shear strain} = \theta = \frac{\Delta L}{L}.$$

विकृत शक्ती काढून टाकल्यावर शरीराला त्याची मूळ स्थिती परत मिळू शकेल अशा जास्तीत जास्त ताणाला लवचिक मर्यादा म्हणतात.

1.2.4 हुकचा कायदा (Hooke's Law):

हूकचा कायदा सांगतो की, लवचिक मर्यादेत, उत्पादित संबंधित ताणाचे ताणाचे गुणोत्तर स्थिर असते. या स्थिरांकाला लवचिकतेचे मॉड्यूलस म्हणतात.
अशा परिस्थितीचा विचार करा जिथे आपण शरीरावर बाह्य शक्ती लागू करतो. परिणामी शरीरात तणाव निर्माण होतो या तणावामुळे शरीरात एक ताण निर्माण होईल ज्याचा अर्थ शरीरात काही विकृती निर्माण होईल. तणावामुळे ताण निर्माण होतो.

हूकच्या नियमानुसार, ताण वाढल्यास तणाव वाढतो आणि उलट.
हुकचा नियम सर्व लवचिक पदार्थांना लागू आहे.
अशा प्रकारे
लवचिकतेच्या मर्यादेत, ताण तणावाच्या प्रमाणात असतो.

ताण α ताण

(**Stress α Strain**)

किंवा ताण = ई * ताण
जेथे, E शरीराच्या सामग्रीच्या लवचिकतेचे मापांक आहे.

$$\text{Modulus of elasticity} = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}$$

Since strain is a pure number, the units of this constant are the same as those of stress, *i.e.*, Nm^{-2}.

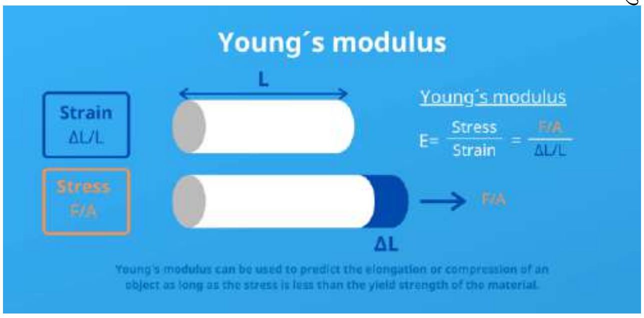
1.2.5 लवचिक मर्यादा (Elastic Limit)

लवचिक मर्यादा ही विकृत शक्तीची वरची मर्यादा आहे ज्यापर्यंत, विकृत शक्ती काढून टाकल्यास, शरीर पूर्णपणे त्याचे मूळ स्वरूप प्राप्त करते आणि त्यापलीकडे विकृत शक्ती वाढल्यास शरीर लवचिकतेचा गुणधर्म गमावते आणि कायमचे विकृत होते.

1.2.6 लवचिकतेच्या मॉड्यूलसचे प्रकार (Types of Modulus of Elasticity)

I. यंग्स मॉड्युलस ऑफ लवचिकता (Young's Modulus of Elasticity)-(Y)

लवचिक मर्यादेतील रेखांशाचा ताण आणि सामान्य ताणाचे गुणोत्तर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.



आकृती 1.5

Y = सामान्य ताण / अनुदैर्ध्य ताण

Y =(FΔl)/Al = (Mg Δl)/πr²l

$$Y = \frac{F\Delta l}{Al} = \frac{Mg\,\Delta l}{\pi r2l}$$

त्याचे एकक N/m² किंवा पास्कल आहे आणि त्याचे मितीय सूत्र $[M^1L^{-1}T^{-2}]$.आहे.
तो फक्त घन पदार्थांचा गुणधर्म आहे

II. लवचिकतेचे बल्क मॉड्यूलस (Bulk Modulus of Elasticity)-(K)

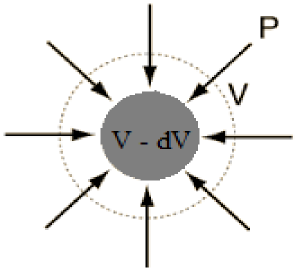
लवचिक मर्यादेतील व्हॉल्यूमेट्रिक ताण आणि सामान्य ताणाचे गुणोत्तर म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.
K=(सामान्य ताण)/(व्हॉल्यूमेट्रिक ताण)
K=-FV/(A ΔV)=-(Δp V)/(Δ V)
कुठे, Δp = F / A = दाबात बदल.

$$K = -\frac{FV}{A\,\Delta V} = -\frac{\Delta p\ V}{\Delta\ V}$$

त्याचे एकक N/m² किंवा पास्कल आहे आणि त्याचे मितीय सूत्र $[ML^{-1}T^{-2}]$ आहे.

संकुचितता

कॉम्प्रेसिबिलिटी हे पदार्थाच्या कॉम्प्रेशनचे मोजमाप आहे. बल्क मॉड्युलसच्या परस्परसंवादाला 'संकुचितता' असे



म्हणतात. आकृती 1.6

गणितानुसार:

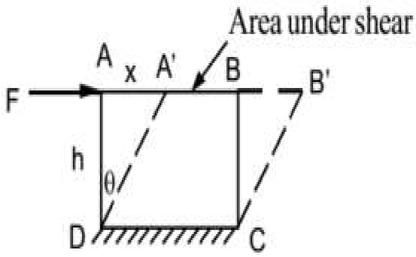
C=1/K = - (1/p) (ΔV/V)

हे 'C' ने दर्शविले जाते.

C(घन) < C(द्रव) < C(वायू)

त्याचे SI युनिट N-1m2 आहे आणि CGS युनिट dyne-1 cm2 आहे.

III. कडकपणाचे मॉड्यूलस (Modulus of Rigidity)- (η)



आकृती 1.7

हे लवचिक मर्यादेच्या आत, कातरणे ताण आणि स्पर्शिक ताणाचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

η = (स्पर्शिक ताण)/(शिअरिंग स्ट्रेन)=F/Aθ

$$\eta = \frac{\text{Tangential stress}}{\text{Shearing strain}} = \frac{F}{A\theta}$$

त्याचे एकक N/m2 किंवा पास्कल आहे आणि त्याचे मितीय सूत्र $[ML^{-1}T^{-2}]$.आहे.

रबरापेक्षा स्टील अधिक लवचिक आहे. घन अधिक लवचिक असतात आणि वायू कमीत कमी लवचिक असतात. द्रवपदार्थांसाठी, कडकपणाचे मॉड्यूलस शून्य आहे. यंग्स मॉड्युलस (Y) आणि मॉड्युलस ऑफ रिजिडिटी (η) फक्त घन पदार्थांद्वारेच असतात.

1.2.7 लवचिक मोड्युली Y, K, आणि η मधील संबंध

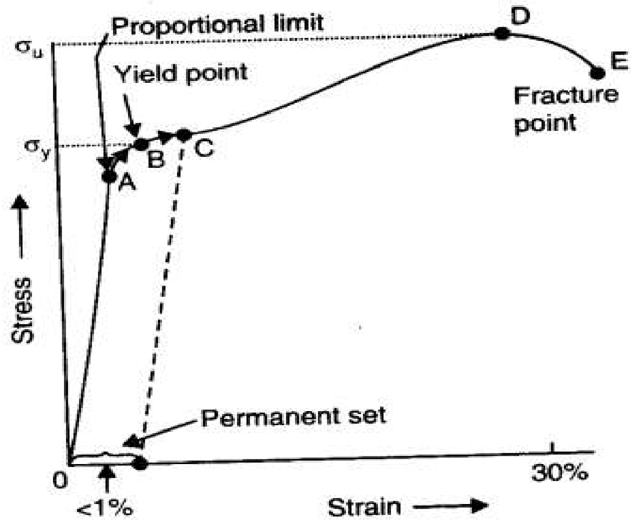
समस्थानिक पदार्थांसाठी (म्हणजे, सर्व दिशांना समान गुणधर्म असणारी सामग्री), तीन लवचिक स्थिरांकांपैकी फक्त दोन स्वतंत्र असतात. उदाहरणार्थ, यंगचे मॉड्यूलस बल्क आणि शिअर मोड्युलीच्या संदर्भात व्यक्त केले जाऊ शकते.

$$\frac{9}{Y} = \frac{3}{\eta} + \frac{1}{K} \qquad \text{Therefor} \qquad Y = \frac{9K\eta}{3K+\eta}$$

$$\frac{3}{Y} = \frac{1}{\eta} + \frac{1}{3K}$$

1.3 ताण ताण वक्र (Stress Strain Curve)

दिलेल्या सामग्रीची तन्य शक्ती समजून घेण्यासाठी ताण तणाव वक्र उपयुक्त आहेत. दिलेली आकृती दिलेल्या धातूचा ताण-ताण वक्र दर्शवते.



आकृती 1.8

O ते A पर्यंतचा वक्र रेखीय आहे. या प्रदेशात हूकच्या आनुपातिक मर्यादा कायद्याचे पालन केले जाते. A ते 6 पर्यंतच्या प्रदेशात ताण आणि ताण प्रमाणबद्ध नाहीत. तरीही, भार काढून टाकल्यानंतर शरीराला त्याचे मूळ आकारमान परत मिळते. वक्रातील बिंदू B हा उत्पन्न बिंदू किंवा लवचिक मर्यादा आहे आणि संबंधित ताण सामग्रीची उत्पन्न शक्ती म्हणून ओळखला जातो. B च्या पलीकडे असलेला वक्र प्लास्टिकच्या विकृतीचा प्रदेश दाखवतो. वक्रावरील D बिंदू सामग्रीची तन्य शक्ती दर्शवितो. या बिंदूच्या पलीकडे, दिलेल्या सामग्रीमध्ये अतिरिक्त ताणामुळे फ्रॅक्चर होते.

1.3.1 पॉसॉनचे प्रमाण (Poisson's Ratio)

व्यास (ΔD) आणि मूळ व्यास (D) मधील बदलाच्या गुणोत्तराला लॅटरल स्ट्रेन म्हणतात. लांबी (Δl) आणि मूळ लांबी (l) मधील बदलाच्या गुणोत्तराला रेखांशाचा ताण म्हणतात. पार्श्व ताण आणि रेखांशाच्या ताणाच्या गुणोत्तराला पॉसॉनचे गुणोत्तर म्हणतात.

$$\sigma = \frac{Lateral\ strain}{Longitudianl\ strain} = \frac{-\Delta Dl}{\Delta lD}$$

σ= (लॅटरल स्ट्रेन)/(लाँगिटुडियन स्ट्रेन)=(-ΔDl)/ΔlD

टीप:

1) σ ला कोणतेही एकक आणि परिमाण नाहीत. ती एक शुद्ध संख्या आहे

2) σ चे मूल्य -1 ते 0.5 दरम्यान आहे

३) रबर = ०.५ साठी σ

4) घन पदार्थांसाठी σ 0.25 ते 0.33 दरम्यान असते

1.3.2 लवचिक थकवा (Elastic Fatigue)

हा लवचिक शरीराचा गुणधर्म आहे ज्याच्या गुणवत्तेमुळे त्याचे वर्तन वारंवार बदलणाऱ्या विकृत शक्तींच्या कृतीमुळे कमी लवचिक बनते.

1.3.3 ब्रेकिंग स्ट्रेस (Breaking Stress)

तार किंवा रॉड खेचून तोडण्यासाठी लागणारा ताण म्हणजे सामग्रीची अंतिम तन्य शक्ती. सामग्रीचा ब्रेकिंग ताण हा जास्तीत जास्त ताण आहे जो सामग्री सहन करू शकते. या बिंदूच्या पलीकडे ब्रेकेज उद्भवते. म्हणून, वायरची लवचिक संभाव्य उर्जा (ऊर्जा घनता) तिच्या ताण आणि ताणाच्या निम्म्या उत्पादनाइतकी असते.

1.3.4 लवचिकतेची मर्यादा (Limit of Elasticity)
विकृत शक्तीचे कमाल मूल्य ज्यासाठी शरीरात लवचिकता असते त्याला तिची लवचिकता मर्यादा म्हणतात.

1.3.5 ब्रेकिंग स्ट्रेस (Breaking Stress)
वायर तोडण्यासाठी आवश्यक ताणाचे किमान मूल्य, ब्रेकिंग स्ट्रेस असे म्हणतात. सामग्रीसाठी ब्रेकिंग स्ट्रेस निश्चित केला आहे परंतु ब्रेकिंग फोर्स वायरच्या क्रॉस-सेक्शनच्या क्षेत्रानुसार बदलतो.
सेफ्टी फॅक्टर = ब्रेकिंग स्ट्रेस / कामाचा ताण

1.3.6 लवचिक विश्रांतीची वेळ (Elastic Relaxation Time)
विकृत शक्ती काढून टाकल्यानंतर मूळ कॉन्फिगरेशन पुनर्संचयित करण्यात वेळ विलंब होतो त्याला लवचिक विश्रांती वेळ म्हणतात. क्वार्ट्ज आणि फॉस्फर ब्राँझसाठी ही वेळ नगण्य आहे.

1.3.7 प्रभावानंतर लवचिक (Elastic after Effect)
विकृत शक्ती काढून टाकल्यानंतर लवचिक शरीराद्वारे मूळ कॉन्फिगरेशन परत मिळविण्यात तात्पुरता विलंब होतो, त्याला प्रभावानंतर लवचिक म्हणतात.

1.3.8 डक्टाइल मटेरिअल्स (Ductile Materials)
जे साहित्य लवचिक मर्यादेच्या पलीकडे प्लास्टिकची मोठी श्रेणी दाखवतात त्यांना डक्टाइल मटेरियल म्हणतात, उदा., तांबे, चांदी, लोखंड, ॲल्युमिनियम, इ. स्प्रिंग्स आणि शीट्स बनवण्यासाठी डक्टाइल मटेरियल वापरतात.

1.3.9 ठिसूळ साहित्य (Brittle Materials)
जी सामग्री लवचिक मर्यादेच्या पलीकडे अगदी लहान प्लास्टिकची श्रेणी दर्शवते त्यांना ठिसूळ पदार्थ म्हणतात, उदा., काच, कास्ट लोह इ.

1.3.10 Elastomers
ज्या सामग्रीसाठी ताण निर्माण केला जातो त्या ताणापेक्षा खूप मोठा असतो, लवचिकतेच्या मर्यादेत त्यांना इलास्टोमर्स म्हणतात, उदा., रबर, महाधमनीतील लवचिक ऊतक, हृदयातून रक्त वाहून नेणारी मोठी वाहिनी. इ. इलास्टोमर्सना प्लास्टिकची श्रेणी नसते.

1.3.11 लवचिकता प्रभावित करणारे घटक (Factors Affecting Elasticity)
लवचिक थकव्यामुळे शरीरे त्यांची लवचिक मर्यादा गमावतात असे आढळून आले आहे. म्हणून, उत्पादनाने सामग्री अशा प्रकारे निवडली पाहिजे की ती मोठ्या प्रमाणात ताणतणावांच्या चक्राच्या अधीन असताना देखील त्याची लवचिक मालमत्ता परत मिळवू शकेल.

उदाहरणार्थ क्वार्ट्ज, फॉस्फर, कांस्य इत्यादी पदार्थ. त्यांचे लवचिक गुणधर्म जाणून घेतल्यानंतर ते गॅल्व्हानोमीटर, इलेक्ट्रोमीटर इत्यादींच्या निर्मितीमध्ये वापरले जाऊ शकतात.

लवचिक थकवा व्यतिरिक्त काही सामग्री त्यांच्या लवचिक गुणधर्मांमध्ये खालील घटकांमुळे बदलेल.

1. तणावाचा प्रभाव
2. एनीलिंगचा प्रभाव
3. तापमानात बदल
4. अशुद्धतेची उपस्थिती
5. क्रिस्टल्सच्या स्वरूपामुळे

- **तणावाचा प्रभाव (Effect of stress):** आपल्याला माहित आहे की जेव्हा एखादी सामग्री मोठ्या संख्येने तणावाच्या चक्रांच्या अधीन असते, तेव्हा ती लवचिक मर्यादेतही लवचिक गुणधर्म गमावते. त्यामुळे सामग्रीवरील कामाचा ताण अंतिम तन्य मजबुती आणि सुरक्षितता घटकापेक्षा कमी ठेवला पाहिजे.
- **ॲनिलिंगचा प्रभाव (Effect of Annealing):** ॲनिलिंग ही एक प्रक्रिया आहे ज्याद्वारे सामग्री खूप उच्च तापमानाला गरम केली जाते आणि नंतर ती हळूहळू थंड केली जाते. सहसा ही प्रक्रिया सामग्रीसाठी अवलंबली जाते ज्यामुळे सामग्रीमध्ये मऊपणा आणि लवचिकता वाढते. परंतु जर एखाद्या सामग्रीवर ॲनिलिंग केले गेले तर त्याचा परिणाम मोठ्या क्रिस्टल दाण्यांच्या निर्मितीमध्ये होतो, ज्यामुळे शेवटी सामग्रीची लवचिक गुणधर्म कमी होते.

- **तापमानाचा प्रभाव (Effect of temperature):** तापमानाप्रमाणे पदार्थाचा लवचिक गुणधर्म बदलतो. सामान्यतः तापमानात घट होऊन लवचिकता वाढते.
  उदाहरणे
  1. तापमान कमी झाल्यावर शिशाचा लवचिक गुणधर्म वाढतो.
  2. कार्बन फिलामेंट जास्त तापमानात प्लास्टिक बनते.
- अशुद्धतेचा प्रभाव: अशुद्धता जोडल्याने पदार्थांच्या लवचिक गुणधर्मामध्ये फरक निर्माण होतो. लवचिकता वाढणे आणि कमी होणे हे त्यात समाविष्ट केलेल्या अशुद्धतेच्या प्रकारावर अवलंबून असते.
  उदाहरणे:
  1. सोन्यामध्ये पोटॅशियम मिसळल्यास सोन्याची लवचिक गुणधर्म वाढते.
  2. जेव्हा वितळलेल्या लोहामध्ये कार्बन जोडला जातो तेव्हा लोहाचा लवचिक गुणधर्म कमी होतो जर लोहामध्ये कार्बनचे प्रमाण 1% पेक्षा जास्त असावे.
- स्फटिकांच्या स्वरूपाचा प्रभाव: स्फटिकांच्या प्रकारांवर देखील लवचिकता अवलंबून असते, मग ते एकल स्फटिक असो किंवा पॉली स्फटिक असो. एका क्रिस्टलसाठी लवचिकता अधिक असते आणि पॉली क्रिस्टलसाठी लवचिकता कमी असते.

1.4 न्यूटनचे गतीचे नियम (Newton's Laws of Motion):

a) न्यूटनचा गतीचा पहिला नियम (Newton's First Law of Motion):

विधान: बाह्य असंतुलित शक्तीद्वारे कार्य केल्याशिवाय प्रत्येकजण विश्रांतीच्या स्थितीत किंवा सरळ रेषेत एकसमान गतीने चालू राहतो.
उदाहरण:
टेबलावर ठेवलेली एखादी वस्तू जोपर्यंत कोणीतरी विस्थापित होत नाही तोपर्यंत ती तशीच राहते

b) न्यूटनचा गतीचा दुसरा नियम (Newton's Second Law of Motion):

विधान: शरीराच्या संवेगातील बदलाचा दर हा शरीरावर लागू होणाऱ्या बाह्य असंतुलित बलाच्या थेट प्रमाणात असतो आणि बलाच्या दिशेने होतो.

Force $\alpha \frac{mv - mu}{t}$

Force $\alpha \frac{m(v-u)}{t}$

Force = constant $\times \frac{m(v-u)}{t}$

Force = constant × ma

Force = ma

c) न्यूटनचा गतीचा तिसरा नियम (Newton's third Law of Motion):

विधान: प्रत्येक क्रियेसाठी, नेहमी समान आणि विरुद्ध प्रतिक्रिया असते
उदाहरणे:
1) जेव्हा बंदुकीतून गोळी झाडली जाते, म्हणजे क्रिया, तेव्हा या क्रियेसह तोफा मागच्या दिशेने म्हणजेच प्रतिक्रिया येते.
.2) जलतरणपटू पाण्याला मागे ढकलतो म्हणजेच क्रियेने आणि पाणी त्याला समान शक्तीने म्हणजेच प्रतिक्रियेने पुढे ढकलते.

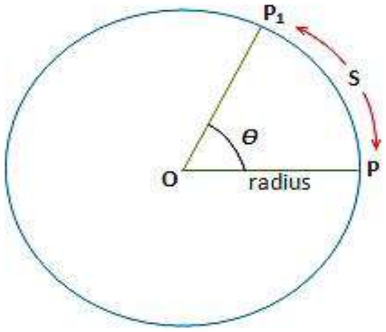
1.4 .1 न्यूटनच्या हालचालींच्या नियमांचा वापर:

गती संवर्धनाचा नियम:
जेव्हा दोन किंवा अधिक शरीरे एकमेकांवर आदळतात तेव्हा या शरीराच्या प्रभावापूर्वीचा एकूण संवेग समान शरीराच्या आघातानंतरच्या एकूण संवेगाइतका असतो.
प्रभावापूर्वी एकूण गती = प्रभावानंतर एकूण गती
बंदुकीतून सुटलेली गोळी :
बंदुकीतून गोळी उडाली तर गोळी मोठ्या वेगाने हलते (शूट आऊट) आणि त्याच वेळी तोफा कमी वेगाने मागच्या दिशेने फिरते, याला तोफेची रेकोइल म्हणतात.

चला,
Mb = बुलेटचे वस्तुमान.
Mg = बंदुकीचे वस्तुमान
Vb = बुलेटचा वेग
वा = बंदुकीचा वेग किंवा बंदुकीचा वेग

गोळीबार करण्यापूर्वी: बंदूक आणि गोळी विश्रांतीवर आहेत.
गोळीबारानंतर: गोळी पुढे सरकते आणि बंदूक मागे सरकते
बुलेटचा वेग = MbVb
बंदुकीचा वेग = Mg (- Vg)
संवेग संवर्धनाच्या कायद्यानुसार
गोळीबार करण्यापूर्वी एकूण गती = गोळीबारानंतर एकूण गती
MbVb = Mg (- Vg)
गोळीबार करण्यापूर्वी एकूण गती शून्य आहे
MbVb = Mg (- Vg)
Vg = (MbVb)/Mg
हे बंदुकीच्या मागे फिरते.

1.5.1 कोनीय विस्थापन (Angular Displacement):



आकृती 1.9

कोनीय विस्थापन हे वर्तुळाच्या मध्यभागी दिलेल्या वेळेत त्रिज्या वेक्टरद्वारे वर्णन केलेले कोन म्हणून परिभाषित केले जाते. हे θ द्वारे दर्शविले जाते
किंवा
त्रिज्या वेक्टरद्वारे शोधलेल्या कोनाला कोनीय विस्थापन म्हणतात

$$\text{Angular Displacement} = \frac{\textbf{Arc length}}{\textbf{redius}}$$

$$\text{Angular Displacement} = \frac{\textbf{Arc AB}}{\textbf{redius}}$$

$$\theta = \frac{S}{r}$$

कोनीय विस्थापन = (चाप लांबी)/रेडियस
कोनीय विस्थापन = (आर्क AB)/रेडियस
θ = S/r
कोनीय विस्थापनाचे एकक: रेडियन (रेड)

1.5.2 कोनीय वेग (Angular Velocity):

वेळेच्या संदर्भात कोनीय विस्थापनाच्या बदलाच्या दराला कोनीय वेग म्हणतात. हे ω द्वारे दर्शविले जाते

$$\text{Angular Velocity} = \frac{\textbf{Angular Displacement}}{\textbf{Time}}$$

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{\boldsymbol{\theta}}{\mathbf{t}}$$

कोनीय वेग = (कोनीय विस्थापन)/वेळ

ω = θ/t

एकक = रेडियन/सेकंद (रेड/से)

1.5.3 कोनीय प्रवेग (Angular acceleration) :

वेळेच्या संदर्भात कोनीय वेगाच्या बदलाच्या दराला कोनीय प्रवेग असे म्हणतात.

$$\text{Angular Acceleration} = \frac{\textbf{Change in Angular Velocity}}{\textbf{Time}}$$

$$\text{Angular Acceleration} = \frac{\textbf{Final angular velocity} - \textbf{Initian angular velocity}}{\textbf{Time}}$$

$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{\boldsymbol{\omega - \omega 0}}{\mathbf{t}}$$

हे α द्वारे दर्शविले जाते

कोनीय प्रवेग = (कोनीय वेगात बदल)/वेळ

कोनीय प्रवेग = (अंतिम टोकदार वेग - आरंभिक कोणीय वेग)/वेळ

α = (ω - ω0)/t

एकक = radian / s2

1.5.4 कोनीय गतीचे तीन समीकरण (Three Equation of Angular Motion):

कोनीय गतीची तीन समीकरणे आहेत,

$\omega = \omega o + \alpha t$

$\alpha = \omega o\, t + 1/2\, \alpha t^2$

$\omega^2 = \omega o^2 + 2\alpha\theta$

कुठे;

ωo = आरंभिक कोनीय वेग rad/sec मध्ये.

ω = अंतिम कोनीय वेग rad/sec मध्ये.

θ = रेडियनमध्ये कोनीय विस्थापन.

α = rad/sec^2 मध्ये कोनीय प्रवेग.

महत्वाचे मुद्दे:

1 क्रांती = 2 π रेडियन

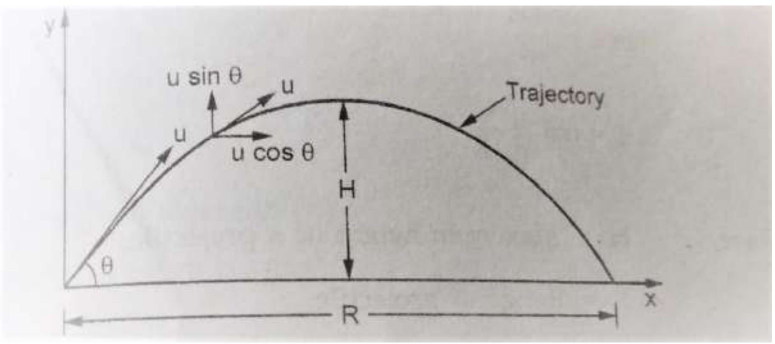
1 rpm = 1/60 × 2 π rad /s

सेकंड हँडचा कालावधी = 1 मिनिट = 60 सेकंद

मिनिट हाताचा कालावधी = 1 तास = 3600 सेकंद

ω = (2 π)/T = 2 πn

1.5.5 प्रक्षेपण गती (Projectile Motion):



आकृती 1.10

हवेत फेकल्या गेलेल्या वस्तूच्या गतीने गुरुत्वाकर्षणाच्या क्रियेखाली क्षैतिज मुक्तपणे हलवून काही कोन (90^0 पेक्षा कमी) करून त्याला प्रक्षेपण गती म्हणतात.
उदाहरण:
बंदुकीतून गोळी झाडली जाते
एका खेळाडूने हवेत लाथ मारलेला फुटबॉल.

1.5.6 मार्गक्रमण (Trajectory):
प्रक्षेपण गतीमध्ये एखाद्या वस्तूद्वारे शोधलेल्या मार्गाला प्रक्षेपण म्हणतात.

1.5.7 प्रक्षेपणाचा वेग (Velocity of Projectile) (V) :
प्रक्षेपण गतीतील शरीर ज्या वेगाने फेकले जाते त्याला प्रक्षेपणाचा वेग म्हणतात.

1.5.8 प्रक्षेपणाचा कोन –(Angle of Projection)(θ):
ज्या कोनातून प्रक्षेपण केले जाते त्याला प्रक्षेपण कोन म्हणतात.
$= \tan^{-1} \frac{4H}{R}$
H = प्रक्षेपणास्त्राची कमाल उंची
R = प्रक्षेपणाची श्रेणी.

1.5.9 प्रोजेक्टाइलची कमाल उंची– (Maximum Height of a Projectile) (H):
हे जमिनीच्या पातळीपासून प्रक्षेपणाद्वारे व्यापलेले कमाल उभ्या अंतराला प्रक्षेपणास्त्राची उंची म्हणतात.

$$H = \frac{v^2 sin\theta}{2g}$$

1.5.10 फ्लाइटची वेळ–(Time of Flight):
प्रक्षेपणाद्वारे प्रक्षेपण किंवा प्रक्षेपणाचा संपूर्ण मार्ग कव्हर करण्यासाठी लागणारा वेळ.
$T = \frac{2usin\theta}{g}$
u = प्रक्षेपणाचा प्रारंभिक वेग
g = गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारा प्रवेग
θ = प्रक्षेपणाचा कोन.

1.5.11 प्रक्षेपणाची श्रेणी (Range of Projectile):
प्रक्षेपणाने व्यापलेल्या आडव्या अंतराला प्रक्षेपणाची श्रेणी असे म्हणतात.
$R = \frac{u^2 sin\, 2\theta}{g}$

जर $\theta = 45^0$ & $2\theta = 90^0$ तर पाप 90 = 1
$R_{max} = u^2 / g$
प्रक्षेपणाचा कोन (θ) 45^0 असल्यास श्रेणी कमाल आहे
$\theta = 20^0$ & $\theta = 70^0$ साठी श्रेणी समान आहे

1.6 कार्य, शक्ती आणि ऊर्जा (Work, Power and Energy):

1.6.1 कार्य (Work):
प्रयुक्त शक्तीच्या दिशेने काही अंतराने शरीर प्रत्यक्षात विस्थापित केले जाते तेव्हा कार्य शक्तीने केले जाते असे म्हणतात. तथापि, लागू केलेल्या शक्तीच्या दिशेने कोणतेही विस्थापन नसताना, कोणतेही काम केले जात नाही असे म्हटले जाते. केलेले कार्य किंवा कार्य हे बलाच्या परिमाणाचे उत्पादन आणि शरीर ज्या अंतराने बलाच्या दिशेने फिरते ते म्हणून

परिभाषित केले जाते.
केलेले कार्य = बल × विस्थापन.
W = F.s
(Work done = Force × displacement.
W = F.s)
जर बल आणि विस्थापनाची दिशा भिन्न असेल तर कार्य काय होईल?
$W = F\cos\theta \times s$
केलेल्या कामाचे एकक म्हणजे न्यूटन मीटर किंवा ज्युल
1Nm = 1 ज्युल
अशाप्रकारे एक जूल म्हणजे एका न्यूटनच्या बलाने केलेले कार्य जेव्हा ते एका मीटरमधून शरीर विस्थापित करते.

1.6.2 शक्ती (Power):

शक्तीची व्याख्या काम करण्याचा दर म्हणून केली जाते.
पॉवर = काम/वेळ = W/t
पॉवर = (F.s)/t= (ma.s)/t = mav जेथे, v=s/t
शक्ती = F.v
SI युनिट = वॅट किंवा J/s CGS एकक = erg/s
1 वॅट = 107 erg/s, 1 kW = 1000 W
1 एचपी = 746 वॅट
हॉर्स पॉवर (HP) हे अभियांत्रिकी क्षेत्रातील शक्तीचे व्यावहारिक एकक आहे.

1.6.3 ऊर्जा (Energy):

ऊर्जेचे मुख्य प्रकार म्हणजे गतिज ऊर्जा (गतीमुळे) आणि संभाव्य ऊर्जा (स्थितीमुळे)

1. गतीज ऊर्जा (Kinetic Energy):

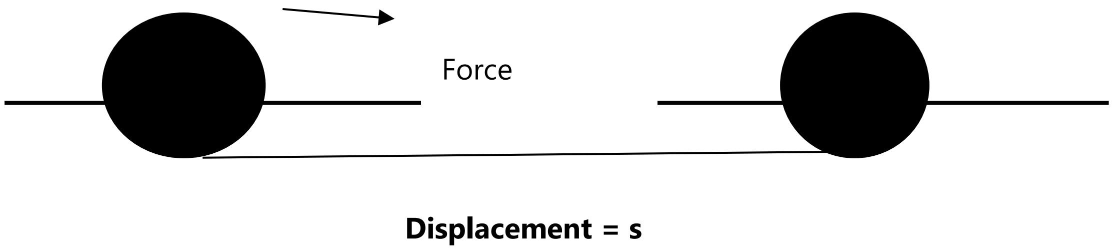
शरीरात त्याच्या हालचालीमुळे जी ऊर्जा असते तिला गतिज ऊर्जा म्हणतात.
के.ई. = 1/2 मी V^2
$K.E. = \frac{1}{2} m V^2$
m = हलत्या शरीराचे वस्तुमान
V = शरीराचा वेग

2. संभाव्य ऊर्जा (Potential Energy):

शरीराच्या स्थितीमुळे त्याच्याजवळ असलेल्या ऊर्जेला संभाव्य ऊर्जा म्हणतात.
पी.ई. = mgh
m = शरीराचे वस्तुमान
h = शरीराची उंची

1.6.4 कार्य-ऊर्जा तत्त्व (Work-energy Principle):

विधान:
शरीर विस्थापित करण्यासाठी शक्तीने केलेले कार्य शरीराच्या गतिज उर्जेतील बदल मोजते. किंवा शरीराच्या KE मध्ये होणारा बदल हा शरीरावर केलेल्या कामाइतकाच असतो.



आकृती 1.11

F हे बल शरीरावर कार्य करत आहे ते लागू केलेल्या बलाच्या दिशेने फिरते याचा विचार करा,
's' त्यांचे विस्थापन असावे.
आरंभिक $KE = \frac{1}{2} m u^2$

अंतिम $KE = \frac{1}{2} m V^2$
KE = अंतिम KE – आरंभिक KE मध्ये बदल
$= \frac{1}{2} m V^2 - \frac{1}{2} m u^2$
$= \frac{1}{2} m(V^2 - u^2)$

3 रा किनेमॅटिकल समीकरणानुसार,
$V^2 = u^2 + 2as$
$2as = V^2 - u^2$
$= \frac{1}{2} m(V^2 - u^2)$
$= \frac{1}{2} m(2as)$
$= mas$
KE = F.s आणि F = ma मध्ये बदल
अशा प्रकारे शरीर विस्थापित करण्यासाठी शक्तीने केलेले कार्य KE मधील बदलासारखे आहे.

- **स्वाध्याय :**

1) जेव्हा बाह्य शक्ती एखाद्या इलेस्टिक शरीरावर लागू होते, तेव्हा शरीराचा आकार आणि आकार बदलतो आणि शरीर . . . . . . असल्याचे म्हटले जाते.
   a) पुन्हा मिळवा
   b) पुनर्संचयित करा
   c) विकृत
   d) प्लास्टिक
2) विकृत शक्ती काढून टाकल्यानंतर शरीर त्यांचे मूळ आकार आणि आकार परत मिळवते . . . . .
   a) प्लास्टिकपणा
   b) लवचिकता
   c) कडकपणा
   d) इतर कोणतेही
3) तन्य ताण परिभाषित करा
   a) बाजूकडील ताण
   b) रेखांशाचा ताण
   c) आवाज ताण
   d) कातरणे ताण
4) टॉर्शनल पेंडुलमचे उदाहरण आहे
   a) ताणासंबंधीचा ताण
   b) आवाज ताण
   c) कातरणे ताण
   d) रेखांशाचा ताण
5) वाहनातील शॉक शोषक याचे उदाहरण आहे
   a) रेखांशाचा ताण
   b) ताणासंबंधीचा ताण
   c) आवाज ताण
   d) कातरणे ताण

6) प्रवेग काय आहे
   a) वेळ / वेगातील बदल
   b) वेगात बदल * वेळ
   c) वेग / वेळेत बदल
   d) वेग + वेळेत बदल

7) न्यूटनच्या गतीचा दुसरा नियम कोणता फॉलोइंग आहे
   a) पेंडुलमच्या हालचालीकडे आणि पुढे
   b) बॉल पकडताना क्रिकेटर हात मागे फिरवतो
   c) पृथ्वीवर उडी मारणे
   d) पक्षी उडू शकतात

8) एक रोटेशन = ... rad
   a) Π/3
   b) Π /2
   c) Π
   d) 2Π

9) प्रोजेक्टाइलची व्याख्या हवा बनवण्याच्या कोनात फेकलेली वस्तू म्हणून केली जाते. क्षैतिज . . . .
   a) 90 अंशांपेक्षा जास्त
   b) 0 पेक्षा जास्त आणि 90 अंशांपेक्षा कमी
   c) 0 अंशापेक्षा कमी
   d) 180 अंश

10) 1 (watt) वॅट =
   a) 1W=1J / 1S
   b) 1W=1J x 1S
   c) 1W=1S / 1J
   d) यापैकी नाही

References used for learning manual :

Websites:

1. www.physicsclassroom.com

2. https://iksindia.org

3. www.sciencejoywagon.com/physicszone

Reference Books:

1. Fundamentals of Physics by Haliday, David; Resnik,Robert and Walker, Jearl Publisher John Wiley & sons, Hoboken, USA, 2014 ISBN :812650823X

2. Applied Physics II by Hussain Jeevakhan Publisher: Khanna Book Publishing ISBN:9789391505578

3. Physics Textbook Part I -Class XII by Narlikar, J.V.;Joshi , A. W.;Ghatak A.K. et al Publisher : National Council of Education Research andTraining, New Delhi, 2013, ISBN : 8174506314

4. . Physics Textbook Part II -Class XII by Narlikar, J.V.;Joshi , A. W.;Ghatak A.K. et al Publisher : National Council of Education Research andTraining, New Delhi, 2013, ISBN : 8174506713

युनिट : २

लहरी आणि दोलन (Waves and oscillations)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome): विविध अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांसाठी साध्या हार्मोनिक मोशन, रेझोनान्स आणि अल्ट्रासोनिक ध्वनी संकल्पना लागू करणे.

घटक निष्पत्ती (Theory learning outcome):

2.1 ध्वनी लहरी, मोठेपणा(amplitude), वारंवारता, वेळ – कालावधी, तरंग–लांबी आणि तरंगाचा वेग, वेग, वारंवारता आणि वेळ यांच्यातील संबंध – लहरीचा कालावधी.

2.2 साधी हार्मोनिक गती, साध्या हार्मोनिक मोशन म्हणून एकसमान वर्तुळाकार गती, साध्या हार्मोनिक गतीचे समीकरण, साध्या हार्मोनिक मोशनचा टप्पा.

2.3 अनुनाद, अनुनाद अनुप्रयोग.

2.4 प्रागैतिहासिक काळातील अनुनाद संकल्पना, शरीरातील विविध चक्रे प्रज्वलित करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या वेगवेगळया फ्रिक्वेन्सीची संकल्पना (मंत्र) (IKS).

2.5 प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा, प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींचे गुणधर्म.

2.6 प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा निर्माण करण्यासाठी Piezoelectric आणि Magnetostriction पद्धत

2.7 प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा अनुप्रयोग.

विशिष्ट उद्दिष्टे

- दिलेल्या वेव्ह मोशन आणि साध्या हार्मोनिक मोशनचे विश्लेषण करण्यासाठी आवश्यक पॅरामीटर्स शोधा.
- अनुनाद संकल्पना आणि त्याचे उपयोग स्पष्ट करा.
- दिलेल्या अल्ट्रासोनिक लहरींच्या गुणधर्मांचे वर्णन करा.
- प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींच्या निर्मितीची दिलेली पद्धत स्पष्ट करा.

2.1 ध्वनी लहरी, मोठेपणा(amplitude), वारंवारता, वेळ – कालावधी, तरंग–लांबी आणि लहरीचा वेग, वेग, वारंवारता आणि वेळ यांच्यातील संबंध – तरंगांचा कालावधी

2.1.1 परिचय

आवाज हा ऊर्जेचा एक प्रकार आहे. कोणतेही कंपन करणारे शरीर आवाज निर्माण करते. ध्वनी ही एक यांत्रिक तरंग आहे म्हणजेच ज्याला एका बिंदूपासून दुसऱ्या बिंदूकडे जाण्यासाठी भौतिक माध्यमाची आवश्यकता असते. आवाज व्हॅक्यूममधून प्रवास करू शकत नाही.

ध्वनी हवेतून (वायू), द्रव (पाणी), घन (स्टील, ॲल्युमिनियम) मधून ध्वनीचा वेग द्रव पेक्षा जास्त असतो आणि द्रव मधील वेग हवेपेक्षा जास्त असतो.

ध्वनीचा वेग आहे : घन > द्रव > वायू

कारण : घन पदार्थांमधील रेणूंमधील अंतर म्हणजे द्रवापेक्षा खूपच लहान आणि द्रवाच्या रेणूंमधील अंतर वायूंपेक्षा कमी आहे. घन पदार्थांच्या बाबतीत, कणांमधील टक्कर होण्यास कमी वेळ लागतो आणि म्हणून वेग जास्त असतो.

ध्वनीचा वेग साधारणतः खालील प्रमाणे असतो

(स्टील) घन मध्ये 6000 मी/से

(पाणी) द्रव मध्ये 1500 मी/से

(वायु(Air)) वायू मध्ये 330 मी/से

अशा प्रकारे ध्वनी हा उर्जेचा एक प्रकार आहे जो तरंगांच्या रूपात एका बिंदूपासून (स्रोत) दुसऱ्या बिंदूकडे (रिसीव्हर) हवेसारख्या माध्यमाने प्रवास करतो. लवचिक सामग्रीच्या माध्यमातून आवाज यांत्रिक लहरीच्या रूपात प्रवास करतो. ध्वनी हा उर्जेचा एक प्रकार आहे जो आपल्या कानात ऐकण्याची संवेदना निर्माण करतो.

ध्वनीचा स्रोत (जसे कंपन करणार ट्युनिंग फोर्क, लाऊड स्पीकर) ध्वनी लहरी प्रसारित करतो आणि त्या व्यक्तीच्या (रिसीव्हर) कानाद्वारे प्राप्त होतात, कानाद्वारे प्राप्त होणारा आवाज मेंदूद्वारे संवेदना होतो.

परंतु सामान्य निरोगी मानवी कान केवळ 20Hz ते 20kHz वारंवारता असलेल्या ध्वनी लहरींना प्रतिसाद देऊ शकतात. फक्त 20Hz खाली आणि 20kHz वरील ध्वनी (वारंवारता श्रेणी = 20 Hz ते 20 kHz, तरंगलांबी श्रेणी = 16.5 m ते 1.65 cm) 20 Hz खाली आणि 20 kHz वरील ध्वनी मानवी कानाद्वारे ऐकले जाऊ शकत नाहीत (संवेदना). अशा प्रकारे ध्वनीचे वर्गीकरण खालील प्रमाणे केले जाते .

20Hz पेक्षा कमी वारंवारता असलेल्या इन्फ्रासोनिक लहरी – ध्वनी मानवी कानाद्वारे ऐकले जाऊ शकत नाहीत

20 Hz ते 20 KHz दरम्यान वारंवारता असलेल्या ऐकू येण्याजोगा ध्वनी – सामान्य निरोगी माणसाद्वारे ऐकले जाऊ शकतो किंवा जाणवू शकतो उदा. संगीत

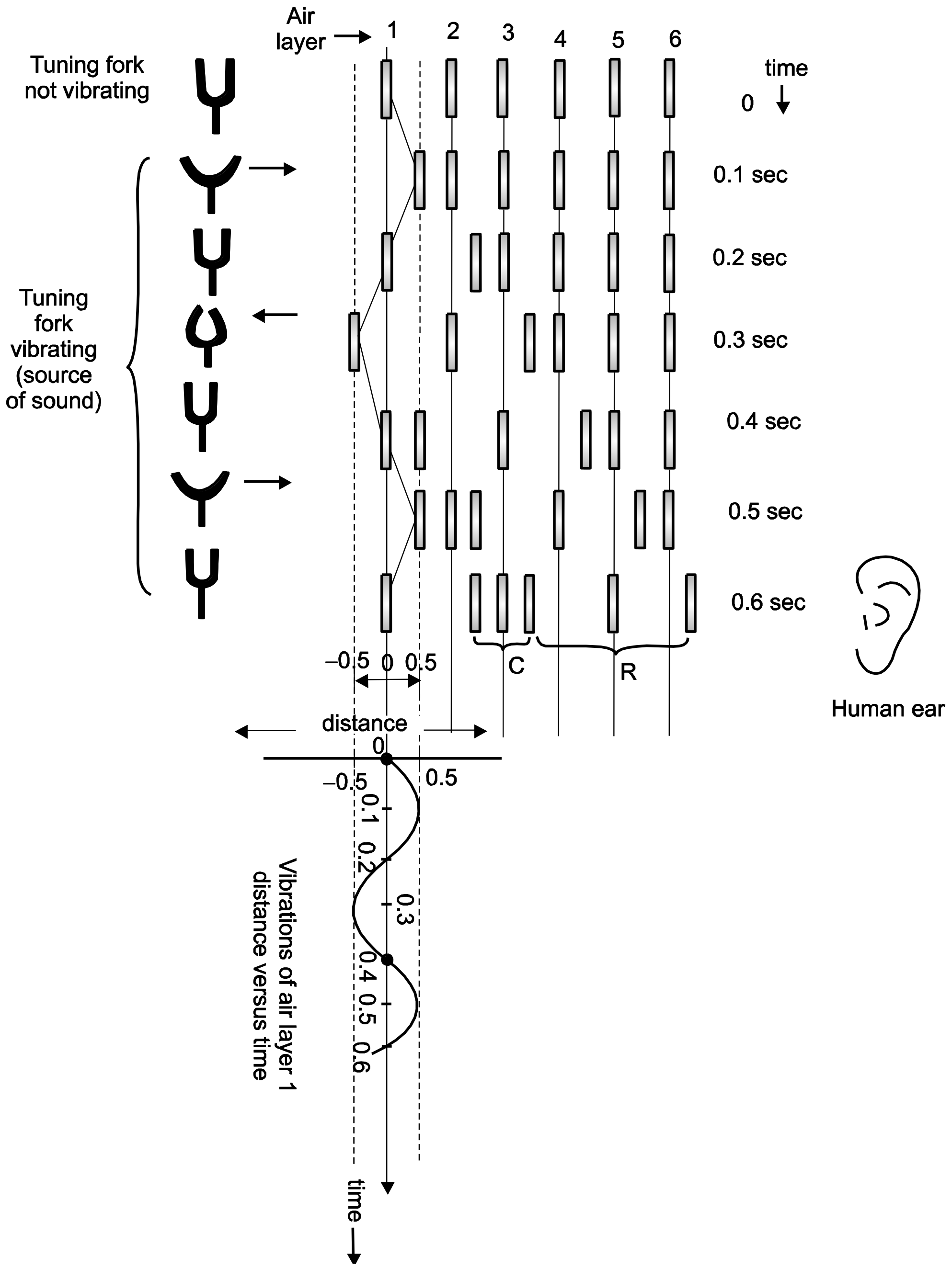
20 kHz वरील प्रचंड वारंवारता असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरी सामान्य मानवी कानाद्वारे ऐकले जाऊ शकत नाहीत. पण कुत्रा, वटवाघुळ हा आवाज ऐकू शकतात.

20 Hz ते 20 kHz (वृद्ध व्यक्तीच्या बाबतीत ही श्रेणी कमी होऊ शकते) .

2.1.2 ध्वनी लहरींची निर्मिती

लहरी गती हा अशांततेचा एक प्रकार आहे जो कणांच्या (मध्यमांच्या) मध्यवर्ती स्थितीबद्दल वारंवार होत असलेल्या नियतकालिक गतीमुळे माध्यमातून प्रवास करतो.

तरंग ऊर्जा एका स्थानावरून माध्यमाच्या दुसऱ्या स्थानावर हस्तांतरित केल्या जातात. माध्यमाचे कण एका स्थानावरून दुसऱ्या स्थानाकडे जात नाहीत फक्त ते S.H.M. करत आहेत.



आकृती 2.1

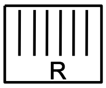
ट्यूनिंग फोर्क कंपन करत नसताना, हवा स्तंभ 1 ते 6 दर्शविल्याप्रमाणे समान अंतरावर असतात.

आता फोर्क ट्युनिंग करताना कंपन होत आहे: ट्यूनिंग फोर्कच्या उजव्या कोंबावर (वॉच) लक्ष केंद्रित करा आणि हवेच्या लेयर 1 वर.

ट्यूनिंग फोर्कचा उजवा शूज(prong) हवा स्तंभ 1 (लेयर 1) वर आणि पुढे ढकलतो आणि खेचतो. अशा प्रकारे हवेचा थर 1 कडे आणि पुढे (उजवीकडे आणि डावी दिशा) क्षैतिज दिशा आहे.

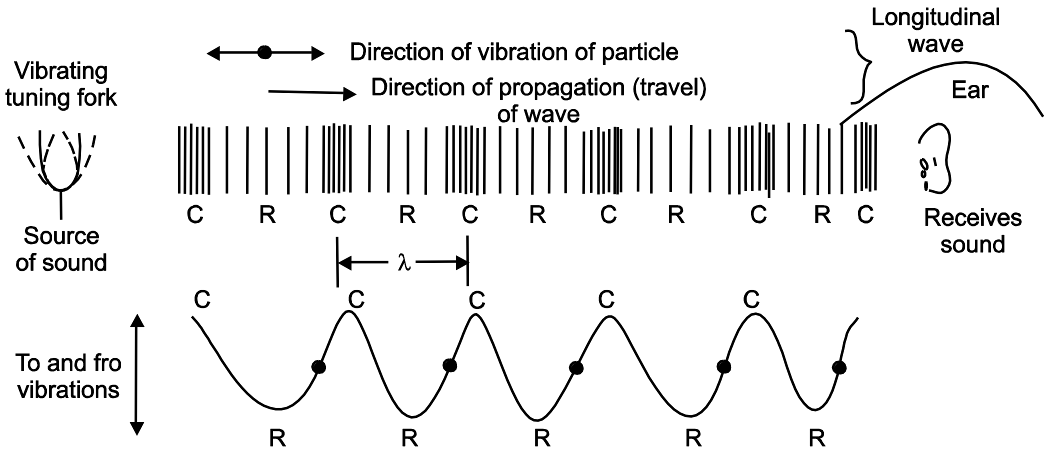
या बदल्यात आता लेयर 2, लेयर 3 .... आडव्या दिशेने कंपन करू लागतो म्हणजे एक कण त्याच्या पुढच्या कणावर आदळतो आणि तो कण पुढच्या कणाला आदळतो वगैरे.

अशा प्रकारे काही प्रदेशात हवेचे थर (स्तंभ एकमेकांच्या अगदी जवळ येतात ज्याला कॉम्प्रेशन(compression) म्हणतात. कॉम्प्रेशन हा भौतिक माध्यमाचा प्रदेश आहे जिथे भौतिक माध्यमाचे कण एकमेकांच्या जवळ (संक्षिप्त) असतात – तिचा दाब अधिक घनता असतो, अधिक असतो.



काही प्रदेशात हवेचे थर (स्तंभ) एकमेकांपासून दूर जातात ज्याला दुर्मिळता(Rarefaction) म्हणतात. दुर्मिळता हा भौतिक माध्यमाचा प्रदेश आहे जेथे भौतिक माध्यमाचे कण एकमेकांपासून दूर (दुर्मिळ) असतात – येथे दाब कमी असतो – घनता कमी असते.

अशा प्रकारे, तरंग वैकल्पिक 'कंप्रेशन C' 'रेरेफॅक्शन R' च्या रूपात प्रवास करतात (प्रसार करतात).



आकृती, 2.2 : ध्वनी लहरींचे ग्राफिकल प्रतिनिधित्व

सी – कॉम्प्रेशन – हवेचे कण जवळ आहेत – दाब जास्त आहे – घनता जास्त आहे

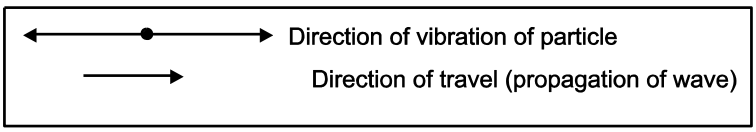
आर – दुर्मिळता – हवेचे कण वेगळे आहेत – दाब कमी आहे – घनता कमी आहे

⍰⍰ तरंगलांबी – 1 पूर्ण लहरीची लांबी

= 1 C + 1 R = दोन लागोपाठ कॉम्प्रेशनमधील अंतर किंवा दोन लागोपाठच्या दुर्मिळांमधील अंतर.

आकृती, 2.2 : ध्वनी लहरींचे ग्राफिकल प्रतिनिधित्व

या लहरीमध्ये भौतिक माध्यमाचे कण इकडे–तिकडे (उजवीकडे आणि डावीकडे) कंप पावत असतात आणि तरंग आडव्या दिशेने उजवीकडे फिरत असतात.



कण लाटा त्याच्या सरासरी अनुदैर्ध्य लहरी (मूळ) स्थितीत फिरतात.

• ज्या लहरीमध्ये कणांच्या कंपनाची दिशा लहरीच्या प्रवासाच्या (प्रसाराच्या) दिशेला समांतर असते, तिला अनुदैर्ध्य लहरी म्हणतात. यामुळे माध्यमात पर्यायी संकुचितता आणि दुर्मिळ दुफळी निर्माण होते.

• साहित्य माध्यमाला व्हॉल्यूमची लवचिकता आवश्यक आहे.

• मध्यम बदलांचे दाब आणि घनता. हे दुर्मिळ गटात कमाल कॉम्प्रेशन किमान आहे.

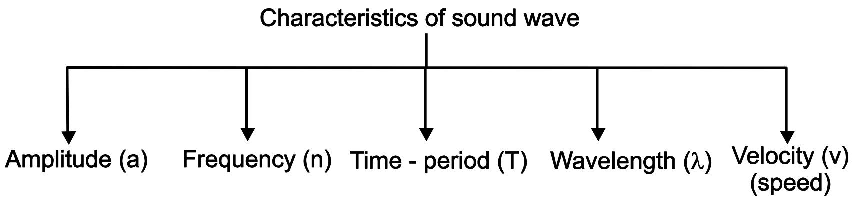
• तरंग हे वायू, द्रव आणि घन (उदा. हवा, पाणी, पोलाद) मधून प्रवास करतात

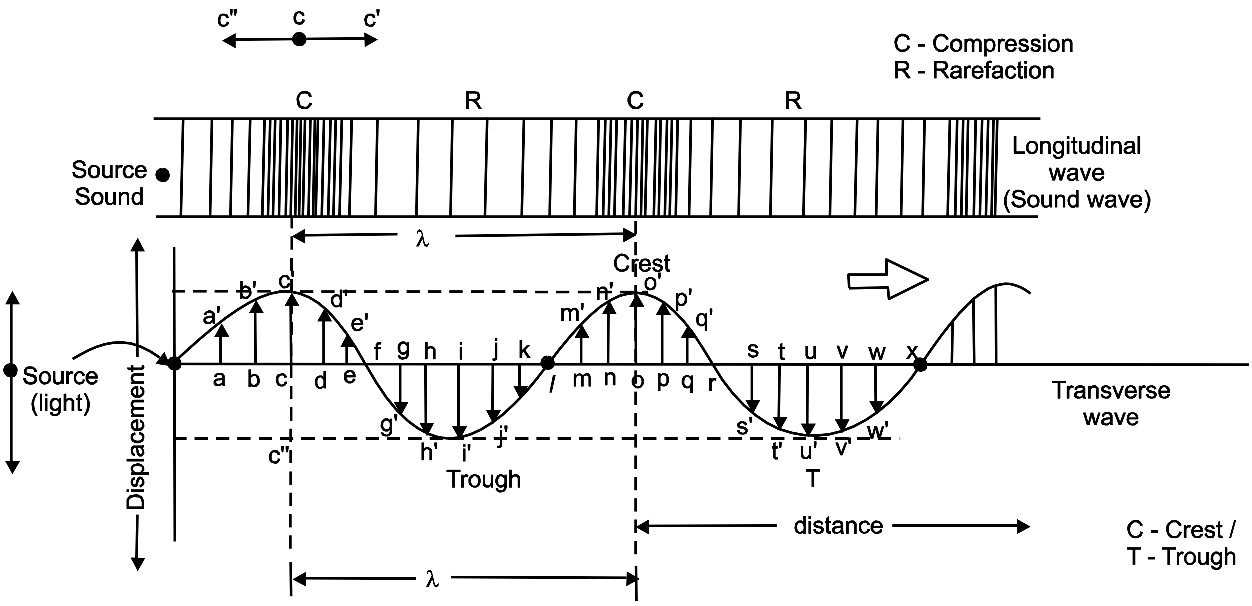
• भौतिक माध्यमाचा प्रत्येक कण समान मोठेपणा आणि कालावधीची साधी हार्मोनिक गती (S.H.M.) करतो.

• व्यत्यय एका बिंदूपासून दुसऱ्या बिंदूकडे सरकतो परंतु भौतिक माध्यमाचे कण भौतिक माध्यमाचे कण एका स्थानावरून दुसऱ्या स्थानावर जात नाहीत (म्हणजे फक्त उर्जा दिली जाते)

2.1.3 लहरीचे गुणधर्म किंवा लहरीची वैशिष्ट्ये: मोठेपणा, वारंवारता, कालावधी, तरंगलांबी आणि वेग.

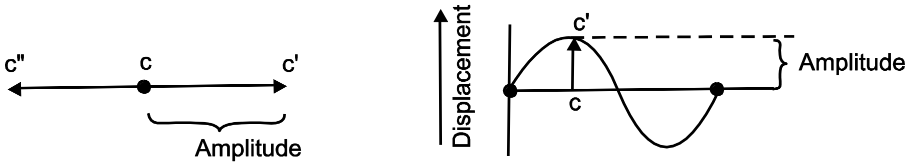
ध्वनी लहरीच्या पाच मुख्य वैशिष्ट्यांमध्ये मोठेपणा, वारंवारता, वेळ-कालावधी, तरंगलांबी आणि आवाजाचा वेग यांचा समावेश होतो.





आकृती 2.3

मोठेपणा(Amplitude) : लहरीमधील दोलायमान कणाचे त्याच्या मध्य (विश्रांती) स्थितीतून जास्तीत जास्त विस्थापन होते त्याला मोठेपणा म्हणतात. मोठेपणा(Amplitude) 'a' ने दर्शविला जातो.



आकृती 2.4

आकृतीमध्ये मोठेपणा(Amplitude) = cc', oo', ii'

आकृती 2.4

मोठेपणा मीटरमध्ये मोजले जाते.

एकक – मोठेपणाचे(Amplitude) एकक मीटर (मी) किंवा सेमी आहे.

वारंवारता(Frequency) (n) किंवा (f)

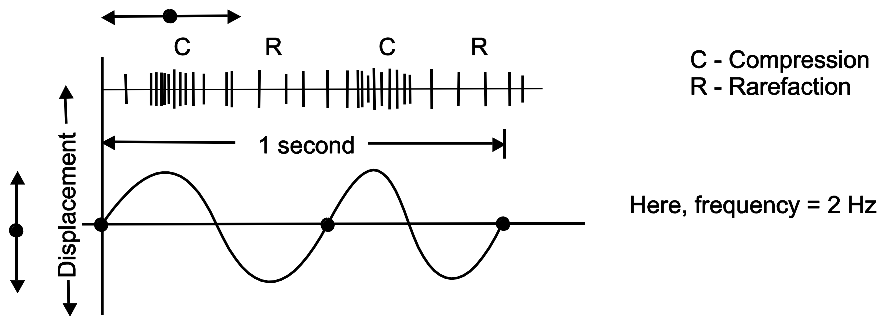
लहरीमधील कणाच्या दोलनांची संख्या. एका सेकंदात दोलनांच्या संख्येला (पूर्ण) वारंवारता 'n' म्हणतात.

1 एका सेकंदात एक निश्चित बिंदू पार करणाऱ्या लाटांची संख्या.

किंवा

एका सेकंदात पूर्ण झालेल्या लाटांची संख्या.

वारंवारता 'n' किंवा 'f' या चिन्हाने दर्शविली जाते.

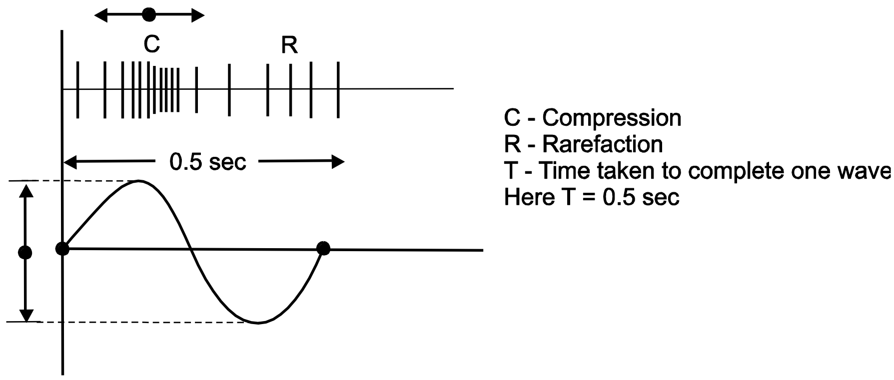


आकृती 2.5

वारंवारता (n) किंवा (f) चे एकक : हट्‌र्झ (Hz) किंवा सेकंद (प्रति सेकंद) आहे

कालावधी किंवा नियतकालिक वेळ (T):

तरंगातील एक दोलन पूर्ण करण्यासाठी कणाला जो वेळ लागतो त्याला कालावधी किंवा नियतकालिक वेळ म्हणतात. कालावधी किंवा नियतकालिक वेळ 'T' द्वारे दर्शविली जाते. नियतकालिक वेळेचे एकक दुसरा 'S' आहे.



आकृती 2.6

वारंवारता (f) किंवा (n) यांच्यातील संबंध

नियतकालिक वेळ (T)

- नियतकालिक वेळ आणि वारंवारता एकमेकांच्या परस्पर आहेत.

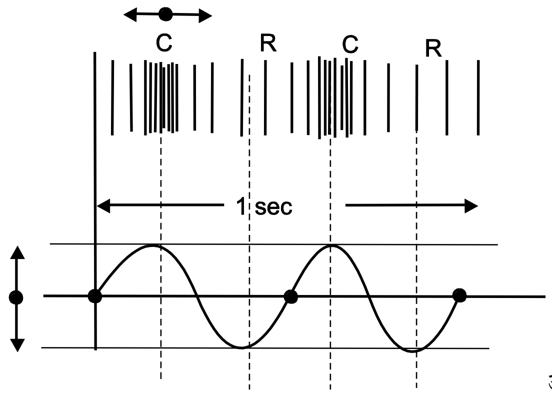
i.e. $T = \frac{1}{h}$ $T = \frac{1}{f}$

किंवा

$n = \frac{1}{T}$ $f = \frac{1}{T}$

म्हणजे T = 1/h , T = 1/f

किंवा n = 1/T , f = 1/T



आकृती 2.7

सी – कॉम्प्रेशन

आर – दुर्मिळता

येथे,

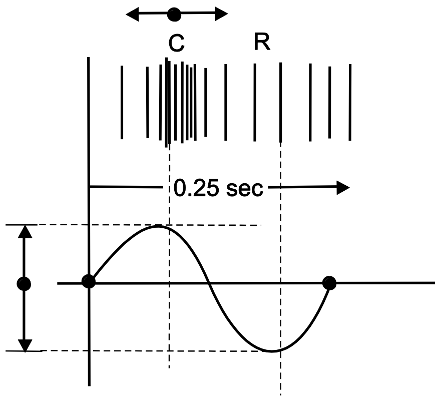
वारंवारता(n) = 2 Hz

(? दोन लाटा एका सेकंदात पूर्ण झाल्या)

नियतकालिक वेळ (T) = $\frac{1}{2}$ सेकंद 1 सेकंदात दोन लाटा.

? एका लाटेला $\frac{1}{2}$ सेकंद लागतात

म्हणजे T = 1/n



आकृती 2.8

चित्र 2.8 येथे,

नियतकालिक वेळ = 0.25 से

= 1/4 सेकंद म्हणजे एक लहर पूर्ण करण्यासाठी लागणारा वेळ,

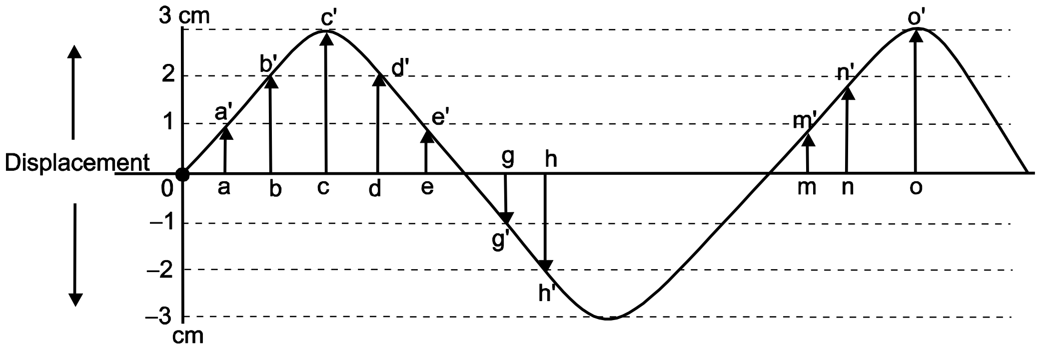
वारंवारता = 4 Hz

एका तरंगासाठी कारण वेळ 0.25 सेकंद आहे. म्हणून 1 सेकंदात ते 4 लहरी दोलन पूर्ण करेल) .

म्हणजे n = f/T

फेज : कोणत्याही क्षणी कणाचा टप्पा म्हणजे त्या क्षणी लहरीतील कणाच्या गतीची अवस्था (म्हणजे विस्थापन, दिशा आणि स्थिती) .

म्हणजे फेज म्हणजे लहरीतील कणाचे संपूर्ण वर्णन.



आकृती 2.9:

कोणत्याही क्षणी कल्पना करा फोटो काढला आणि कणांची स्थिती दर्शविल्याप्रमाणे असेल तर खालील तक्त्यामध्ये टप्प्याचे वर्णन केले आहे.

कण विस्थापन दिशा स्थितीचा टप्पा

* a – a’ 1 सेमी वरच्या दिशेने तरंग टोकाकडे जात आहे

** b - b’ 2 सेमी वरच्या दिशेने तरंग टोकाकडे जात आहे

d -d’ 2 cm वरच्या दिशेने पण लाट टोकाकडून येत आहे

e - e’ 1 सेमी वरच्या दिशेने पण लाट टोकाकडून येत आहे

g - g’ -1 सेमी अधोगामी लाट टोकाला जात आहे

* m -- m’ 1 सेमी वरच्या दिशेने तरंग टोकाकडे जात आहे

** n - n’ 2 सेमी ऊर्ध्वगामी असताना लाट अत्यंत टोकाकडे जात आहे

* G आणि m एकाच टप्प्यात आहेत – disp. 1 सेमी, वरच्या दिशेने, लाट टोकाकडे जात आहे.

** b आणि n एकाच टप्प्यात आहेत – disp. 2 सेमी, वरची लाट टोकाकडे जात आहे.

a आणि e टप्प्यात नाहीत (ते एकाच टप्प्यात दिसतात पण नाही) कारण विस्थापन समान 1 सेमी आहे, वरच्या दिशेने आहे परंतु तरंग टोकाकडे जात असताना स्थिती a’ गाठली जाते आणि लाट टोकाकडून येत असताना स्थिती e’ प्राप्त होते.

त्याचप्रमाणे b आणि d हे टप्प्यात नाहीत (जरी ते एकाच टप्प्यात दिसत असले तरी) कारण अत्यंत कडे जाताना b' स्थिती आणि d' स्थिती अत्यंत वरून येत असताना.

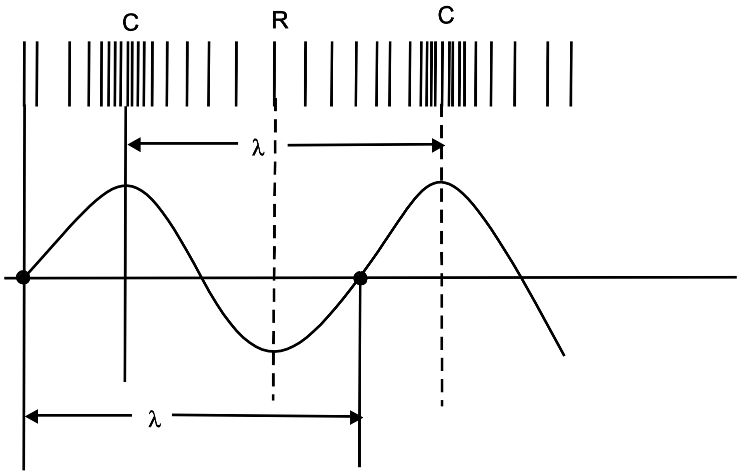
- **तरंगलांबी(wavelength) (λ)**

तरंगातील दोन सलग (क्रमिक) बिंदूमधील अंतर, जे एकाच टप्प्यात आहेत, त्यांना तरंगलांबी म्हणतात आणि λ (लॅम्बडा) चिन्हाने दर्शविली जाते.

किंवा

तरंगाच्या दोन सलग (क्रमिक) संकुचिततेमधील अंतराला तरंगलांबी (λ) म्हणतात.

तरंगलांबीचे एकक = मीटर (मी) किंवा सेमी.



आकृती 2.10

लहान तरंगलांबी म्हणजे 1 पूर्ण तरंग = 1 सी + 1 आर लांबी

- **ध्वनी लहरीचा वेग (वेग) (velocity)(v)** : एकक वेळेत ध्वनी लहरींनी व्यापलेले अंतर/ किंवा ध्वनी लहरींनी 1 सेकंदात व्यापलेले अंतर. v चे युनिट मीटर प्रति सेकंद (m/s)

हवेतील आवाजाचा वेग 330 मी/से आहे.

ध्वनीचा वेग हा माध्यमाच्या घनता आणि लवचिकतेवर अवलंबून असतो. घनामध्ये ते द्रवापेक्षा वेगवान असते आणि द्रवमध्ये ते हवेपेक्षा वेगवान असते.

ध्वनीचा वेग : घन > द्रव > वायू

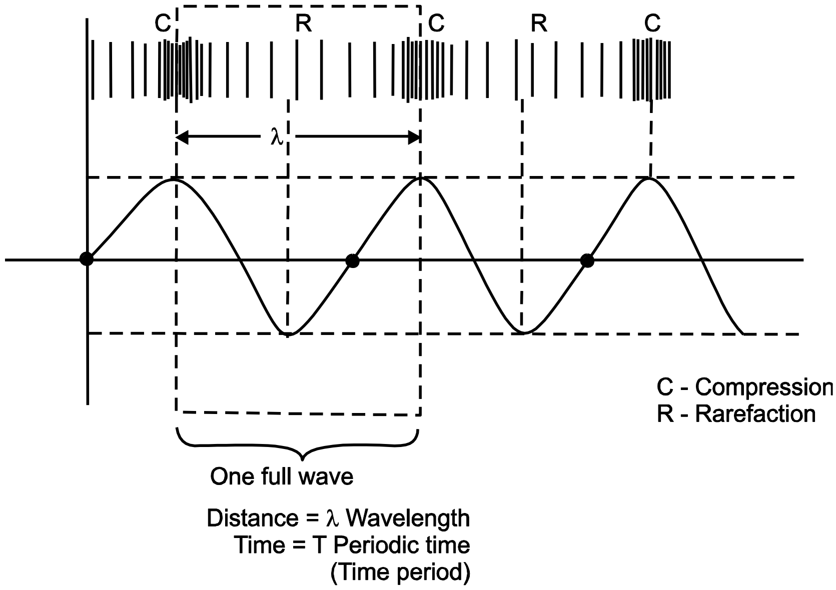
ध्वनीचा वेग अंदाजे

स्टीलमध्ये 6000 मी/से

पाण्यात 1500 मी/से

हवेत ३०० मी/से

वेग (V), वारंवारता (n), वेळ-कालावधी (T) आणि तरंगलांबी (λ) यांच्यातील संबंध



आकृती 2.11

आपल्याकडे

वेग = घेतलेले अंतर / वेव्हटाइम . . . (1)

1 पूर्ण लहरीनंतर, घेतलेले अंतर = λ (तरंगलांबी) प्रवास करतो आणि वेळ लागतो t = T नियतकालिक – वेळ

(कारण कालावधी (T) हा एक लहर पूर्ण करण्यासाठी लागणारा वेळ आहे)

वरील समीकरण (1) मध्ये अंतर = λ आणि t = T ठेवा .

आता समीकरण (1) बनते
वेग = (तरंगलांबी) / (वेळ कालावधी) = (तरंगलांबी) / (नियतकालिक वेळ)
$V = \lambda / T$ --- V, λ, T मधील संबंध
पण $1/T = n$
$V = n\lambda$ ... v, n, λ मधील संबंध
वेग, वारंवारता आणि तरंगलांबी यांच्यातील हा संबंध आहे
गती = वारंवारता Xतरंगलांबी
लांब तरंगलांबी असलेल्या या लाटा वेगाने प्रवास करतात
आवाजाचा वेग त्याच्या विशालतेवर(amplitude) अवलंबून नाही.

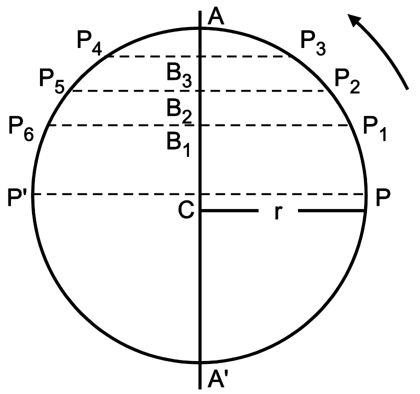
2.2.1 साधी हार्मोनिक गती (SIMPLE HARMONIC MOTION) (S.H.M)

सर्वसाधारणपणे, साध्या हार्मोनिक मोशन (S.H.M.) ची व्याख्या एखाद्या शरीराची नियतकालिक गती म्हणून केली जाते ज्यामध्ये बल (किंवा प्रवेग) नेहमी मध्य स्थितीकडे निर्देशित केले जाते आणि त्याची परिमाण मध्य स्थितीपासून त्याच्या विस्थापनाच्या प्रमाणात असते.

- S.H.M. त्याच्या मार्गानुसार (1) रेखीय किंवा (2) कोनीय असू शकते.
- उदा. साधा पेंडुलम : जर पेंडुलमचा बॉब विस्थापित झाला आणि सोडला गेला तर तो नियतकालिक गतीने जातो आणि प्रत्येक वेळी बॉब सरासरी स्थितीकडे जातो.
- रेखीय S.H.M. एका सरळ रेषेसह नियतकालिक गती म्हणून परिभाषित केले जाते ज्यामध्ये बल (किंवा प्रवेग) नेहमी मध्य स्थानाकडे निर्देशित केले जाते आणि त्याची परिमाण त्याच्या थीम स्थानापासून विस्थापनाच्या प्रमाणात असते. उदा. पेंडुलमची हालचाल : जर खूप लहान दोलन दिले असतील तर ते सरळ रेषेत आणि नियतकालिक असतात.
- जर मोठे दोलन दिले तर ते अँगुलाशन होते.
- शिलाई मशीनच्या सुईची हालचाल.

2.2.2 रेखीय S.H.M चे स्पष्टीकरण किंवा S.H.M. एकसमान वर्तुळाकार गतीचे प्रक्षेपण कोणत्याही एका व्यासावर .

-
-

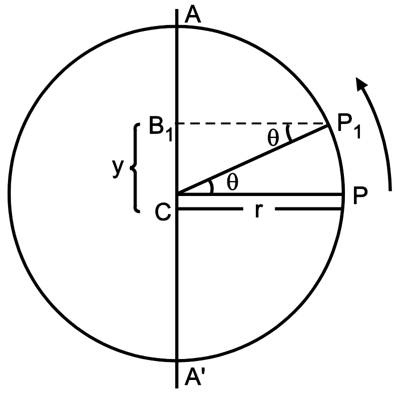


- आकृती 2.12
- बिंदू 'P' एका वर्तुळाच्या बाजूने घड्याळाच्या विरुद्ध दिशेने स्थिर गतीने फिरणारा विचार करा. गोलाकार मार्गाची त्रिज्या 'r' असू द्या आणि 'C' केंद्र असू द्या.
- AA' व्यासावर P वरून लंब काढा. ते C ला भेटते. नंतर C ला व्यासावरील P चे प्रक्षेपण असे म्हणतात. त्याचप्रमाणे B1, B2, B3 हे P1, P2, P3 या स्थानावरील कणांचे अनुमान आहेत.
- अशा प्रकारे, जेव्हा कण P वरून A कडे जातो तेव्हा त्याचे प्रक्षेपण C वरून A कडे जाते. अशा प्रकारे जेव्हा कण वर्तुळात एक परिभ्रमण पूर्ण करतो तेव्हा त्याचे प्रक्षेपण एका सरळ रेषेत (व्यास) एक दोलन पूर्ण करेल. म्हणजेच कण वर्तुळाकार हालचाल करत आहे आणि त्याचे प्रक्षेपण सरळ रेषेत (S.H.M.) वर आणि खाली गती करत आहे.
- जेव्हा कण A वरून – प्रक्षेपण करतो तेव्हा लहरी A ते C कडे जाते. जेव्हा कण P’ वरून A’ कडे जातो. त्याचे प्रक्षेपण C वरून A' कडे सरकते आणि जेव्हा कण A मधून P कडे परत येतो तेव्हा प्रक्षेपण (हालचाली) A' वरून C कडे परत येते.

- येथे परिघाच्या बाजूने कणाने व्यापलेले अंतर वेळेच्या समान अंतराने समान आहे, परंतु प्रक्षेपणाद्वारे व्यापलेले अंतर C ते A पर्यंत कमी होत आहे, म्हणजे वेग कमी होत आहे, म्हणून प्रवेग ऋण आहे.
- याउलट, कण जेव्हा A ते P' कडे समान अंतर कव्हर करतो तेव्हा त्याच्या प्रक्षेपणाद्वारे व्यापलेले अंतर A ते C पर्यंत वाढते म्हणजेच त्याचा वेग वाढतो म्हणजेच प्रवेग सकारात्मक असतो.
- जेव्हा प्रक्षेपण केंद्रापासून दूर जाते - त्याचा वेग आणि प्रवेग कमी होतो आणि जेव्हा प्रक्षेपण केंद्राकडे सरकते - तेव्हा त्याचा वेग आणि प्रवेग वाढते.
- अशा प्रकारे, कणाचे प्रक्षेपण वर आणि खाली सरकते आणि नेहमी केंद्र 'C' (मध्य स्थिती) कडे सरकते, म्हणजेच रेखीय S.H.M. करते.
- वर दर्शविलेल्या वर्तुळाला संदर्भ वर्तुळ म्हणतात. C ही मध्यवर्ती स्थिती आहे. प्रोजेक्शनचे जास्तीत जास्त संभाव्य विस्थापन (म्हणजे CA) याला मोठेपणा (amplitude) 'a' म्हणतात आणि ते त्रिज्या (radius) 'r' च्या समान आहे.
- अशा प्रकारे S.H.M. वर्तुळाच्या व्यासावर एकसमान वर्तुळाकार गतीचे प्रक्षेपण म्हणून देखील परिभाषित केले जाऊ शकते.
- **रेखीय S.H.M ची वैशिष्ट्ये** : गती एका सरळ रेषेने नियतकालिक असते. बल (force) (किंवा प्रवेग) मध्य स्थानाकडे निर्देशित केले जाते. बल (force) (किंवा प्रवेग) हे सरासरी स्थितीपासून त्याच्या विस्थापनाच्या थेट प्रमाणात असते. कणाचा वेग मध्यभागी जास्तीत जास्त असतो. आणि अत्यं स्थानावर किमान असतो.

2.2.3 S.H.M चे समीकरण किंवा S.H.M मध्ये विस्थापन-S.H.M. निष्पादित कणांच्या विस्थापनाची व्युत्पत्ती-

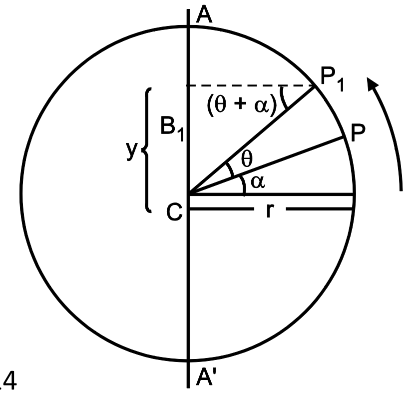
- **(I) S.H.M चे समीकरण मध्यम स्थितीतून**



- आकृती 2.13
- आम्ही S.H.M चा विचार करतो. वर्तुळाच्या व्यासावर घेतलेल्या एकसमान वर्तुळाकार हालचाली करणाऱ्या कणाच्या हालचालीचा प्रक्षेपण म्हणून.
- घड्याळाच्या विरुद्ध दिशेने एकसमान वर्तुळाकार हालचाल करणारा कण P विचारात घ्या. •
- चला
- ω - वर्तुळाकार गतीमधील कणाचा कोनीय वेग , r - वर्तुळाकार मार्गाची त्रिज्या ज्याला त्रिज्या वेक्टरसी म्हणतात, C - वर्तुळाकार मार्गाचा केंद्र सी . C व्यास AA' CB1 वर 'P' चे प्रक्षेपण - AA'CB1 = y = व्यासांवर 'P' चे प्रक्षेपण प्रक्षेपणाचे विस्थापन = S.H.M मधील कणांचे विस्थापन.
- -कण सुरुवातीला P स्थितीत असतो आणि C हा त्याचा प्रक्षेपण असतो.•कण P वरून P1 कडे 't' सेकंदात सरकतो. त्याचे प्रक्षेपण C ते B1 पर्यंत हलते (विस्थापित होते) म्हणजेच CB1 = y हे प्रक्षेपणाचे विस्थापन 't' सेकंदात आहे.
- 'θ' हे 't' सेकंदात कणाचे कोनीय विस्थापन आहे (कोणीय विस्थापन हा कोन आहे ज्याद्वारे त्रिज्या वेक्टर वळतो).

- Δ CP1B1 मध्ये, $\sin\theta = \frac{CB_1}{CP_1}$
- $\sin\theta = \frac{y}{r}$ ∴ $y = r\sin\theta$ but $\theta = \omega t$
- ∴ $\boxed{y = r \sin wt}$ --- हे S.H.M चे समीकरण आहे.
- r हे S.H.M मधील कणाचे जास्तीत जास्त संभाव्य विस्थापन आहे. आणि त्याला मोठेपणा (amplitude) 'a' असे म्हणतात.
- r = a ठेवा.
- $\boxed{y = a \sin wt}$

- **(II)सामान्य केस :**



- आकृती 2.14
- आधीच्या प्रकरणात, आम्ही असे गृहीत धरले की एक कण क्षैतिज बाजूने 'P' स्थितीपासून सुरू होतो. परंतु सर्वसाधारणपणे, कण कोणत्याही स्थितीपासून सुरू होऊ शकतो. एक कण सुरुवातीला P स्थानावर आहे आणि त्रिज्या आकृती 2.14 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे क्षैतिज सह α कोन बनवते. कण P वरून P1 पर्यंत वेळेत 't' सेकंदात हलतो. त्याचे प्रक्षेपण B1 स्थानावर आहे. CB1 = y हे सरासरी स्थितीतून प्रक्षेपणाचे विस्थापन आहे.
- ΔCP1B1 मध्ये, $\sin\theta = CB_1 / CP_1$
- $\sin\theta = \frac{y}{r}$
- ∴ $y = r\sin\theta$ but $\theta = \omega t$
- $= r\sin(\theta + \alpha)$ परंतु $\theta = \omega t$
- $\boxed{y = r \sin (wt + a)}$ तसेच आपण r = a = मोठेपणा (amplitude) घालू शकतो
- $\boxed{y = a \sin (wt + a)}$ हे S.H.M चे सामान्यतः समीकरण आहे.
- जिथे, α हा प्रारंभिक टप्पा कोन आहे, ज्याला epoch देखील म्हणतात. (टीप : हा प्रारंभिक टप्पा कोन α (अल्फा) किंवा
- ϕ (phi) ने दर्शविला जाऊ शकतो) अशा प्रकारे वरील समीकरण असे लिहिले जाऊ शकते –
- $Y = a\sin(\omega t + \alpha)$
- किंवा
- $Y = a\sin(\omega t + \phi)$

- **(III) जर कण अत्यं स्थितीपासून सुरू झाला, तर α = 90°.**
-
- $\therefore$ y=r sin (ωt + 90°)
- y=r cos ωt
- किंवा
- y=a cos ωt
- हे S.H.M. मधील कणाच्या विस्थापनाचे समीकरण आहे, जर कण सुरुवातीला अत्यं स्थितीत असे

- **2.2.4** साध्या हार्मोनिक मोशनचा टप्पा

S.H.M मधील कणाचा टप्पा. S.H.M. करत असलेल्या कणाचे संपूर्ण वर्णन (तपशील) आहे. – जसे –

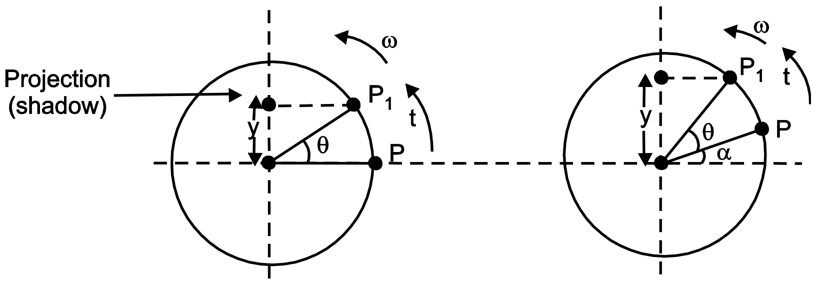
•कणाचे क्षुद्र स्थानावरून विस्थापन.
•कणाचे मध्य स्थानापासूनचे अंतर.
•कणाची स्थिती (वेग) – दिशा:
•कण टोकाकडे जात आहे की टोकाकडून येत आहे.
•सकारात्मक टोकाकडे किंवा नकारात्मक टोकाकडे.
• S.H.M मधील कणाची दोलन संख्या. कण 1 ला दोलन करत आहे
किंवा 2रा दोलन करत आहे
किंवा .... n वा दोलन. साध्या हार्मोनिक मोशनचे समीकरण (S.H.M.) आहे.

Y = a sin (wt + a) or y = a sin (q + a)

किंवा

Y = a sin (wt + f) or y - a sin (q + f)

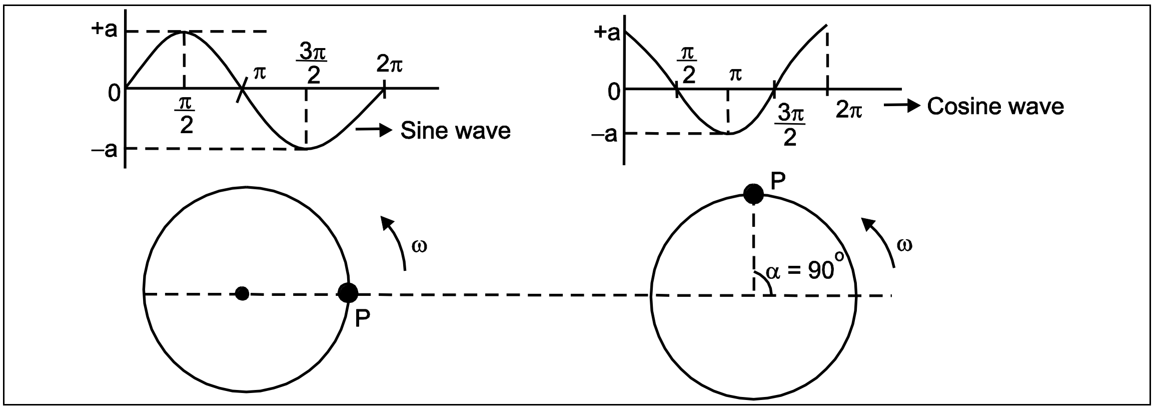
S.H.M च्या टप्प्याचे चित्रण :



आकृती 2.15

P ही क्षैतिज रेषा आहे कण P वरून P1 कडे सरकतो
y = a sinθ
परंतु θ = ωt
= a sin (ωt)

(b) प्रारंभिक कण P क्षैतिज सह कोन • बनवतोआता P कोनाने P वरून P1 कडे सरकतो θ
y = a sin (θ + α)
परंतु θ = wt
$\therefore$ y = a sin (ωt + α)



आकृती 2.16

कण 'p' मध्य स्थानापासून सुरू होतो (जे क्षैतिज रेषेवर आहे

$y = a \sin(\theta + 0)$

$y = a \sin(\omega t)$

कण 'P' अत्यंत स्थानापासून सुरू होतो, म्हणजे प्रारंभिक कोन α= 90 degree क्षैतिज सह

$$y = a \sin\left(q + \frac{p}{2}\right)$$

$$= a \cos\theta$$

$$= a \cos(\omega t)$$

2.3 अनुनाद (Resonance)

2.3.1 मुक्त आणि सक्तीचे दोलन (कंपन) (Free and Forced oscillations)

मुक्त दोलन(Free oscillations) (कंपने) :

साध्या पेंडुलम किंवा क्रिकेटर्स हँगिंग बॉलचा विचार करा : जर तो मध्यम स्थितीपासून विस्थापित (विस्कळीत) झाला आणि सोडला गेला, तर तो निश्चित कालावधी आणि वारंवारतेने दोलायमान होईल. विस्थापन बदलले तरीही हा कालावधी किंवा वारंवारता बदलणार नाही. अशा परिस्थितीत, आपण असे म्हणू शकतो की पेंडुलम (किंवा चेंडू) मुक्त कंपन करत आहे.

एखादे शरीर, जर त्याच्या विश्रांतीच्या स्थितीपासून विचलित झाले आणि स्वतःहून मुक्तपणे कंपन करू दिले तर ते "नैसर्गिक वारंवारता" नावाच्या वारंवारतेने कंपन करते आणि दोलनांना मुक्त किंवा नैसर्गिक दोलन म्हणतात.

किंवा

जेव्हा एखादी वस्तू स्वतःहून मुक्तपणे दोलन केली जाते, तेव्हा अशा दोलनांना मुक्त दोलन म्हणतात.

(जर दोलनांचे मोठेपणा कालांतराने सतत कमी होत गेले, तर दोलनांना "डॅम्पड ऑसिलेशन" म्हणतात.)

प्रत्येक शरीर, लहान किंवा मोठे, कंपनाची स्वतःची नैसर्गिक वारंवारता असते. एखादे यंत्र, इमारत, धरण किंवा पूल यांची कंपनाची स्वतःची नैसर्गिक वारंवारता असते.

मुक्त कंपने किंवा नैसर्गिक कंपने : शरीरात निर्माण होणाऱ्या कंपने, त्याच्या मध्यम स्थितीपासून किंचित विस्कळीत झाल्यावर त्यांना मुक्त कंपने किंवा नैसर्गिक कंपने (दोलन) म्हणतात.

नैसर्गिक कालावधी (Tn): नैसर्गिक कंपने चालविणाऱ्या शरीराच्या नियतकालिक कालावधीला नैसर्गिक कालावधी म्हणतात.

किंवा

नैसर्गिक कंपने चालवणाऱ्या शरीराच्या एका दोलनासाठी लागणाऱ्या वेळेला नैसर्गिक कालावधी (किंवा नियतकालिक वेळ) म्हणतात.

नैसर्गिक वारंवारता (nn) : मुक्तपणे कंपन करणाऱ्या शरीराद्वारे एका सेकंदात होणाऱ्या दोलनांच्या (कंपनांच्या) संख्येला नैसर्गिक वारंवारता म्हणतात.

कंपनांची उदाहरणे:

1. विस्थापित आणि सोडल्यास मुक्तपणे निलंबित क्रिकेटरचा लटकलेला चेंडू.
2. एक मुक्तपणे निलंबित पेंडुलम त्याच्या मध्यवर्ती स्थितीबद्दल oscillating.
3. रबर पॅडवर अडकलेला ट्यूनिंग काटा.
4. एक धातूचा ब्लेड एका टोकाला चिकटलेला आणि त्रासदायक आहे.
5. वाद्य यंत्राची तार (गिटार) तोडली जात आहे.

सक्ती दोलन (कंपन) Forced oscillations):

क्रिकेटरच्या हँगिंग बॉलचा विचार करा: जर तो त्याच्या क्षुद्र स्थानावरून विस्थापित झाला आणि सोडला गेला तर तो नैसर्गिक दोलन करतो. आता जर क्रिकेटपटू (हिट) विशिष्ट लयीत बॅटचा स्ट्रोक लावत असेल तर चेंडू काही नवीन वारंवारता आणि कालावधीसह दोलायमान होऊ शकतो. या प्रकरणात, जर चेंडूच्या दोलनांची नैसर्गिक वारंवारता क्रिकेटरच्या हिटिंग आणि लयच्या सक्तीच्या वारंवारतेच्या बरोबरीची असेल तर बॉल मोठ्या आयामसह दोलन करेल.

नैसर्गिक दोलन करणाऱ्या एका साध्या पेंडुलमचा विचार करा, आता जर पेंडुलमचा आधार विशिष्ट वारंवारतेने कंपन करत असेल, तर पेंडुलम काही नवीन वारंवारता आणि कालावधीसह दोलन सुरू करतो, ही दोलन सक्ती दोलन (कंपने) असतात.

सक्तीची कंपने : बाह्य नियतकालिक बलाच्या प्रभावाखाली जी कंपनं होतात त्यांना सक्तीची कंपनं म्हणतात.

किंवा

बाह्य नियतकालिक बलामुळे जेव्हा शरीर नैसर्गिक वारंवारतेव्यतिरिक्त काही नवीन वारंवारतेसह दोलन करते, तेव्हा त्या दोलनांना सक्तीचे दोलन म्हणतात.

फ्रिक्वेन्सी (**Forced frequency**) (nf): सक्तीने दोलन करत असलेल्या शरीराने एका सेकंदात केलेल्या दोलनांची (कंपनांची) संख्या.

सक्तीच्या दोलनांची नियतकालिक वेळ (Tf) : सक्तीने दोलन करणाऱ्या शरीरासाठी एक दोलन पूर्ण करण्यासाठी लागणारा वेळ.

सक्तीच्या कंपनांचे गुणधर्म:

- जबरदस्तीने दोलन करत असलेले शरीर नवीन वारंवारता आणि कालावधीसह कंपन करते.
- जर नैसर्गिक वारंवारता आणि सक्तीची वारंवारता भिन्न असेल तर शरीर लहान मोठेपणासह दोलन करते.
- जर कंपनाची नैसर्गिक वारंवारता आणि सक्तीची वारंवारता समान असेल तर शरीर मोठ्या मोठेपणासह (म्हणजे अनुनाद) दोलन करते.

सक्तीच्या कंपनांची उदाहरणे (दोलन) :

1. क्रिकेटरचा लटकलेला चेंडू, ठराविक नियतकालिक लयीत क्रिकेटपटूने मारलेला चेंडू.
2. दोलन करणारे साधे पेंडुलम स्वतःच विशिष्ट वारंवारतेने कंपन करतात.
3. ट्यूबच्या उघड्या टोकाला कंपन करणारा ट्यूनिंग काटा हवा स्तंभाला नवीन वारंवारतेने कंपन करतो.
4. ग्रामोफोन प्लेअरची सुई सक्तीच्या कंपनांसह हलते.

2.3.2 रीझोनन्स ही ध्वनीशी संबंधित एक घटना आहे)

व्याख्या : जर शरीरावर नियतकालिक बल लागू केले असेल आणि सक्तीची वारंवारता (nf) शरीराच्या नैसर्गिक वारंवारता (nn) सारखी असेल, तर शरीर मोठ्या प्रमाणात कंपन करते. या घटनेला "रेझोनन्स" म्हणतात.

म्हणून "अनुनाद" ही एक घटना आहे ज्यामध्ये शरीराच्या नैसर्गिक वारंवारता (nn) च्या बरोबरीच्या सक्तीच्या वारंवारतेच्या (nf) प्रभावामुळे शरीर मोठ्या प्रमाणात कंपन करते.

रचना

अशाप्रकारे ही एक वाढीव मोठेपणाची(increased amplitude) घटना आहे जी जेव्हा सक्तीची वारंवारता (nf) कंपन करणाऱ्या शरीराच्या नैसर्गिक वारंवारता (nn) सारखी असते तेव्हा उद्भवते.

आपल्याला माहित आहे की n = 1/T

जर वारंवारता (n) समान असेल तर नियतकालिक वेळ (T) समान असेल.

म्हणून, अनुनाद हे शरीराच्या मोठेपणामध्ये वाढ म्हणून देखील परिभाषित केले जाऊ शकते जेव्हा लागू केलेल्या बलाची नियतकालिक वेळ (ff) नैसर्गिक कंपनांच्या नियतकालिक वेळेच्या (Tn) बरोबर असते.

Tf = Tn असल्यास अनुनाद होतो

ध्वनीची तीव्रता त्याच्या विशालतेच्या वर्गाशी थेट प्रमाणात असते

$I \alpha A^2$

अशा प्रकारे जेव्हा अनुनाद होतो तेव्हा मोठा आवाज s-उत्पन्न होतो.

2.3.3 अनुनाद चे अनुप्रयोग (उदाहरणे) .

1. ध्वनीचा वेग निश्चित करण्यासाठी अनुनाद प्रयोग : ज्ञात व्यास 'D' ची धातूची नळी पाण्यात बुडवली जाते आणि सर्वात खाली ठेवली जाते. ज्ञात वारंवारता 'n' चा ट्युनिंग काटा कंपन करण्यासाठी बनविला जातो आणि ट्यूबच्या तोंडाशी धरला जातो. आता धातूची नळी हळू हळू वर सरकवली जाते आणि हवेच्या स्तंभाच्या अनुनादामुळे एका स्थानावर मोठा आवाज ऐकू येतो. येथे स्पंदनशील वायु स्तंभ 'l' ची लांबी नोंदविली जाते.

आता फॉर्म्युला वापरत आहे

V = 4n (l + 0.3 D)

आवाजाचा वेग निश्चित करता येतो.

2. ट्यूनिंग फोर्कची अज्ञात वारंवारता निश्चित करण्यासाठी: वरील प्रमाणेच ट्यूनिंग फोर्कची अज्ञात वारंवारता शोधण्यासाठी वापरली जाऊ शकते.

म्हणजे अज्ञात ट्युनिंग फोर्कसाठी रेझोनेटिंग लांबी निर्धारित केली जाते आणि अज्ञात वारंवारता 'n' समान सूत्र वापरून निर्धारित केली जाऊ शकते

n = V/4 (l + 0.3 D)

येथे ध्वनीचा वेग ३३० मी/से ओळखला जातो

किंवा

सोनोमीटर वायरचा प्रयोग:

प्रति युनिट लांबीच्या ज्ञात वस्तुमानाची सोनोमीटर वायर, अज्ञात फ्रिक्वेन्सी ट्युनिंग फोर्क आणि रेझोनेटिंग लांबी वापरून कंपन करण्यासाठी केलेल्या ज्ञात ताणाखाली निर्धारित केले जाते.

सूत्र वापरणे

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

अज्ञात वारंवारता 'n' निर्धारित केली जाऊ शकते.
3. रेडिओ रिसीव्हर किंवा टीव्ही रिसीव्हरचे ट्युनिंग : जेव्हा त्रिज्याचे नॉब फिरवले जाते तेव्हा त्याची नैसर्गिक वारंवारता बदलते. जेव्हा आपण रेडिओ रिसीव्हर सेट ट्यून करतो तेव्हा रेडिओ रिसीव्हरची वारंवारता ट्रान्समिटिंग स्टेशनच्या प्रसारित लहरींच्या वारंवारतेच्या बरोबरीची असते, तेव्हा आपल्याला स्पष्ट आणि मोठा आवाज येतो.
टीव्ही रिसीव्हरचेही असेच आहे.
(उदा. रेडिओ सिटी एफएम 91.1 मेगाहर्ट्झ ही प्रसारणाच्या ट्रान्समिटिंग स्टेशनची वारंवारता आहे आणि जर रेडिओ रिसीव्हर सेटची वारंवारता 91.1 मेगाहर्ट्झच्या बरोबरीची असेल तर आपल्याला स्पष्ट आणि मोठा आवाज येतो).
4. कमकुवत ध्वनीचा जोरदार प्रतिसाद मिळवण्यासाठी: 'ध्वनीशास्त्र' (उदा. सभागृहाच्या डिझाइनमध्ये) अनुनादाची घटना महत्त्वाची आहे, जिथे दुर्बल ध्वनीचा जोरदार प्रतिसाद मिळणे उपयुक्त ठरते.
5. चुंबकीय अनुनाद प्रतिमा किंवा इमेजिंग (M.R.I.): M.R.I. वैद्यकीय क्षेत्रात निदानासाठी वापरले जाते. एमआरआय हा एमएनआर म्हणजेच न्यूक्लियर मॅग्नेटिक रेझोनान्सचा वैद्यकीय अनुप्रयोग आहे. M.R.I प्रक्रियेत, तीव्र त्रिज्या लहरी वारंवारता विकिरण शरीराच्या विशिष्ट भागावर पडू देतात ज्यामुळे अणूंचे केंद्रक दोलन होते. जेव्हा अनुनाद होतो तेव्हा शरीराच्या एखाद्या भागाच्या अणू/रेणूंद्वारे ऊर्जा शोषली जाते. ऊर्जा शोषण पद्धतीचा संगणकीकृत फोटो रेडिएटेड भागाचा सूक्ष्म तपशील देतो. त्यामुळे निदान सोपे झाले आहे. म्हणजे थोडक्यात N.R.1 हा एक प्रकारचा स्कॅन आहे जो मजबूत चुंबकीय क्षेत्र आणि रेडिओ लहरी वापरतो ज्यामुळे शरीराच्या आतील तपशीलवार प्रतिमा मिळते. उदा. N.R.I चा वापर डोके दुखापत पाहण्यासाठी केला जातो. एनआरआय स्कॅन शरीराच्या आतील हाडे, अस्थिबंधन, अवयव, स्नायू ... इत्यादी दर्शवू शकतो.
6. वाद्यात वापरा: सारंग, गिटार, वीणा, बासरी यांसारखी वाद्ये ठराविक नोट्सची ध्वनी तीव्रता वाढवण्यासाठी रेझोनान्स इंद्रियगोचर वापरतात.
दोन तंतोतंत ट्यून केलेले 'तानपुरे' शेजारी ठेवल्यास आणि एका तानपुराची वायर उपटली, तर इतर तानपुराची तार सुद्धा प्रत्यक्षात तोडली नसली तरी कंपन होऊ लागते.
7. संरचनात्मक अभियांत्रिकीमध्ये अनुनाद अभ्यासाचा वापर : संरचनांची रचना करण्यासाठी अनुनादाचा अभ्यास करणे आवश्यक आहे जेणेकरून ते भूकंपासारख्या चुकीच्या आकारांना (अपघात) सहन करू शकेल. जेव्हा जमिनीच्या कंपनांची सक्तीची वारंवारता इमारतीच्या कंपनांच्या नैसर्गिक वारंवारतेच्या बरोबरीची होते, तेव्हा इमारत कोसळण्याच्या बाजूला अनुनाद होतो.
8. A.C. oscillator सर्किटची वारंवारता स्थिर करण्यासाठी : खास असेम्बल केलेले रेझोनंट सर्किट फ्रिक्वेन्सी फिल्टरसारखे कार्य करते, त्यामुळे काही फ्रिक्वेन्सीला परवानगी आहे. म्हणून ते A.C. ऑसिलेटर सर्किटची वारंवारता स्थिर करण्यासाठी वापरले जाते.
9. स्वयंपाकासाठी मायक्रोवेव्ह ओव्हनचा वापर : जर मायक्रोवेव्ह ओव्हनची सक्तीची वारंवारता पाण्याच्या रेणूच्या (अन्नाच्या आत) कंपनाच्या नैसर्गिक वारंवारतेइतकी झाली, तर पाण्याचे रेणू मोठ्या प्रमाणात कंपन करतात आणि पाण्याच्या रेणूंमधील घर्षणामुळे उष्णता निर्माण होते ज्यामुळे अन्न शिजवले जाते.
10. भूकंपाशी संबंधित घटनांचा अभ्यास : भूकंपामुळे इन्फ्रासोनिक लहरी निर्माण होतात (शॉक होण्यापूर्वी) काही प्राणी हा आवाज ऐकू शकतात आणि त्यांना त्रास होतो.
तीव्र भूकंपाच्या आधी ठराविक वारंवारतेच्या काही ठराविक नाडी असतात ज्या संवेदना केल्या जातात आणि चुकीचा अंदाज थोडा आधी लावता येतो. हा अभ्यास भूकंपशास्त्र म्हणून ओळखला जातो.

11. पूल कोसळणे टाळणे : पूल ओलांडताना सैनिकांना (लष्करी) नियमित पायऱ्यांनी कूच करण्याची परवानगी नाही कारण त्यांच्या नियमित (डाव्या-उजव्या, डावी-उजव्या) पायऱ्यांची वारंवार सक्ती केल्याने त्यांच्यामध्ये अनुनाद होण्याची शक्यता असते. आणि पुलाच्या कंपनाची नैसर्गिक वारंवारता, वधूमध्ये मोठे मोठे कंपन विकसित होऊ शकते आणि ते कोसळू शकते. त्याचप्रमाणे पुलावरील कोणत्याही अवजड यंत्रांचे ऑपरेशन टाळता येऊ शकते.

12. स्विंगवर असलेले मूल : पुशची वेळ समायोजित करून, म्हणजे स्विंगच्या नैसर्गिक वारंवारतेच्या बरोबरीने स्विंगला ढकलून, स्विंगवरील मुलाच्या दोलनाचे मोठेपणा त्याचप्रमाणे वाढवता येते.
हँगिंग क्रिकेट बॉलच्या दोलनांची नैसर्गिक वारंवारता क्रिकेटपटूच्या (बॅट मारण्याची सक्तीची वारंवारता (ताल)) सारखी झाल्यास (म्हणजेच पुश बॉल मोठ्या आकारमानासह (म्हणजे अधिक स्विंग)

2.4 प्रागैतिहासिक काळातील अनुनाद संकल्पना, शरीरातील भिन्न चक्रे (IKS) प्रज्वलित करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या वेगवेगळया वारंवारतेची संकल्पना (मंत्र)

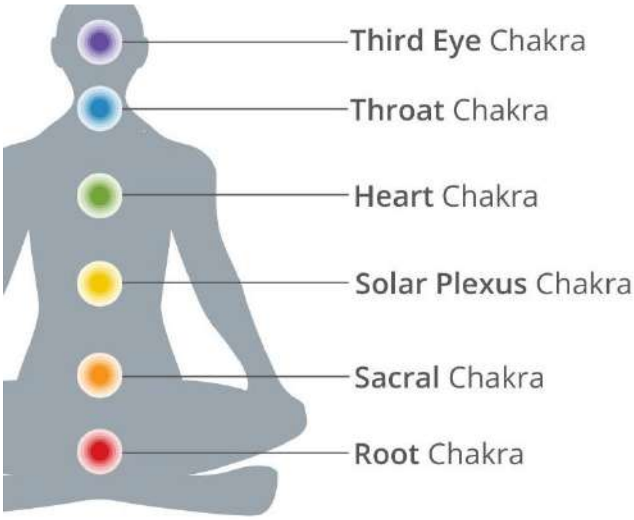
आम्हाला माहित आहे की अनुनाद (Resonance) ही ध्वनी वारंवारता (sound frequency) जुळणारी संकल्पना आहे जी बल वारंवारता (Force Frequency) = नैसर्गिक वारंवारता आहे(Natural Freuency)

प्राचीन काळी लोकांना हे समजले की विशिष्ट ध्वनी किंवा कंपने परिणामकारक प्रभाव निर्माण करतात .त्यांनी गुहांमधील प्रतिध्वनी सारखे काही आवाज पाहिले , नैसर्गिक घटकांच्या आवाजाचा त्यांच्या सभोवतालच्या परिसरावर तीव्र प्रभाव पडतो .प्राचीन काळात लोक तारांमधील कंपन , प्रतिध्वनी सारख्या विशिष्ट घटनांमध्ये अनुनाद पाहत असत. लेणी, गुहांमध्ये गुंजन आवाज ... इ

वेगवेगळया फ्रिक्वेन्सीजच्या संकल्पना (मंत्र) प्रज्वलित करण्यासाठी वापरल्या जातात

(शरीरातील भिन्न चक्रांना उत्तेजित करण्यासाठी) , कल्पना करा की आपले मानवी शरीर एखाद्या संगीत वाजवणाऱ्या उपकरणासारखे आहे ज्यामध्ये भिन्न ऊर्जा केंद्र आहे ज्याला चकट म्हणतात, जर आपण सितार, गिटार, व्हायोलोन सारख्या वाद्याच्या वेगवेगळया तारा तोडल्या तर ते होईल. अद्वितीय ध्वनी निर्माण करतात. याचा अर्थ असा की प्रत्येक वायरची स्वतःची कंपन वारंवारता असते जी नैसर्गिक वारंवारता असते. प्रत्येक चक्राची कंपनाची स्वतःची वारंवारता असते. ठराविक वारंवारतेचा ध्वनी (frequency of sound) (मंत्र) विशिष्ट चक्रांना प्रतिध्वनित करतो आणि प्रज्वलित करतो अशा प्रकारे भिन्न मंत्र शरीरातील भिन्न चक्रे (ऊर्जा केंद्र) सक्रिय करतात. ज्याचा शरीरातील योग्य उर्जा प्रवाहावर परिणाम होतो.

मानवी शरीरात 7 भिन्न ऊर्जा केंद्रे असतात ज्यांना चक्र म्हणतात..



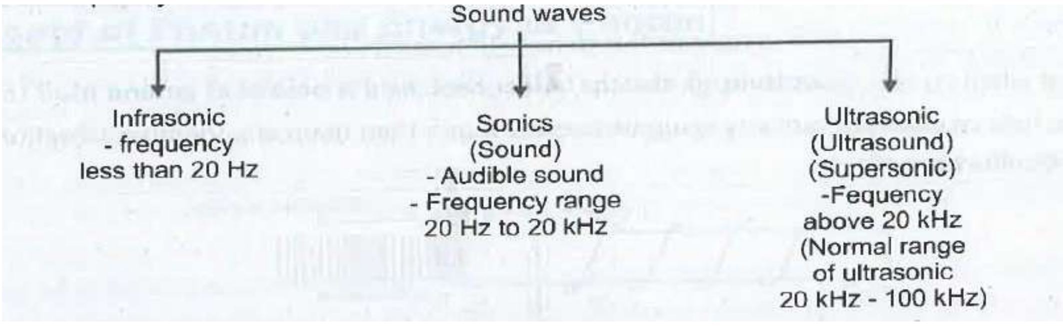
आकृती 2.17

चक्र क्रमांक	संस्कृत नाव	इंग्रजी नाव	शरीरातील स्थान	तत्व	चक्र प्रज्वलित करण्यासाठी बीज मंत्र,	प्रभाव
7	सहस्रार	Crown chakra	मस्तिष्क मुकुटाचा पाया	आदि तत्व	अम….	मला समजते .अध्यात्म दैवी..योग.समाधी
6	आग्या	Third eye chakra	भुवई मध्य	विचार मन	ओम…	मी पाहतो .जागरूकता समज, अनुभूती
5	विशुद्धि	Throt chakra	घशाचा खड्डा	आकाश, पोकळी अवकाश	हम	मी बोलतो .संवाद
4	अनाहत	Heart chakra	हृदय बरगडीचे मध्यभागी	वायू	यम	मला आवडते .प्रेम .उपचार .दयाळूपणा.उत्साह
3	मणिपुरा	Solar plexus chakra	रिब जंक्शन खाली	अग्नि	रम	मी करतो.शहाणपणा.शक्ती
2	स्वाधिस्थान	Sacral chakra	नाभी खाली	जल	वम	मला वाटत. आनंद, भावनिक व्यवस्थापन
1	मूलधार	Root chakra	मणक्याचा पाया	पृथ्वी	लं	मी स्थिरता, तग धरण्याची क्षमता

2.5 अल्ट्रासोनिक लहरी (Ultrasonic waves)

ध्वनी लहरी रेखांशाच्या लहरी असतात आणि त्यांच्या प्रसारासाठी (प्रवासासाठी) लवचिक माध्यमाची आवश्यकता असते. कोणत्याही माध्यमातील ध्वनीचा वेग हा माध्यमाच्या लवचिकतेवर आणि त्याच्या घनतेवर अवलंबून असतो आणि बहुतेक माध्यमांच्या वारंवारतेपासून स्वतंत्र असतो. 20 Hz ते 20kHz (म्हणजे ऐकू येण्याजोग्या श्रेणी) फ्रिक्वेन्सी रेंजमध्ये वारंवारतेसह आवाजाच्या वेगात होणारा बदल सामान्यतः अनुपस्थित असतो.

वारंवारतेनुसार ध्वनी लहरींचे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे केले जाते.



रचना

अशाप्रकारे प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) ची व्याख्या 20 KHz पेक्षा जास्त वारंवारता असलेल्या अल्ट्रासोनिक ध्वनी लहरी म्हणून केली जाते.

प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) ध्वनी सामान्य मानवी कानद्वारे शोधले जाऊ शकत नाहीत (ऐकले) कारण श्रवणीय श्रेणीपेक्षा जास्त आहे.

अल्ट्रासोनिक आवाज कुत्रे आणि वटवाघुळांना ऐकू येतो. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) फ्रिक्वेन्सीसह ध्वनी उद्योग, सागरी अभियांत्रिकी, औषध, वायुचुंबकीय आणि दैनंदिन जीवनात खूप महत्त्व आणि उपयुक्त आहे. अशा प्रकारे, प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) हे लागू भौतिकशास्त्रातील एक विशेष अभ्यास होत आहे.

2.5.1 प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींचे गुणधर्म

1. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींचा प्रवास हा अनुदैर्ध्य लहरींचा म्हणजेच पर्यायी कम्प्रेशन आणि दुर्मिळ गट आहे.

2. या 20 kHz पेक्षा जास्त वारंवारता असलेल्या ध्वनी लहरी आहेत (त्या ऐकू येत नाहीत)

3. या लहान तरंगलांबीच्या ध्वनी लहरी आहेत (फ्रिक्वेंसी जास्त म्हणजे तरंगलांबी लहान).

आमच्याकडे $V = n\lambda$

$$\therefore \lambda = \frac{V}{n} = \frac{330}{20000} = 0.0165 \text{ m}$$

प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) तरंगलांबी (wavelength) अंदाजे 0.017 मीटर आहे

4. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) सामान्य श्रेणी

वारंवारता (frequency) श्रेणी 20 kHz ते 100 kHz

तरंगलांबी (wavelength) श्रेणी 0.0165 मी ते 0.0033 मी

5. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरी ध्वनीच्या गतीने प्रवास करतात (म्हणजे हवेत 330 मी/से)

6. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींचा वेग संपूर्ण एकसंध माध्यमात स्थिर असतो.

7. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींचा वेग द्रवापेक्षा घनात जास्त असतो आणि तो हवेच्या (वायू) पेक्षा द्रवात जास्त असतो.

8. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींचा प्रवास ऊर्जेची लक्षणीय हानी न करता लांब अंतराचा आहे.

9. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा जेव्हा माध्यमाच्या पृष्ठभागावर घडतात तेव्हा प्रतिबिंब, अपवर्तन आणि शोषण होते.

10. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा नगण्य विवर्तन दर्शवतात.

11. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरी व्हॅक्यूममध्ये प्रवास करू शकत नाहीत, त्यांना प्रवास करण्यासाठी मध्यम आवश्यक आहे.

12. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा कमी चिकट माध्यमात कंपन निर्माण करतात.

13. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा जेव्हा ऑब्जेक्टमधून जातात तेव्हा तीव्र उष्णता निर्माण करतात.

14. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा काही धातू, प्लास्टिक वेल्ड (सामील) करू शकतात.

2.6 अल्ट्रासोनिक लाटा तयार करण्यासाठी पायझोइलेक्ट्रिक आणि मॅग्नेटोस्ट्रिक्शन पद्धत

(PIEZOELECTRIC AND MAGNETOSTRICTION METHOD TO PRODUCE ULTRASONIC WAVES)

प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) ध्वनी लहरी खालील दोन महत्त्वाच्या पद्धतींनी तयार केल्या जातात ज्या खाली थोडक्यात स्पष्ट केल्या आहेत.

1. मॅग्नेटोस्ट्रिक्शन पद्धत (MAGNETOSTRICTION METHOD) : 1842 मध्ये जटाम्स जौल या शास्त्रज्ञाने निरीक्षण केले की, जेव्हा चुंबकीय फाइल धातूच्या रॉडवर लावली जाते तेव्हा (नि निकेल सारख्या फेरोमॅग्नेटिक सामग्री) त्याचे परिमाण बदलते. याला मॅग्नेटोस्ट्रक्शन इफेक्ट म्हणतात.

धातूच्या रॉडच्या आकारमानात (लांबी) बदल हा चुंबकीकरणाच्या तीव्रतेच्या प्रमाणात असतो.

$$\frac{dl}{L} \alpha B^2$$

कुठे,

dl = लांबीमध्ये लहान बदल

L = मूळ लांबी

B = चुंबकीय प्रवाह घनता (तीव्रता)

आम्हाला माहित आहे की जेव्हा कॉइल मधून विद्युत प्रवाह वाहतो तेव्हा कॉइलच्या भोवती चुंबकीय क्षेत्र तयार होते

बदलत्या ध्रुवीयतेचे चुंबकीय क्षेत्र रॉडवर लावल्यास, रॉड कंपनातून जातो. या गुणधर्माचा वापर अल्ट्रासोनिक लहरी निर्माण करण्यासाठी केला जातो.

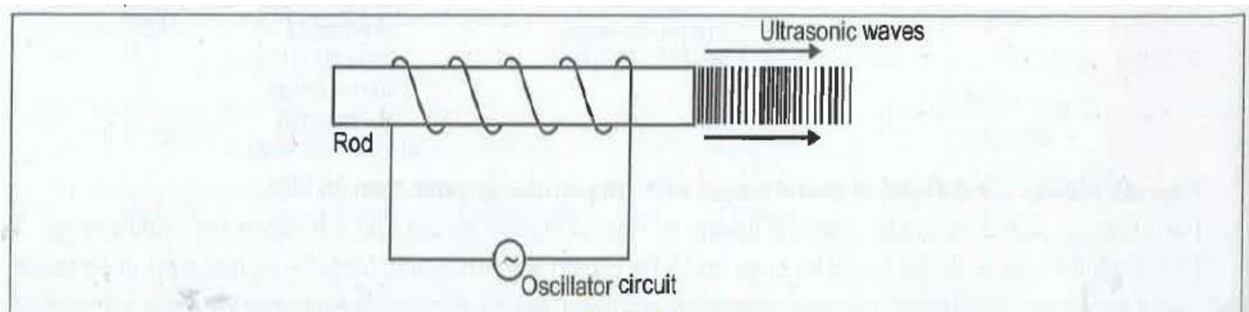


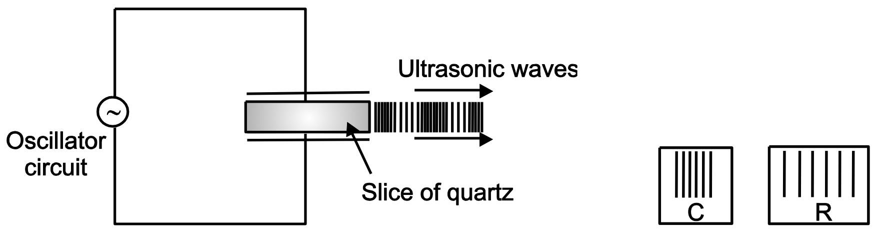
Fig. 2.19

आकृती 2.19 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे फेरोमॅग्नेटिक (मिश्रधातूचा बनलेला) एक रॉड अक्षाच्या समांतर कॉइलमध्ये ठेवला आहे. विद्युत् प्रवाहाची दिशा बदलण्यासाठी आणि त्यामुळे चुंबकीय क्षेत्राची ध्रुवीयता बदलण्यासाठी उच्च वारंवारतेचा विद्युत आंदोलक वापरला जातो. (म्हणजे ऑसिलेटर पर्यायी चुंबकीय क्षेत्र निर्माण करतो.) रॉड कंपनातून जातो. ऑसिलेटरची योग्य वारंवारता निवडून, रॉड अशा कंपनांमधून जातो की अल्ट्रासोनिक लहरी तयार होतात.

प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींची वारंवारता ही दोलनाची वारंवारता, रॉडची परिमाणे आणि सामग्री यावर अवलंबून असते.

2. पिझोइलेक्ट्रिक पद्धत (PIEZOELECTRIC METHOD) : क्वाट्र्ज क्रिस्टलमध्ये एक मनोरंजक गुणधर्म आहे की जेव्हा क्वाट्र्ज क्रिस्टलवर यांत्रिक दाब लागू होतो तेव्हा विद्युत अक्षावर विद्युत शुल्क विकसित केले जाते ज्यामुळे संभाव्यता निर्माण होते. फरक P. D. ओलांडून ज्याला पायझोइलेक्ट्रिक प्रभाव म्हणतात. आणि क्वाट्र्ज, रोशेल सॉल्ट, टूमलाइनसारखे क्रिस्टल्स पिझोइलेक्ट्रिक प्रभाव दर्शवतात. येथे दबाव विद्युत उर्जेत बदल करतो.

तसेच उलट (उलटा) प्रभाव आहे, की जर विद्युत विभवांतर (electric potential difference) (P.D) क्वाट्र्ज क्रिस्टलवर लागू केले जाते नंतर त्याचे परिमाण बदलते. अशा प्रकारे जर अल्टरनेटिंग P. D. क्वाट्र्ज क्रिस्टलवर लावले तर ते कंपने घेते. (पर्यायी आकुंचन आणि विस्तार). या गुणधर्माचा वापर प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा तयार करण्यासाठी केला जातो



आकृती 2.20

आकृती 2.20 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे क्वाट्र्ज सारख्या पायझोइलेक्ट्रिक क्रिस्टलची चिप (स्लाइस) दोन प्लेट्समध्ये ठेवली आहे. त्यावर एक योग्य हार्टली ऑसिलेटर जोडलेला आहे. विद्युत अक्षासह विद्युत दोलन यांत्रिक अक्षासह यांत्रिक कंपन निर्माण करते. इलेक्ट्रिक ऑसिलेटरची वारंवारता आणि चिपची परिमाणे यांची योग्य निवड केल्याने, अशा कंपनांची निर्मिती होते की अल्ट्रासोनिक लहरी तयार होतात. जेव्हा लागू केलेल्या फील्डची वारंवारता क्रिस्टलच्या नैसर्गिक वारंवारतेच्या बरोबरीची होते तेव्हा क्रिस्टल अधिक मोठेपणासह कंपन करतो (अनुनाद होतो) आणि अल्ट्रासोनिक लहरी तयार होतात. अशा प्रकारे रिव्हर्स पीझोइलेक्ट्रिक प्रभाव अल्ट्रासोनिक लाटा तयार करण्यासाठी वापरला जातो.

2.7 अल्ट्रासोनिक लहरींचे अनुप्रयोग (APPLICATIONS OF ULTRASONIC WAVES)

प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींमध्ये अनुप्रयोगांची सहाय्यक श्रेणी असते ज्याची खाली थोडक्यात चर्चा केली जाते.

1. डेप्थ साउंडिंग सोनार (ध्वनी नेव्हिगेशन आणि रॅन्सिंग) : अल्ट्रासोनिक लहरी वापरून जहाजाच्या खाली पाण्याची खोली मोजली जाऊ शकते. ए-अल्ट्रासोनिक सिग्नल पाठवणे आणि प्रतिध्वनी म्हणून स्लिपवर परत येणे यादरम्यान लागणारा वेळ (टाइम-लॅग) रेकॉर्ड केला जातो. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींच्या वेगाच्या ज्ञानावरून जहाजाच्या खाली असलेल्या समुद्राच्या पाण्याची खोली मोजता येते. अशाच एका पद्धतीमध्ये, समुद्राच्या तळापासून परावर्तित झाल्यानंतर प्रतिध्वनी परत आल्यावर पेन मार्कर कागदाच्या चार्टवर चिन्हांकित करतो. रेकॉर्ड केलेल्या मार्करचे प्रत्येक चिन्ह एका प्रतिध्वनाशी संबंधित आहे आणि विविध प्रतिध्वनींसाठी आवश्यक असलेल्या वेळेपासून, समुद्रातील वेगवेगळ्या ठिकाणी खोली मोजली जाऊ शकते. बिंदू समुद्राच्या तळाच्या प्रोफाइलवरून (उतार आणि उतार) आलेखावर प्लॉट केलेले आहेत. सुमारे 40 kHz च्या वारंवारतेच्या अल्ट्रासोनिक लाटा खोलीच्या आवाजासाठी वापरल्या जातात.

2. मेटल कास्टिंगमधील दोष शोधणे : ही पद्धत डेप्थ साउंडिंगसारखीच आहे. दोष-क्रॅक किंवा छिद्राच्या ठिकाणी माध्यमाच्या घनतेत बदल झाल्यामुळे घन, नमुन्यामध्ये छिद्र किंवा क्रॅक असल्यास – अल्ट्रासोनिक लहरी तेथून परावर्तित होतात. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा देखील धातूच्या नमुन्याच्या सीमेवरून परावर्तित होतात. लाटेला दोष आणि मागे प्रवास करण्यासाठी लागणारा वेळ आणि त्यामुळे नमुन्याच्या सीमेपासून क्रॅकचे अंतर कॅथोड किरण ऑसिलोग्राफ वापरून मोजले जाऊ शकते. फक्त एकच प्रतिबिंब (सीमेपासून) आणि दोन नाही हे सिद्ध करेल की नमुन्यामध्ये क्रॅक किंवा छिद्र अनुपस्थित आहे.

3. पाणबुडी आणि हिमनगांचे स्थान : हिमनग आणि पाणबुड्यांचे नेमके स्थान ठरवण्यासाठी खोलीच्या आवाजाची अशीच पद्धत वापरली जाते कारण या प्रकरणात समुद्राच्या पृष्ठभागावर निर्माण होणाऱ्या प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा पाणबुडीच्या शरीरातून किंवा बुडलेल्या पाण्यातून परावर्तित होतात. हिमखंडाचा भाग.

4. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) सिग्नलिंग : प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींना लहान तरंगलांबी असल्यामुळे तीक्ष्ण अरुंद बीममध्ये केंद्रित केले जाऊ शकते. 'रडार' प्रमाणेच आकाशात विमान किंवा इतर वस्तू शोधण्यासाठी या गुणधर्माचा वापर केला जातो. तीक्ष्ण किरण विमानाच्या दिशेने पाठविली जाते आणि विमानाच्या शरीरातून परावर्तित झाल्यानंतर बीमला मूळ स्थानकावर परत येण्यासाठी आवश्यक असलेल्या वेळेपासून त्याचे अंतर आणि स्थान शोधता येते.

5. पृष्ठभागाची प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) साफसफाई : प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींचा वापर कपडे धुण्यासाठी, भांडी साफ करण्यासाठी, यंत्रसामग्री किंवा घड्याळे आणि घड्याळे यांच्या भागातून उरलेली धूळ यासाठी केला जातो. कारखान्यांतील चिमणींमधून कार्बनचे साठे काढून टाकण्यासाठीही त्यांचा वापर केला जातो. या 'अल्ट्रासोनिक डस्टर्स'मधील हाय फ्रिक्वेन्सी जलद कंपनांमुळे धुळीचे कण सहज काढता येतात.

प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) साफसफाईसाठी सुमारे 60 kHz फ्रिक्वेन्सीच्या अल्ट्रासोनिक लहरी वापरल्या जातात.

6. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) ड्रिलिंग : प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींच्या कंपनांचा वापर धातूंमध्ये छिद्रे पाडण्यासाठी आणि धातूचे भाग कापण्यासाठी केला जातो.

7. प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) सोल्डरिंग : प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लाटा धातू, विशेषतः ॲल्युमिनियमच्या सोल्डरिंगसाठी उपयुक्त आहेत. सामान्य पद्धतींद्वारे ॲल्युमिनियम सोल्डरिंगच्या बाबतीत, ॲल्युमिनियम ऑक्साईडची एक फिल्म तयार होते जी सोल्डरिंग सामग्रीला आत प्रवेश करण्यापासून प्रतिबंधित करते. परंतु प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरींमुळे ॲल्युमिनियम ऑक्साईडची फिल्म खंडित होऊ शकते. अशा प्रकारे, सोल्डरिंग MeW सहजपणे आत प्रवेश करू शकते आणि एक गुळगुळीत आणि मजबूत सोल्डर बनते.

8. पाण्याचे शुद्धीकरण : पाण्यातून जाताना प्रचंड कंपनसंख्या असलेल्या (ध्वनिलहरी) लहरी पाण्यातील विशिष्ट प्रकारचे जीवाणू नष्ट करू शकतात आणि त्यामुळे पाण्याच्या शुद्धीकरणासाठी वापर केला जाऊ शकतो.

9. रोगाचे निदान : मानवी शरीरात ट्यूमर इत्यादींची असामान्य वाढ अल्ट्रासोनिक लहरींद्वारे शोधली जाऊ शकते. हे डॉक्टरांना योग्य निदान करण्यास मदत करते.

10. मिश्रधातूंची निर्मिती : विविध धातूंच्या एकसमान रचनेचे मिश्र धातु अल्ट्रासोनिक लहरींच्या वापराने मिळवले जातात कारण कंपने वेगवेगळ्या वितळलेल्या धातूंचे मिश्रण करू शकतात.

11. धुके काढून टाकणे : काही प्रगत देशांमध्ये विमानतळांभोवती जमा होणारे धुके काढून टाकण्यासाठी अल्ट्रासोनिक लहरींचा वापर केला जातो. अल्ट्रासोनिक कंपने धुके साफ करतात आणि हिवाळ्याच्या हंगामात हवाई वाहतूक सामान्य पद्धतीने चालते.

12. वटवाघुळ वापरतात: त्यांच्या मार्गातील अडथळे दूर करण्यासाठी अल्ट्रासोनिक लहरी.

- सोडवलेली उदाहरणे

उदाहरण 1 : 384 Hz फ्रिक्वेन्सीचा ट्युनिंग फोर्क 86 सेमी तरंगलांबीच्या ध्वनी लहरी निर्माण करतो. आवाजाचा वेग शोधा.

उपाय : दिलेले : $n = 384$ Hz, $\lambda = 86$ cm = 0.86 m, $v = ?$

आमच्याकडे आहे, $v = n.\lambda = (384)(0.86)$

$$v = 330.24 \text{ m/s}$$

उदाहरण 2 : तरंगाचा वेग 300 m/s आहे. तरंगाच्या कंपनाची वारंवारता 300 Hz असल्यास, तरंगलांबीची गणना करा.

उपाय : दिलेले : $v = 300$ m/s,

$n = 300$ Hz,

$\lambda = ?$

आमच्याकडे आहे, $v = n.\lambda$

$$\lambda = v/n = 300/300$$

$$\lambda = 1 \text{ मी}$$

- **स्वाध्याय :**

1) 384 Hz फ्रिक्वेन्सीचा ट्युनिंग फोर्क 86 सेमी तरंगलांबीच्या ध्वनी लहरी निर्माण करतो. आवाजाचा वेग शोधा.
दिलेले :n = 384 Hz, l = 86 cm = 0.86 m, v = ?
आमच्याकडे आहे, v = nl = (384) (0.86) \ v = 330.24 m/s

2) आवाज प्रवास करू शकत नाही
 a) गॅस b) द्रव
 c) घन d) व्हॅक्यूम
3) मोठेपणा मोजले जाते
 a) हर्ट्झ b) मीटर
 c) सेकंद d) मीटर / सेकंद
4) इंजिन पिस्टनची कडे आणि समोरची हालचाल हे याचे उदाहरण आहे
 a) गोलाकार हालचाल b) साधी हार्मोनिक हालचाल
 c) रेखीय गती d) ग्रहण गती
5) मुक्तपणे कंपन करणाऱ्या शरीराद्वारे एका सेकंदात केलेल्या दोलनांच्या संख्येला म्हणतात
 a) सक्तीची वारंवारता b) ओलसर वारंवारता
 c) नैसर्गिक वारंवारता d) नकारात्मक वारंवारता

References used for learning manual :

Websites:

1. www.physicsclassroom.com

2. https://iksindia.org

3. www.sciencejoywagon.com/physicszone

Reference Books:

1. Fundamentals of Physics by Haliday, David; Resnik,Robert and Walker, Jearl Publisher John Wiley & sons, Hoboken, USA, 2014 ISBN :812650823X

2. Applied Physics II by Hussain Jeevakhan Publisher: Khanna Book Publishing ISBN:9789391505578

3. Physics Textbook Part I -Class XII by Narlikar, J.V.;Joshi , A. W.;Ghatak A.K. et al Publisher : National Council of Education Research andTraining, New Delhi, 2013, ISBN : 8174506314

4. .Physics Textbook Part II -Class XII by Narlikar, J.V.;Joshi , A. W.;Ghatak A.K. et al Publisher : National Council of Education Research andTraining, New Delhi, 2013, ISBN : 8174506713

युनिट : ३

आधुनिक भौतिकशास्त्र (फोटोइलेक्ट्रिसिटी, एक्स रे, लेसर आणि नॅनोटेक्नॉलॉजी)
Modern Physics (Photoelectricity, X-rays, Laser & Nanotechnology)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome): विविध अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांसाठी आधुनिक भौतिकशास्त्राची संकल्पना (एक्स-रे, लेसर, फोटोसेन्सर आणि नॅनोटेक्नॉलॉजी) लागू करणे.

घटक निष्पत्ती (Theory learning outcome):

1. गुणधर्म स्पष्ट करा प्लँकच्या आधारावर फोटॉनचेगृहीतक
2. स्पष्ट करणे बांधकाम आणि कार्यरतच्या दिले फोटोइलेक्ट्रिक डिव्हाइस.
3. स्पष्ट करणे पद्धत करण्यासाठी उत्पादन क्षय किरणसह त्याचे गुणधर्म आणि अभियांत्रिकी अनुप्रयोग
4. फरक करा यांच्यातील लेसर आणि सामान्य प्रकाश
5. स्पष्ट करणे दिलेअटी संबंधित करण्यासाठी लेसर.
6. वर्णन करणे गुणधर्म च्या नॅनोमटेरियल च्याआणि त्याचे विविध अनुप्रयोग

परिचय:

प्रकाश उर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतर करण्याची एक घटना म्हणजे फोटो वीज. आजकाल प्रगत इलेक्ट्रॉनिक सेन्सर फोटो विजेच्या संकल्पनेवर काम करतात. आईन्स्टाईनच्या फोटो विजेच्या योगदानामुळे त्यांना 1921 चे नोबेल पारितोषिक मिळाले. क्ष-किरण हे विद्युत चुंबकीय लहरी नावाचे रेडिएशनचे प्रकार आहेत. एक्स-रे इमेजिंग तुमच्या शरीराच्या आतील चित्रे तयार करते. प्रतिमा तुमच्या शरीराचे भाग काळ्या आणि पांढऱ्या रंगाच्या वेगवेगळ्या छटा दाखवतात. याचे कारण असे की वेगवेगळ्या उती वेगवेगळ्या प्रमाणात रेडिएशन शोषून घेतात. लेसर हे असे उपकरण आहे जे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रेडिएशनच्या उत्तेजित उत्सर्जनावर आधारित ऑप्टिकल प्रवर्धन प्रक्रियेद्वारे प्रकाश उत्सर्जित करते. "लेझर" हा शब्द "किरणोत्सर्गाच्या उत्तेजित उत्सर्जनाद्वारे प्रकाश प्रवर्धक" या संक्षेप म्हणून उद्भवला. पहिले लेसर 1960 मध्ये ह्यूजेस रिसर्च लॅबोरेटरीजमध्ये थिओडोर एच. मैमन यांनी तयार केले होते, जे चार्ल्स हार्ड टाउन्स आणि आर्थर लिओनार्ड शॉलो यांच्या सैद्धांतिक कार्यावर आधारित होते**.**

3.1 फोटोविद्युत (PHOTOELECTICITY):

3.1.1 फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव

जेव्हा धातूच्या पृष्ठभागावर प्रकाशाची योग्य वारंवारता घडते तेव्हा धातूच्या पृष्ठभागावरून इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होतात आणि विद्युत प्रवाह सर्किटमधून वाहतो. या प्रभावाला फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्ट म्हणतात आणि उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनांना फोटोइलेक्ट्रॉन म्हणतात .

उदा. Na आणि K सारख्या अल्कली धातूंचा प्रभाव दृश्यमान प्रकाशाने दिसून येतो.

3.1.2 प्लँकचा क्वांटम सिद्धांत किंवा प्लँकचा गृहितक

या सिद्धांतानुसार, ऊर्जा सतत उत्सर्जित आणि शोषली जात नाही, परंतु एका वेगळ्या युनिट्समध्ये किंवा ऊर्जा बंडलमध्ये. या ऊर्जा बंडलना **फोटॉन** किंवा **क्वांटा** म्हणतात .

हे फोटॉन विद्युतदृष्ट्या तटस्थ असतात, म्हणजे ते कोणतेही शुल्क घेत नाहीत.

फोटॉनशी संबंधित किमान ऊर्जा आहे

$$E=h\nu$$

जेथे, h = प्लँकचा स्थिरांक = 6.63×10^{-34} Js

आणि जास्तीत जास्त ऊर्जेशी संबंधित प्रकाश किंवा रेडिएशन हे $h\nu$ चा अविभाज्य गुणक आहे

$E=nh\nu$ जेथे n = 1, 2,3,4 …

3.1.3 फोटॉनचे गुणधर्म

1. फोटॉन आयनीकरण करत नाहीत.
2. 8 m/s वेगाने प्रवास करतात .
3. फोटॉनचे गैर-विद्युत स्वरूप
4. फोटॉनचे नॉन-चुंबकीय स्वरूप
5. फोटॉनचा संवेग p = आहे $\frac{h}{\lambda}$
6. फोटॉनचे वस्तुमान m= आहे $\frac{h}{c\lambda}$

जेथे m=फोटॉनचे वस्तुमान

c=प्रकाशाचा वेग

λ = रेडिएशनची तरंगलांबी

h=प्लँकचा स्थिरांक

3 . 1 . 4 फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्ट आणि आइन्स्टाईनचे फोटोइलेक्ट्रिक समीकरण

- **फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव**

जर 'ν' फ्रिक्वेन्सीचा प्रकाश धातूच्या प्लेटवर घडला, तर ऊर्जेचा फोटॉन $h\nu$ धातूच्या अणूशी टक्कर देतो. या टक्कर दरम्यान, '$h\nu$' फोटॉनची ऊर्जा मेटल प्लेटच्या अणूद्वारे शोषली जाते.

अणू ही उर्जा दोन प्रकारे वापरतो. ऊर्जेचा काही भाग इलेक्ट्रॉनला धातूच्या प्लेटमधून वेगळे करण्यासाठी वापरला जातो आणि उर्वरित ऊर्जा इलेक्ट्रॉनला गतीज ऊर्जा देण्यासाठी वापरली जाते.

जेथून उत्सर्जन होते ते धातूच्या स्वरूपावर अवलंबून असते. ज्या विशिष्ट वारंवारतेवर उत्सर्जन होते तिला थ्रेशोल्ड वारंवारता ν_0 म्हणतात .

- **थ्रेशोल्ड फ्रिक्वेन्सी (ν_0) : उत्सर्जन नुकत्याच सुरू होणाऱ्या घटना प्रकाशाची किमान वारंवारता** या धातूची थ्रेशोल्ड वारंवारता ν_0 म्हणतात .
- **थ्रेशोल्ड तरंगलांबी (λ_0) : उत्सर्जन नुकत्याच सुरू होणाऱ्या घटना प्रकाशाच्या कमाल तरंगलांबीला** धातूची थ्रेशोल्ड तरंगलांबी λ_0 म्हणतात .
- **फोटोइलेक्ट्रिक वर्क फंक्शन (W_0) :** इलेक्ट्रॉनला धातूपासून वेगळे करण्यासाठी लागणाऱ्या किमान ऊर्जेला फोटोइलेक्ट्रिक वर्क फंक्शन W_0 म्हणतात .
- **स्टॉपिंग पोटेन्शिअल :** सेलला दिलेली नकारात्मक क्षमता ज्यानंतर फोटोइलेक्ट्रिक प्रवाह शून्य होतो याला फोटोइलेक्ट्रिक सेलची स्टॉपिंग पोटेंशिअल म्हणतात.

3.1.4.1 फोटोइलेक्ट्रिक प्रभावाची वैशिष्ट्ये

(1) $\nu > \nu_0$, जेव्हा घटना प्रकाशाची वारंवारता थ्रेशोल्ड फ्रिक्वेंसीपेक्षा जास्त असते तेव्हाच एक धातू इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित करतो. थ्रेशोल्ड वारंवारता □ $_0$ भिन्न धातूंसाठी भिन्न आहे.

(२) ही **तात्काळ** प्रक्रिया आहे.

(३) फोटोइलेक्ट्रिक प्रवाह हा घटना प्रकाशाच्या तीव्रतेच्या थेट प्रमाणात असतो

(4) फोटोइलेक्ट्रॉनचा वेग घटना प्रकाशाच्या वारंवारतेशी थेट प्रमाणात असतो
(५) थांबण्याची क्षमता थेट वारंवारतेच्या प्रमाणात असते. ते घटना रेडिएशनच्या तीव्रतेवर अवलंबून नाही.
(६) फोटोइलेक्ट्रिक उत्सर्जन तापमानावर स्वतंत्र असते.

3.1.5 आइन्स्टाईनचे फोटोइलेक्ट्रिक समीकरण

जेव्हा प्रकाश धातूवर पडतो, तेव्हा फोटॉन धातूच्या अणूंवर आदळतात. या टक्कर दरम्यान, 'hν' फोटॉनची ऊर्जा मेटल प्लेटच्या अणूद्वारे शोषली जाते.
अणू या ऊर्जेचा वापर दोन प्रकारे करतो. ऊर्जेचा काही भाग (W_0) मेटल प्लेटमधून इलेक्ट्रॉन वेगळे करण्यासाठी वापरला जातो आणि उर्वरित ऊर्जा इलेक्ट्रॉनला गतिज ऊर्जा (KE) देण्यासाठी वापरली जाते.

अशा प्रकारे, $h\nu = W_0 + KE$

$$h\nu = W_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W_0$$

जेथे W_0 = फोटोइलेक्ट्रिक वर्क फंक्शन आणि ते असे तयार केले आहे

$$W_0 = h\nu_0$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_0$$

$$\boxed{\frac{1}{2}mv^2 = h(\nu - \nu_0)}$$

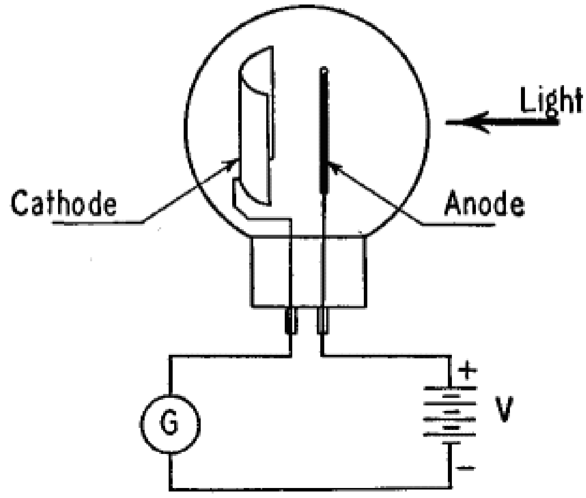
या समीकरणाला आइन्स्टाईनचे फोटोइलेक्ट्रिक समीकरण म्हणतात
जेथे, v= V इलेक्ट्रॉनचा वेग m= M इलेक्ट्रॉनचा ass
h=प्लँकचा स्थिरांक ν = F रेडिएशनची वारंवारता
ν_0 = T hreshold वारंवारता

महत्त्वाची प्रकरणे:

(i) जर $\nu < \nu_0$ ------------ उत्सर्जन नसेल.
(ii)जर $\nu = \nu_0$ ------------- उत्सर्जन नुकतेच सुरू होते.
(iii) जर $\nu > \nu_0$ ------------- उत्सर्जन होत असेल.

3.1.6 फोटोइलेक्ट्रिक सेल आणि त्याचे प्रकार

हे असे उपकरण आहे जे प्रकाश उर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतर करते.



आकृती 3.1

कॅथोड प्रकाशसंवेदनशील सामग्रीसह लेपित आहे जे नकारात्मक टर्मिनलशी जोडलेले आहे आणि एनोड बॅटरीच्या सकारात्मक टर्मिनलशी जोडलेले आहे.

जेव्हा कॅथोडवर प्रकाश येतो तेव्हा तो फोटोइलेक्ट्रॉन उत्सर्जित करतो. हे इलेक्ट्रॉन एनोडकडे आकर्षित होतात. यामुळे प्रकाशविद्युत प्रवाह सर्किटमधून वाहतो.

3.1.7 फोटोइलेक्ट्रिक सेल चे प्रकार :

फोटोइलेक्ट्रिक पेशींचे तीन प्रकार आहेत.

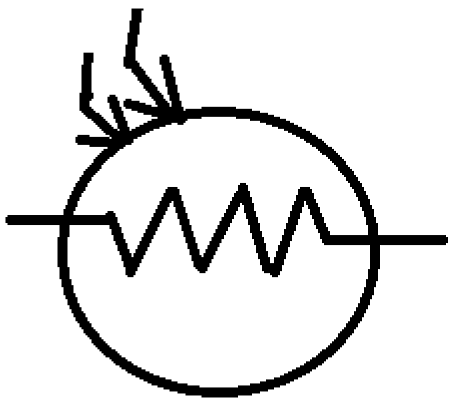
1.फोटोमिसिव्ह सेल
2.फोटोकंडक्टिव्ह
3.फोटोव्होल्टेइक सेल

3.1.7.1 फोटोइलेक्ट्रिक सेलचे अनुप्रयोग

1. फोटोइलेक्ट्रिक सेलचा वापर बर्गलर अलार्ममध्ये केला जातो
2. लक्स मीटरमध्ये याचा वापर केला जातो.
3. हे ट्रॅफिक सिग्नलच्या स्वयंचलित नियंत्रणासाठी वापरले जाते.
4. रस्त्यावरील दिवे स्वयंचलितपणे चालू आणि बंद करण्यासाठी याचा वापर केला जातो.
5. हे फायर अलार्ममध्ये वापरले जाते.
6. चित्रपटाच्या शूटिंग दरम्यान ध्वनिमुद्रण आणि पुनरुत्पादनासाठी याचा वापर केला जातो.
7. फोटोइलेक्ट्रिक सेल टेलिव्हिजन सेटमध्ये वापरल्या जातात.
8. एक्सपोजर मीटरमध्ये फोटोइलेक्ट्रिक सेलचा वापर केला जातो.

3.1.8 लाइट डिपेंडेंट रेझिस्टर (LDR)

त्याला फोटोरेसिस्टर असेही म्हणतात.



आकृती 3.2

LDR ज्याची प्रतिरोधकता किंवा चालकता प्रकाशाच्या तीव्रतेसह बदलते. तो एक प्रकार आहे सेमीकंडक्टर आणि सेमीकंडक्टरमधील उर्जा अंतर व्हॅलेन्स बँड आणि दरम्यान अस्तित्वात आहे वहन बँड. जेव्हा प्रकाश LDR वर घडतो तेव्हा फोटॉन सामग्रीद्वारे शोषले जाते आणि इलेक्ट्रॉन्स व्हॅलेन्स बँडपासून कंडक्शन बँडवर उडी मारतात. त्यामुळे चालकता सामग्री वाढते किंवा सामग्रीची प्रतिरोधकता कमी होते.

3.1.9 एलडीआरचे उपयोग

(1) हे स्वयंचलित प्रकाश नियंत्रणात वापरले जाते
(2) स्ट्रीट लाइट कंट्रोलमध्ये याचा वापर होतो
(3) हे कलरमेट्रिक चाचणी उपकरणांमध्ये वापरले जाते
(4) हे स्वयंचलित दुर्मिळ दृश्य मिररमध्ये वापरले जाते

(5) एक्सपोजर कंट्रोलसाठी कॅमेरामध्ये वापरला जातो
(6) ते फोटोकॉपी मशीनमध्ये वापरले जाते
(7) हे सुरक्षा अलार्ममध्ये वापरले जाते
(8) हे स्मोक डिटेक्टर म्हणून वापरले जाते

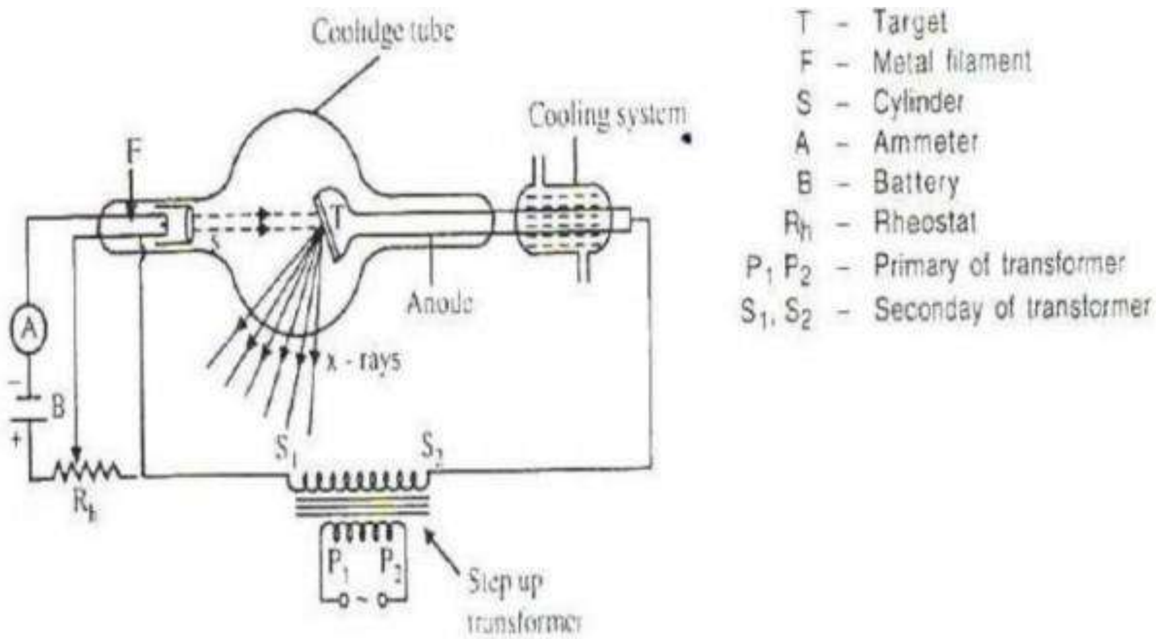
3.2 क्ष-किरण (X-Ray)

जेव्हा वेगाने हलणारे इलेक्ट्रॉन एका ठोस लक्ष्याने अचानक थांबवले जातात, तेव्हा क्ष किरण तयार होतात. क्ष-किरण हे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रेडिएशन असतात, ज्यांची तरंगलांबी 10-10 ते 10-11 मीटर असते .
कमी वारंवारता असलेल्या क्ष-किरणांना मऊ क्ष-किरण म्हणतात आणि जास्त वारंवारता असलेल्या क्ष-किरणांना कठोर क्ष-किरण म्हणतात.

3.2.1 *आधुनिक कूलिज ट्यूब वापरून क्ष-किरणांचे उत्पादन*

तत्त्व: जेव्हा वेगवान इलेक्ट्रॉन्स अचानक थांबतात तेव्हा क्ष-किरण तयार होतात.

आधुनिक प्रकारच्या क्ष-किरण ट्यूबमध्ये कॅथोड आणि एनोड असलेले अत्यंत रिकामे कडक काचेचे बल्ब असतात. कॅथोड टंगस्टन फिलामेंटने बनलेला असतो आणि त्यातून विद्युतप्रवाह देऊन गरम केले जाते. कॅथोडमधून थर्मिओनिक उत्सर्जन प्रक्रियेद्वारे इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित केले जातात. फिलामेंटच्या सभोवती मॉलिब्डेनम सिलेंडर असतो जो फिलामेंटच्या नकारात्मक क्षमतेवर ठेवतो. म्हणून, फिलामेंटमधून उत्सर्जित होणारे इलेक्ट्रॉन इलेक्ट्रॉन बीमच्या बारीक बीममध्ये एकत्रित केले जातात.



आकृती 3.3

लक्ष्यामध्ये तांबे ब्लॉक असतो ज्यामध्ये टंगस्टन किंवा मॉलिब्डेनमचा तुकडा निश्चित केला जातो. एनोडमध्ये उच्च अणू वजन, उच्च वितळण्याचा बिंदू आणि उच्च थर्मल चालकता असावी.

लक्ष्य इलेक्ट्रॉन बीमवर सुमारे 45 ० वर वळले पाहिजे. तांबे हे उष्णतेचे चांगले वाहक आहे जे पाणी शीतकरण प्रणालीमध्ये उष्णता कार्यक्षमतेने वाहून नेण्यास मदत करते. फिलामेंट आणि लक्ष्य दरम्यान सुमारे 20 kV ची उच्च क्षमता लागू केली जाते. या उच्च संभाव्य फरकामुळे, फिलामेंटमधून उत्सर्जित होणारे इलेक्ट्रॉन वेगवान होतात. जेव्हा हे प्रवेगक इलेक्ट्रॉन लक्षित एक्स-रे तयार करतात. क्ष-किरणांची तीव्रता फिलामेंटमधून इलेक्ट्रॉनच्या उत्सर्जनाच्या दरावर अवलंबून असते. हे फिलामेंट करंट बदलून नियंत्रित केले जाऊ शकते. उच्च

भेदक शक्ती आणि उच्च वारंवारता असलेल्या क्ष-किरणांना कठोर क्ष-किरण म्हणतात आणि कमी भेदक शक्ती आणि कमी वारंवारता असलेल्या क्ष-किरणांना मऊ क्ष-किरण म्हणतात.

3.2.2 क्ष-किरणांचे गुणधर्म

1. यात अतिशय लहान तरंगलांबी किंवा उच्च वारंवारता असते.
2. हे फोटोग्राफिक प्लेट्सवर परिणाम करते
3. ते प्रकाशाच्या गतीने प्रवास करते.
4. हे अनेक पदार्थांमध्ये प्रतिदीप्ति निर्माण करते
5. यात उच्च भेदक शक्ती आहे
6. हे फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव निर्माण करते.
7. ते चुंबकीय किंवा विद्युत क्षेत्राद्वारे विचलित होत नाही.
8. ते डोळयांना अदृश्य आहे.

3.2.3 X- R ays चे उपयोग

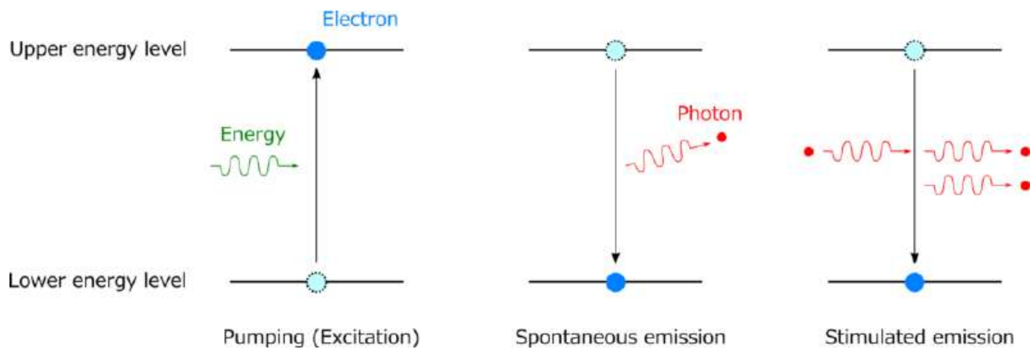
1. याचा उपयोग मेटल जॉबमधील त्रुटी किंवा क्रॅक शोधण्यासाठी केला जातो
2. खऱ्या हिऱ्याला डुप्लिकेटपासून वेगळे करण्यासाठी याचा वापर केला जातो.
3. विमानतळावर सोन्याची तस्करी शोधण्यासाठी याचा वापर केला जातो.
4. भिंत किंवा पुलावरील तडे शोधण्यासाठी याचा वापर केला जातो.
5. हे वेल्डेड जोडांची गुणवत्ता तपासण्यासाठी वापरले जाते.
6. हाडांचे फ्रॅक्चर शोधण्यासाठी याचा वापर केला जातो.
8. हे ट्यूमर नष्ट करण्यासाठी वापरले जाते.
9. कर्करोग बरा करण्यासाठी याचा उपयोग होतो.
10. क्रिस्टलच्या संरचनेचा अभ्यास करण्यासाठी याचा वापर केला जातो.
11. हे रासायनिक घटकांच्या अणुक्रमांकाच्या निर्धारणासाठी वापरले जाते.

३.३ लेसर (LASER)

LASER या शब्दाचा अर्थ लाइट एम्प्लिफिकेशन बाय स्टिम्युलेटेड एमिशन ऑफ रेडिएशन आहे . त्यात काही महत्त्वाचे उल्लेखनीय गुणधर्म आहेत

(1) लेसर प्रकाश सुसंगत आहे. (सर्व लाटा एकाच टप्प्यात आहेत)
(2) लेसर प्रकाश मोनोक्रोमॅटिक आहे. (समान तरंगलांबी)
(३) लेसर प्रकाशात दिशाहीनता असते.
(4) लेसरचा किरण अत्यंत तीव्र असतो.

३.३.१ शोषण किंवा उत्तेजित अवशोषण, उत्स्फूर्त उत्सर्जन आणि उत्तेजित उत्सर्जन



आकृती 3.4

1) अवशोषण किंवा उत्तेजित अवशोषण

जेव्हा ऊर्जेचा फोटॉन h ν जमिनीच्या अणूवर किंवा कमी उर्जा पातळीवर घडतो , नंतर अणू फोटॉनची ऊर्जा शोषून घेतो आणि खालच्या उर्जेच्या पातळीपासून हलतो उच्च ऊर्जा पातळीपर्यंत. ही प्रक्रिया उत्तेजित शोषण म्हणून ओळखली जाते.

2) उत्स्फूर्त उत्सर्जन

जेव्हा ऊर्जेचा फोटॉन h ν जमिनीच्या अणूवर घडतो , नंतर अणू फोटॉनची ऊर्जा शोषून घेतो आणि खालच्या उर्जेच्या पातळीवरून उडी मारतो उच्च ऊर्जा पातळीपर्यंत. अणू अल्प काळासाठी येथे राहतो किंवा उत्तेजित राहतो (आयुष्यकाळ) आणि जीवनकाळ पूर्ण झाल्यानंतर, उत्तेजित अणू फोटॉन h ν उत्सर्जित करून उत्स्फूर्तपणे जमिनीवर येतो. हे उत्स्फूर्त उत्सर्जन म्हणून ओळखले जाते.

3) उत्तेजित उत्सर्जन

जेव्हा अणू उच्च उर्जेच्या पातळीत असतो आणि तो जमिनीवर येण्यापूर्वी जर अणूला उर्जा h ν च्या दुसऱ्या फोटॉनने चालना दिली तर त्यामुळे उत्तेजित अणू ग्राउंड स्टेटमध्ये संक्रमण करतो. हे संक्रमण दुसरे फोटॉन तयार करते जे घटना फोटॉन सारखे असते. घटना फोटॉनमुळे फोटॉनच्या या जबरदस्त उत्सर्जनाला उत्तेजित उत्सर्जन म्हणतात.

3.3.2 महत्वाच्या व्याख्या

1. सामान्य उत्तेजित अवस्था :

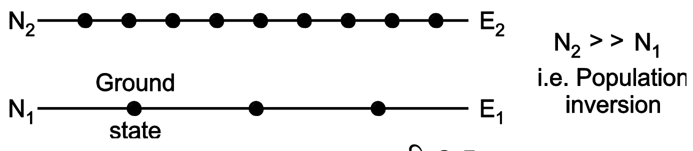
ही उत्तेजित अवस्था आहे जिथे अणू फार कमी वेळ (10-8 सेकंद) उत्तेजित राहतो ज्याला सामान्य **उत्तेजित अवस्था म्हणतात**.

2. **मेटास्टेबल उत्तेजित अवस्था** :

ही उत्तेजित अवस्था आहे जिथे अणू बराच वेळ **(10-3** सेकंद**)** विश्रांती घेतो आणि नंतर जमिनीवर येतो ज्याला मेटास्टेबल उत्तेजित अवस्था म्हणतात.

3. **लोकसंख्या उलथापालथ :**

लोकसंख्या (अणूंची संख्या) जमिनीच्या स्थितीपेक्षा जास्त ऊर्जा पातळी बनवणे
($N_2 >> N_1$) याला लोकसंख्या उलट म्हणतात.



आकृती 3.5

1. **पंपिंग**:

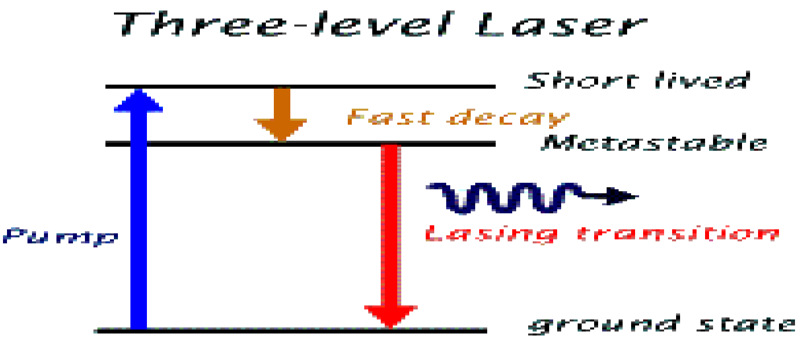
अणूंना कमी ऊर्जेच्या अवस्थेतून उच्च ऊर्जा अवस्थेपर्यंत वाढवण्याच्या प्रक्रियेला पंपिंग म्हणतात**.**

2. **ऑप्टिकल पंपिंग**:

प्रकाश माध्यमाचा वापर करून अणूंना कमी उर्जेच्या अवस्थेतून उच्च ऊर्जा उत्तेजित अवस्थेत वाढवण्याच्या प्रक्रियेला ऑप्टिकल पंपिंग म्हणतात**.**

3.3.3 तीन ऊर्जा पातळी लेसर प्रणाली

ऑप्टिकल पंपिंगचा वापर तीन ऊर्जा स्तरावरील लेसर प्रणालीमध्ये केला जातो. ऊर्जेचा फोटॉन hν ग्राउंड स्टेट अणूंवरील घटना आहे ज्यामुळे अणू जमिनीच्या उर्जेच्या पातळीपासून उत्तेजित होतात उच्च ऊर्जा पातळीपर्यंत. येथे अणू फारच कमी काळ विश्रांती घेतात (म्हणजेच आयुष्य 10-9 सेकंदांपेक्षा कमी असते) आणि अणू ऊर्जा मेटास्टेबल स्थितीत संक्रमण करतात.



आकृती 3.6

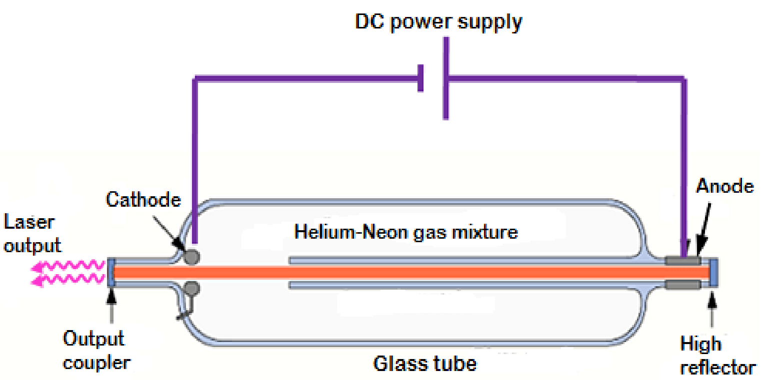
मेटास्टेबल स्थितीत अणू जास्त काळ विश्रांती घेतात. त्यामुळे मेटास्टेबल अवस्थेची लोकसंख्या त्यापेक्षा जास्त होते जमिनीच्या स्थितीवर म्हणजे N 2 बनवणे >> N 1 , आवश्यक लोकसंख्या उलथापालथ केली जाते. जर अणूला h□ 12 उर्जेच्या घटना फोटॉनच्या क्रियेमुळे चालना मिळाली , तर उत्तेजित अणू उत्तेजित होतो आणि अधोगामी संक्रमणास अनुसरतो. या संक्रमणादरम्यान, अणू घटना फोटॉनसह एक फोटॉन त्याच दिशेने उत्सर्जित करतो ज्यामुळे लेसर विकिरण तयार होतात.

3.3.4 हेलियम-निऑन लेसर (HE-NE Laser)

He-Ne लेसर हा गॅस लेसरचा एक प्रकार आहे ज्यामध्ये हेलियम आणि निऑन गॅसचे मिश्रण लाभाचे माध्यम म्हणून वापरले जाते.

रचना:

10:1 च्या प्रमाणात हेलियम (He) आणि निऑन (Ne) गॅसच्या मिश्रणाने भरलेली असते . मिश्रणात He चे 10 भाग आणि Ne चे 1 भाग असतात. परफेक्ट रिफ्लेक्टर एका टोकाला आणि अर्धवट रिफ्लेक्टर ट्यूबच्या दुस-या टोकाला फिक्स केला जातो. लेसरची ऊर्जा ट्यूबमधील एनोड आणि कॅथोडमधील वायूमधून उत्तीर्ण होणाऱ्या उच्च-व्होल्टेजद्वारे प्रदान केली जाते.

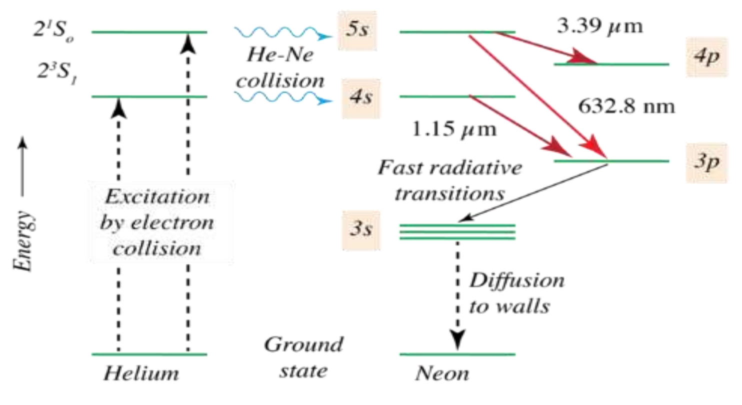


He-Ne गॅस लेसर

आकृती 3.7

कार्यरत:

उच्च व्होल्टेज डीसी ऊर्जावान इलेक्ट्रॉन तयार करतो जे गॅस मिश्रणातून प्रवास करतात. हे ऊर्जावान इलेक्ट्रॉन मिश्रणावर आदळतात आणि त्यांची ऊर्जा He आणि Ne मध्ये हस्तांतरित करतात. डिस्चार्जमधून इलेक्ट्रॉनशी टक्कर झाल्यामुळे He आणि Ne अणू अनुक्रमे मेटास्टेबल स्थितीत उत्तेजित होतात.



He-Ne लेसरसाठी ऊर्जा पातळी आकृती

आकृती 3.8

निऑन अणूंच्या काही उत्तेजित अवस्थेची ऊर्जा पातळी हीलियम अणूंच्या मेटास्टेबल अवस्थांच्या ऊर्जा पातळीशी सारखीच असते. त्यामुळे हीलियम अणूंची ऊर्जा उत्तेजित निऑन अणूंमध्ये हस्तांतरित होण्याची शक्यता असते. अशाप्रकारे, हेलियम अणूचा उद्देश लोकसंख्येच्या उलथापालथ साध्य करण्यात मदत करणे हा आहे. वास्तविक लेसिंग अणू निऑन आहेत. 5s ते 3p चे संक्रमण लाल लेसर बीम देते.

3.4 अतिसूक्ष्मतंत्रज्ञान: (Nanotechnology):

अतिसूक्ष्मतंत्रज्ञान ही उपयोजित शास्त्राची आणि तंत्रज्ञानाची एक शाखा आहे. ह्यात प्रामुख्याने अणू अथवा रेणूंच्या आकाराइतक्या सूक्ष्म प्रमाणावर पदार्थांच्या नियंत्रणाचा अभ्यास होतो. पदार्थांचे साधारणपणे १ ते १०० नॅनोमीटर एवढ्या लहान प्रमाणात नियंत्रण करण्यासाठी अतिसूक्ष्म आकारातील साधने तयार करणे याचाही समावेश यात होतो.

अतिसूक्ष्मतंत्रज्ञान हे 'भविष्यातील मूलभूत तंत्रज्ञान' म्हणून मानले जाते. हे एक अत्याधुनिक, आणि जगभरात अतिशय झपाट्याने विकसित होत असलेले असे तंत्रज्ञान आहे.

या तंत्रज्ञानाचा चरम उद्देश, केवळ प्रचलित यंत्रांचे किंवा पदार्थांचे अतिसूक्ष्मीकरण करणे हा नसून, अतिसूक्ष्म लांबन पातळीवर ज्या नवीन भौतिकीय घटना घडतात आणि ज्या साधारण पातळीवर प्रकट होत नाहीत, अशा घटनांचा वापर करून नवीनतम यंत्ररचना तयार करणे हा होय. सद्य परिस्थितीमध्ये हा चरम उद्देश साध्य करण्याइतपत तंत्रज्ञान मानवाजवळ नाही. या तंत्रज्ञानाबाबत जी प्रचंड गुंजारव आपल्याला बघायला मिळते, त्यामध्ये मुख्यत्वेकरून प्रचलित पदार्थांचे अतिसूक्ष्मीकरण केल्यास त्या पदार्थाला जे नवीन अद्भुत गुणधर्म प्राप्त होतात, त्यांचा वापर केला जातो. उदा. सोने हा धातू साधारण अवस्थेत रासायनिक प्रक्रियेस मदत करीत नाही, पण त्याचेच जर अतिसूक्ष्मीकरण (१०० नॅनोमीटर हून सूक्ष्म चूर्ण) केले तर तो अतिशय सक्रियपणे रासायनिक प्रक्रियेस मदत करतो.

पदार्थांचे अतिसूक्ष्मीकरण करणे ही या तंत्रज्ञानाची केवळ पहिली पायरी आहे, आणि या पहिल्या पायरीनेच सर्वत्र अतिशय खळबळ आणि कुतुहल निर्माण केले आहे. इतकेच नव्हे, तर अनेक नवीन वैज्ञानिक प्रकल्पांचे आणि शैक्षणिक अभ्यासक्रमांचे जनन केले आहे. जगातील मोठमोठ्या शैक्षणिक आणि संशोधन संस्थांमध्ये या तंत्रज्ञानाच्या अभ्यासावर प्रचंड भर दिला जात आहे.

एक नॅनोमीटर म्हणजे एका मीटरचा शंभर कोटिवा हिस्सा. वेगळ्या शब्दांत सांगावयाचे झाल्यास, असे म्हणता येईल, की एका खेळण्यातल्या गोटीच्या आकारची तुलना पृथ्वीच्या आकाराशी केली तर ते एका नॅनोमीटरची एका मीटरशी तुलना केल्यासारखे होईल. इतक्या सूक्ष्म वस्तूंना नियंत्रित करणे ही महत्कठीण अशी एक बाब आहे.

3.4.1 नॅनोमटेरियलचा वापर: (Application)

1) इलेक्ट्रॉनिक्स

कार्बन नॅनोट्यूब लहान, जलद आणि अधिक कार्यक्षम मायक्रोचिप आणि उपकरणे तसेच हलके, अधिक प्रवाहकीय आणि मजबूत क्वांटम नॅनोवायर बनवण्यासाठी सामग्री म्हणून सिलिकॉनची जागा घेण्याच्या जवळ आहेत. ग्राफीनचे गुणधर्म ते लवचिक विकासासाठी एक आदर्श उमेदवार बनवतात

2) ऊर्जा

क्योटो युनिव्हर्सिटीने विकसित केलेल्या नवीन सेमीकंडक्टरमुळे सौर पॅनेल तयार करणे शक्य होते जे सूर्यप्रकाशाच्या दुप्पट प्रमाणात विजेमध्ये रूपांतरित होते. नॅनोटेक्नॉलॉजी खर्च कमी करते, मजबूत आणि हलक्या पवन टर्बाइनची निर्मिती करते, इंधन कार्यक्षमता सुधारते आणि काही नॅनो घटकांच्या थर्मल इन्सुलेशनमुळे ऊर्जा वाचवता येते.

3) बायोमेडिसिन

काही नॅनोमटेरियल्सचे गुणधर्म त्यांना न्यूरोडिजेनेरेटिव्ह रोग किंवा कर्करोगाचे लवकर निदान आणि उपचार सुधारण्यासाठी आदर्श बनवतात. ते इतर निरोगी पेशींना इजा न करता निवडकपणे कर्करोगाच्या पेशींवर हल्ला करण्यास सक्षम आहेत. काही नॅनोकणांचा वापर सनस्क्रीन सारख्या औषधी उत्पादनांना वाढवण्यासाठी देखील केला गेला आहे.

4) पर्यावरण

आयनांसह हवा शुद्धीकरण, नॅनोबबल्ससह सांडपाणी शुद्धीकरण किंवा जड धातूंसाठी नॅनोफिल्ट्रेशन सिस्टम हे त्याचे काही पर्यावरणास अनुकूल अनुप्रयोग आहेत. रासायनिक अभिक्रिया अधिक कार्यक्षम आणि कमी प्रदूषित करण्यासाठी नॅनोकॅटॅलिस्ट्स देखील उपलब्ध आहेत.

5) अन्न

या क्षेत्रात, यांत्रिक आणि थर्मल प्रतिकार वाढवून आणि पॅकेज केलेल्या उत्पादनांमध्ये ऑक्सिजन हस्तांतरण कमी करून अन्न उत्पादन सुधारण्यासाठी नॅनोबायोसेन्सर्सचा वापर अन्न किंवा नॅनोकॉम्पोजिट्समध्ये रोगजनकांची उपस्थिती शोधण्यासाठी केला जाऊ शकतो.

6) कापड

नॅनोटेक्नॉलॉजीमुळे मोटारसायकल हेल्मेट किंवा क्रीडा उपकरणे बनवण्यासाठी डाग किंवा सुरकुत्या न पडणारे स्मार्ट फॅब्रिक्स, तसेच मजबूत, हलके आणि अधिक टिकाऊ साहित्य विकसित करणे शक्य होते.

Applications of Nano materials Metallic Bhasma (Ancient Ayurveda)

3.4.2 नॅनो मटेरियलचे ॲप्लिकेशन मेटॅलिक भस्म (प्राचीन आयुर्वेद)

आम्ही नॅनो साईजमधील अनेक मटेरिअल पाहिल्या आहेत ज्यामध्ये नॉव्हेल गुणधर्म आहेत आणि त्यात अनेक ॲप्लिकेशन्स आहेत. प्राचीन आयुर्वेदात, सोने, चांदी आणि तांबे यासारख्या नॅनो धातूच्या कणांपासून मिळणाऱ्या धातूच्या भस्मामध्ये व्यक्तिमत्व विकार, मानसिक विकार या उपचारात्मक गुणधर्मांचा समावेश होतो.

मज्जातंतूचे विकार- (Nervine disorders)सुवर्ण भस्म (सुवर्ण भस्म) मज्जासंस्थेचे विकार नियंत्रित करण्यासाठी आणि मेंदूचे कार्य आणि स्मरणशक्ती सुधारण्यासाठी वापरले जाते.

इजा पुनर्प्राप्ती आणि जखम भरणे(Wound healing) - सिल्व्हर भस्म (रजत भस्मा) जखमेच्या जखमेवर लावल्यास ते बरे होते आणि वेगाने बरे होते कारण या भस्मामध्ये प्रतिजैविक गुणधर्म असतात.

सूजविरोधी आणि दाहक-विरोधी गुणधर्म(Anti swelling) – तांबे भस्म (तम्रा भस्म) सूज कमी करण्यासाठी वापरला जातो. याचा उपयोग सांधेदुखीची सूज बरे करण्यासाठी केला जातो.

कायाकल्प: जीवन ऊर्जा वाढवण्यासाठी रसायनाच्या उपचारात धातूचा भस्माचा वापर केला जात असे. आणि रोग प्रतिकारशक्ती वाढवण्यासाठी.

- स्वाध्याय:

1.जेव्हा योग्य वारंवारतेचा प्रकाश धातूच्या पृष्ठभागावर घडतो, तेव्हा धातूच्या पृष्ठभागावरून इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होतात, हा परिणाम ……… म्हणून ओळखला जातो.
(a) थर्मोइलेक्ट्रिक प्रभाव (b) फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव
(c) विद्युत प्रवाहाचा ताप प्रभाव (d) सीबेक प्रभाव

2. प्लँकच्या सिद्धांतानुसार, ऊर्जा सतत उत्सर्जित आणि शोषली जात नाही, परंतु एका स्वतंत्र (अधूनमधून) युनिट्स किंवा पॅकेट्स (बंडल) मध्ये. या ऊर्जा पॅकेट्सना ……… म्हणतात.
a) इलेक्ट्रॉन (b) प्रोटॉन (c) फोटॉन (क्वांटा) (d) न्यूट्रॉन

3. प्रकाश वागू शकतो ………..
(a) फक्त लाट सारखे (b) फक्त कण सारखे (c) तरंग आणि कण दोन्ही (d) यापैकी नाही

4. फोटॉन (क्वांटा) विद्युतीय असतात ……….
(a) सकारात्मक (b) नकारात्मक (c) तटस्थ (d) यापैकी नाही

5. फोटॉन वेगाने प्रवास करतात ……
(a) ध्वनी (b) प्रकाशाचा (c) ध्वनीपेक्षा कमी (d) प्रकाशापेक्षा कमी

6. फोटॉनशी संबंधित ऊर्जा 'ई' द्वारे दिली जाते
(a) $E = h/\nu$ (b) $h = E\nu$ (c) $E = h + \nu$ (d) $E = h\nu$

7. जेव्हा वेगवान इलेक्ट्रॉन्स अचानक बंद होतात तेव्हा ……
(a) लेसर तयार केले जातात (b) विद्युत प्रवाह तयार केला जातो
(c) क्ष-किरण तयार होत नाहीत (d) यापैकी काहीही नाही

8.धातूचा फिलामेंट मोलिब्डेनम धातूच्या सिलेंडरने वेढलेला असतो जो फिलामेंटच्या नकारात्मक क्षमतेवर ठेवतो. यामुळे फिलामेंटमधून उत्सर्जित होणारे इलेक्ट्रॉन ……… आहेत
(a) सर्वत्र शिंपडलेले (b) बारीक तुळईमध्ये केंद्रित (c) प्रवेगक (d) त्वरण

9. कूलिज एक्स-रे ट्यूबमध्ये, लक्ष्य (टी) सामग्रीमध्ये काही गुणधर्म असावेत. खालीलपैकी कोणती मालमत्ता आवश्यक नाही?
(a) लक्ष्य सामग्रीमध्ये उच्च वितळण्याचे बिंदू असावे
(b) लक्ष्य सामग्रीचे अणू वजन जास्त असावे
(c) लक्ष्य सामग्रीमध्ये उच्च थर्मल चालकता असते
(d) लक्ष्य सामग्रीमध्ये उच्च लवचिकता असते

10. कूलिज एक्स-रे ट्यूबमध्ये, …… म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या प्रक्रियेमुळे इलेक्ट्रॉन तयार होतात.
(a) फोटोइलेक्ट्रिक उत्सर्जन (b) थर्मिओनिक उत्सर्जन
(c) अल्ट्रासोनिक उत्सर्जन (d) हायड्रॉलिक उत्सर्जन

11. क्ष-किरण निर्मितीच्या प्रक्रियेत, कॅथोडपासून तयार होणारे इलेक्ट्रॉन …. च्या वापराने प्रवेगित होतात.
(a) कॅथोड आणि एनोड दरम्यान उच्च व्होल्टेज
(b) कॅथोड आणि एनोड दरम्यान कमी व्होल्टेज
(c) इलेक्ट्रॉनिक मोटर

(d) कॅथोडपासून एनोडपर्यंत उच्च प्रवाह

12. क्ष-किरण निर्मितीच्या प्रक्रियेत, क्ष-किरणांची तीव्रता …… द्वारे नियंत्रित केली जाऊ शकते.

(a) फिलामेंट करंट समायोजित करणे

(b) P.D समायोजित करणे कॅथोड आणि एनोड दरम्यान

(c) लक्ष्याचा कोन समायोजित करणे

(d) शीतलक दर समायोजित करणे

13. क्ष-किरण निर्मितीच्या प्रक्रियेत, क्ष-किरणांचा प्रवेश (हार्ड क्ष-किरण किंवा मऊ क्ष-किरण) …… याद्वारे समायोजित केला जाऊ शकतो.

(a) फिलामेंट करंट समायोजित करणे

(b) P.D समायोजित करणे कॅथोड आणि एनोड दरम्यान

(c) लक्ष्याचा कोन समायोजित करणे

(d) शीतलक दर समायोजित करणे

14. खालीलपैकी कोणता क्ष-किरणांचा गुणधर्म नाही …….

a) उच्च भेदक शक्ती (b) फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव निर्माण करते

(c) फोटोग्राफिक प्लेट्सवर परिणाम करतात

d) चुंबकीय किंवा विद्युत क्षेत्राद्वारे विक्षेपित होतात

15. LASER)(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)चे पूर्ण रूप …….

(a) किरणोत्सर्गाच्या उत्तेजित उत्सर्जनाच्या वरचा प्रकाश

(b) उत्तेजित इलेक्ट्रॉन परावर्तनाद्वारे प्रकाश प्रवर्धन

c) किरणोत्सर्गाच्या उत्तेजित उत्सर्जनाद्वारे प्रकाश प्रवर्धन

(d) उत्तेजित इलेक्ट्रॉन अपवर्तनाद्वारे प्रकाश प्रवर्धन

16. खालीलपैकी कोणता लेसर प्रकाशाचा गुणधर्म नाही?

(a) सुसंगत आहे (b) मोनोक्रोमॅटिक आहे

(c) किरण अत्यंत तीव्र आहे (d) उच्च प्रवेश शक्ती

17. लेसर प्रकाश सुसंगत म्हणजे ….

(a) सर्व लहरींची वारंवारता किंवा तरंगलांबी समान असते

(b) सर्व लहरी एकाच टप्प्यात असतात

(c) सर्व लहरी टप्प्यात अगदी विरुद्ध असतात

(d) सर्व लाटा समान ऊर्जा वाहून नेतात

18. लेसर प्रकाश एकरंगी माध्यम आहे….

(a) सर्व लहरींची वारंवारता किंवा तरंगलांबी समान असते

(b) सर्व लहरी एकाच टप्प्यात असतात

(c) सर्व लहरी टप्प्यात अगदी विरुद्ध असतात

) सर्व लाटा समान ऊर्जा वाहून नेतात

References used for learning manual :

Websites:

1. www.physicsclassroom.com

2. https://iksindia.org

3. www.sciencejoywagon.com/physicszone

4. www.fearofphysics.com

Reference Books:

1. Fundamentals of Physics by Haliday, David; Resnik,Robert and Walker, Jearl Publisher John Wiley & sons, Hoboken, USA, 2014 ISBN :812650823X

2. Applied Physics II by Hussain Jeevakhan Publisher: Khanna Book Publishing ISBN:9789391505578

3. Physics Textbook Part I -Class XII by Narlikar, J.V.;Joshi , A. W.;Ghatak A.K. et al Publisher : National Council of Education Research andTraining, New Delhi, 2013, ISBN : 8174506314

4. . Physics Textbook Part II -Class XII by Narlikar, J.V.;Joshi , A. W.;Ghatak A.K. et al Publisher : National Council of Education Research andTraining, New Delhi, 2013, ISBN : 8174506713

विभाग २

उपयोजित रसायनशास्त्र

युनिट :४
धातू आणि संमिश्रे
(Metals And Alloys)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome): औद्योगिक अनुप्रयोगांशी संबंधित धातूकर्म प्रक्रिया निवडा.
घटक निष्पत्ती (Unit Outcome):
१.धातूकाच्या वेचा प्रक्रियेचे वर्णन व कार्याचे वर्णन करा.
२.धातूंच्या यांत्रिक गुणधर्मांचे वर्णन करा.
३.संमिश्र बनवण्याचे उद्देश स्पष्ट करा.
४.संमिश्र तयार करण्यासाठी वापरण्यात येणाऱ्या पद्धतीचे वर्णन करा.
५.लोहयुक्त आणि लोहरहित संमिश्रांचे घटक, गुणधर्म आणि उपयोग स्पष्ट करा.

परिचय / युक्तीवाद (Introduction/ Rational)
धातू आणि त्यांचे मिश्र धातू मानवजातीद्वारे कोट्यावधी वर्षांपासून वापरली जात आहेत. हे सर्व अभियांत्रिकी प्रकल्प आणि उत्पादनांचा कणा आहेत. आधुनिक जीवनात धातूंची महत्वपूर्ण भूमिका आहे इंजिनियरिंगच्या दृष्टीकोनातून लोह, तांबे, झिंक, रौप्य, आणि ॲल्युमिनियम सारखे धातू खूप महत्त्वपूर्ण आहेत. सर्व रोजगार आणि प्रकल्पामध्ये धातूंचा उपयोग शेती, विमान, वाहन, रेल्वे, शिपिंग, वाहतूक, पुलांचे बांधकाम, इमारती, यंत्रसामग्रीचे भाग आणि घरातील भांडी यासाठी वापरली जाणारी साधने व उपकरणे तयार करण्यासाठी होतो. धातू आणि मिश्र धातू अशी सामग्री आहे जी सामान्यतः कठोर, लवचिक आणि चांगली विद्युत आणि औष्णिक वाहकता असणारी असते.

४.१ प्राचीन भारतीय धातूशास्त्र (IKS)
पाषाण युगापासून माणसाला धातू ज्ञात आहेत. मानवाने धातूचा वापर कोणत्या ना कोणत्या स्वरूपात केला आहे आणि काळाच्या प्रगतीसह, धातूचा वापर वाहतूक आणि दळणवळण, वैज्ञानिक साधने, घरगुती वस्तू इ. औद्योगिक, तंत्रज्ञान, अशा विविध क्षेत्रांमध्ये वैविध्यपूर्ण झाला आहे. सर्व घटकांपैकी अंदाजे तीन-चतुर्थांश हे धातू आहेत. हे लक्षात घ्यावे की शुद्ध धातूंचा वापर मर्यादित आहे, परंतु ते मोठ्या प्रमाणात अधिक उपयुक्त मिश्रधातूंमध्ये रूपांतरित होतात. प्राचीन भारतीय धातूशास्त्र म्हणजे भारतीय उपखंडातील धातूच्या कामाच्या ऐतिहासिक पद्धतीचा संदर्भ आहे, जी हजारो वर्षांपूर्वीची आहे.

४.२ धातूंची घटना (Occurrence of Metals):
सोने, प्लॅटिनम (निष्क्रिय धातू) आणि कधीकधी तांबे, चांदी मुक्त अवस्थेत किंवा ऑक्साईड, सल्फाइड्स, सल्फेट्स, क्लोराईड्स सारख्या भिन्न संयुगांच्या रुपात, संयुक्त (combined state) रूपात आढळू शकतात. नायट्रेट्स, फॉस्फेट्स, कार्बोनेट इ. या धातूंची संयुगे खनिज (minerals) म्हणून देखील ओळखली जातात.

खनिज (Mineral): पृथ्वीच्या कवचात नैसर्गिकरित्या उपलब्ध होणारे पदार्थ ज्यामध्ये धातू मुक्त किंवा संयुक्त अवस्थेत उपलब्ध असतात त्यांना खनिज पदार्थ (mineral) म्हणून ओळखले जाते.

धातूक (Ore): ज्या खनिजातून धात् आर्थिकदृष्ट्या फायदेशीरपणे काढला जातो त्यास धातूक (धातूक) म्हणून ओळखले जाते. या खनिजांमध्ये त्यांच्याशी संबंधित बरीच अशुद्धता (impurities) असते.

गँग किंवा मॅट्रिक्स (Gangue / Matrix): खनिज, वाळू, चिकणमाती, खडक इत्यादीसारख्या खनिज / मातीशी संबंधित (earthy impurities) अवांछित अशुद्धता गँग किंवा मॅट्रिक्स म्हणून ओळखले जाते.
फ्लक्स (Flux): धातूचा संबंधित अवांछित अशुद्धी, गँग (gangue) काढून टाकण्यासाठी वापरले जाणारे पदार्थ.
स्लॅग (slag): फ्लक्स आणि गँगच्या संयोजनाद्वारे तयार होणाऱ्या फ्यूजीबल (fusible) मटेरियलला स्लॅग

म्हणतात. किंवा गँग आणि फ्लक्सच्या प्रतिक्रियेद्वारे बनविलेले फ्यूजीबल (fusible) रासायनिक संयुग स्लॅग म्हणून ओळखले जाते.

फ्लक्स + गँग ⟶ स्लॅग

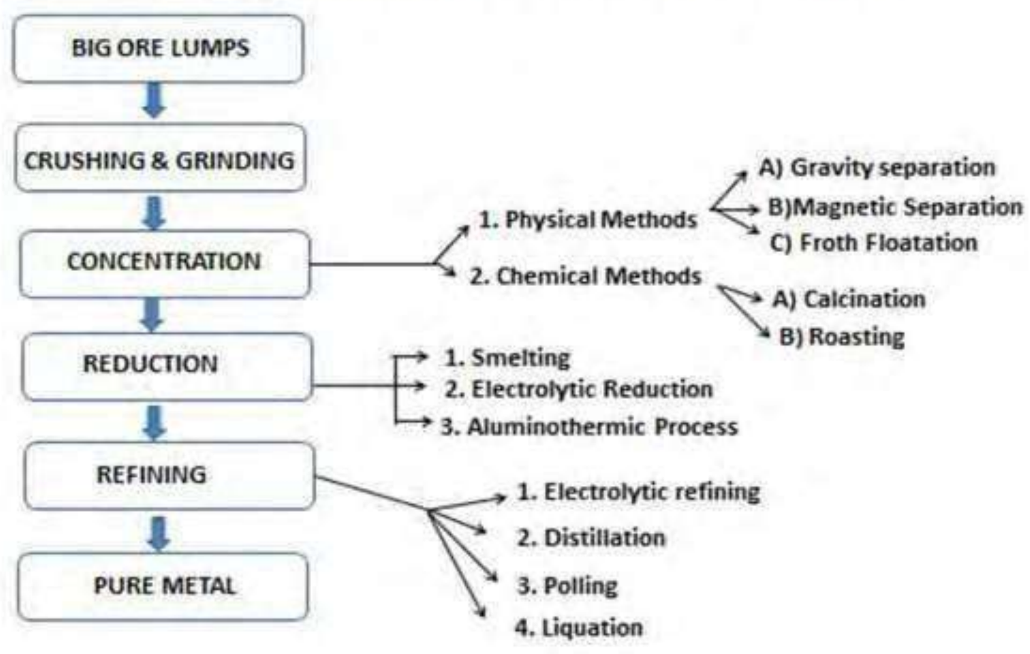
वेगवेगळे धातू वेगवेगळ्या प्रमाणात आणि भौतिक आणि रासायनिक गुणधर्म वेगवेगळी असल्याने ऑक्साईडस्, सल्फाइड्स, सल्फेट्स, कार्बोनेट्स सारख्या धातूंच्या संयुगातून वेगवेगळे धातू काढण्यासाठी (extraction) वेगवेगळ्या पद्धतींची आवश्यकता असते.

४.३ धातूशास्त्र (Metallurgy): संबंधित धातूंच्या संयुगातून धातू विभक्त करण्याच्या प्रक्रियेस धातूशास्त्र म्हणतात.

धातू विज्ञान प्रक्रियेमध्ये खालील काही सामान्य पद्धतींचा समावेश असतो

१) क्रशिंग किंवा पल्व्हरायझेशन (Crushing or Pulverization)
२) कॉन्सनस्ट्रेशन (Concentration)
३) रिडक्शन (reduction)
४) रिफायनींग (Refining)

THE STEPS INVOLVED IN THE EXTRACTION OF METALS



आकृती ४.३

फर्नेस चे प्रकार (Types of Furnace):

फर्नेस (Furnace) हे एक असे साधन आहे ज्याचा वापर उच्च तापमानात सामग्री गरम करण्यासाठी केला जातो. ज्वलनसाठी इंधन वापरुन किंवा इलेक्ट्रिकल हीटिंग कॉइलद्वारे (electrical heating coil) भट्टीला उच्च तापमानात गरम केले जाते. उद्योगात भट्टीचा उपयोग धातूचा निष्कर्ष (extraction of metal), रासायनिक उद्योगातील रासायनिक अभिक्रिया (chemical reactions), तेल शुद्धीकरण (oil refineries) इत्यादीसारख्या विविध कामांसाठी केला जातो.

अ) मफल फर्नेस (Muffle furnace):

एक मफल फर्नेस हे ओव्हन सारखे उपकरण असते. याला एक्स्ट्रीमली हीटेड चेंबर (externally heated chamber) असते. भट्टीची सामग्री उच्च तापमानाचा सामना करू शकते, म्हणूनच हा सामान्यतः उच्च तापमानात वापरला जातो. मफल फर्नेसच्या भिंती थेट इंधनाच्या ज्वालाशी थेट संपर्क न ठेवता सामग्री गरम करतात. मफल फर्नेस चेंबर इन्सुलेटेड मटेरियलद्वारे बनविला जातो, इन्सुलेटेड मटेरियलमध्ये इलेक्ट्रिकली हीटिंग कॉइल बसवलेल्या असतात. इन्सुलेटिंग सामग्री बाहेरील उष्णतेच्या नुकसानास प्रतिबंध करते. मफल फर्नेसेस सामान्यतः विद्युत् हीटिंग कॉइलद्वारे वाहून नेणे, संवहन आणि रेडिएशनद्वारे इच्छित तापमानावर गरम केले जातात.

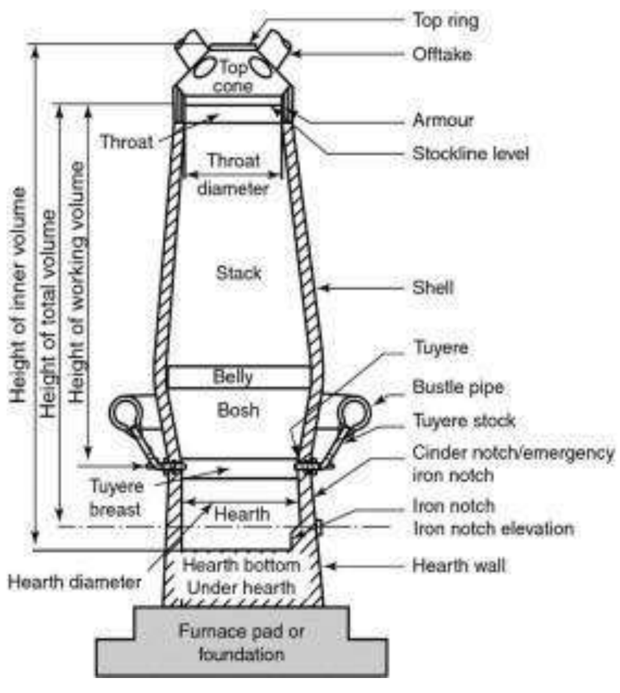
मफल भट्टीचे अनुप्रयोग (Applications of muffle furnace):

१) सोल्डरिंगसाठी (For soldering)
२) ग्लास फ्यूज करण्यासाठी (For fusing glass)
३) मुलामा चढवणे/ कोटिंगसाठी (For enamel coating)
४) ब्रेझिंग (Brazing)
५) प्रयोगशाळांमध्ये आणि अनेक संशोधन सुविधांमध्येही याचा उपयोग होतो.

आकृती ४.३अ

ब) झोत भट्टी (Blast furnace):

झोत भट्टी सुमारे 30 ते 40 मीटर उंच असते. हे स्टीलचे बनलेले असते, आत प्रतिरोधक विटांचे लायनींग असते. शीर्षस्थानी त्यात वायू पारित करण्यासाठी लोडिंग चार्ज आणि आउटलेटची कप आणि शंकूची व्यवस्था असते. तळाशी भट्टीला twyers असतात ज्यातून गरम हवेचा स्फोट उडविला जातो.



झोत भट्टी एक प्रचंड, स्टील स्टॅक आहे ज्यामध्ये रेफ्रेक्ट्री वीट असते. लोह माती, कोक आणि चुनखडीचा दगड वरच्या बाजूला टाकला जातो आणि प्रीहेटेड हवा तळाशी पुरवली जाते. झोत भट्टी

सामान्यतः स्टील व मॅग्नेशियम ऑक्साईड किंवा इतर अपवर्तक सामग्रीने (refractory material) बनविलेल्या विटांनी बनविली जाते. गरम भट्टी या विटा वितळवू शकत नाही. भट्टीचा तळ समांतर पाईप्सच्या मालिकेसह जोडलेला असतो जो ऑक्सिजनने समृद्ध केलेली गरम हवा हस्तांतरित करतो.झोत भट्टी हा एक धातूच्या भट्टीचा असा प्रकार आहे जो औद्योगिक धातू तयार करण्यासाठी वापरला जातो, सामान्यतः लोह, तसेच इतर धातू जसे की शिसे किंवा तांबे.

झोत भट्टीमध्ये, भट्टीच्या वरच्या बाजू मधून सतत इंधन (fuel), धातूक (ore) आणि फ्लक्सचा (flux) पुरवठा केला जातो, तर हवेचा गरम स्फोट (कधीकधी ऑक्सिजन संवर्धनासह) भट्टीच्या खालच्या भागामध्ये ट्वायर्स (twyers) नावाच्या पाईप्सच्या द्वारे ब्लो (blow) केला जातो. सामग्री खालच्या भागामध्ये सरकते आणि भट्टीच्या संपूर्ण भागामध्ये रासायनिक अभिक्रिया (chemical reaction) घडतात.उच्च तापमानात, चुनखडीसारख्या (limestone) फ्लक्सिंग एजंट आणि कार्बनसारख्या (कोक) रिड्यूसिंग एजंटच्या (reducing agent) उपस्थितीत झोत भट्ट्या लोखंडापासून अशुद्ध लोह (pig iron) तयार करतात. लोखंड बनवणाऱ्या झोत भट्ट्या (blast zone) बऱ्याच झोनमध्ये असतात.

जेव्हा चार्ज (charge mixture of coke and flux) भट्टीच्या खाली सरकते तेव्हा रिड्यूसिंग एजंट, कोक (coke) धातूचे रिडक्शन (reduction) करून त्याचे रुपांतर वितळलेल्या धातूमध्ये करते. भट्टीच्या मध्यभागी, फ्लक्स आणि गँग यांचे मिश्रण स्लॅग बनते. स्लॅग उच्च तापमानात वितळते. वितळलेला धातू आणि वितळलेला स्लॅग भट्टीच्या खाली सरकतो. विरघळलेला स्लॅग (slag) वितळलेल्या धातूपेक्षा हलका असतो, वितळलेल्या धातूवर तरंगतो. वितळलेला धातू (molten metal) आणि वितळलेला स्लॅग (slag) भट्टीच्या तळातून जमा (tapped off) केला जातो.

लोहाचे धातू विज्ञान (Metallurgy of Iron)

लोह हा जगातील सर्वाधिक प्रमाणात वापरला जाणारा धातू आहे, वाहन, बांधकाम, यंत्रसामग्री, घरगुती भांडी (domestic utensils) इ. स्टीलच्या स्वरुपात लोह वापरला जातो. ही एक अत्यंत महत्वाची रचनात्मक सामग्री (structural materials) आहे.

लोह धातूची धातूके

धातूकाचे नाव (Name of Ore)	रासायनिक सूत्र (Chemical Formula)
हेमेटाईट (Haematite)	**Fe_2O_3**
मॅग्नेटाइट (Magnetite)	**Fe_3O_4**
लिमोनाइट(Limonite)	**$2Fe_2O_3 . _3 H_2O$**
सिडराइट (Siderite)	**$FeCO_3$**

लोहाच्या मुख्य धातूकाला (ore) हेमेटाइट (Fe_2O_3) म्हणतात. हे लोह ऑक्साईडचे बनलेले खनिज आहे.

वेचा प्रक्रिया: हेमेटाइट (Extraction process: Haematite) खाणीतून काढलेले धातूक सामान्यतः तुकड्यांच्या स्वरुपात असतो. म्हणून धातूकाचे लहान तुकडे केले जातात आणि नंतर बारीक पावडर मिळण्यासाठी बॉल मिलमध्ये टाकले जाते.

धातूकाचे कॉन्सन्ट्रेशन (Concentration of ore):

कॉन्सन्ट्रेशन प्रक्रियेमध्ये पावडर स्वरूपातील धातूका मधील अशुद्धी (earthy impurities) आणि चुंबकीय अशुद्धी (magnetic impurities) काढून टाकली जाते.

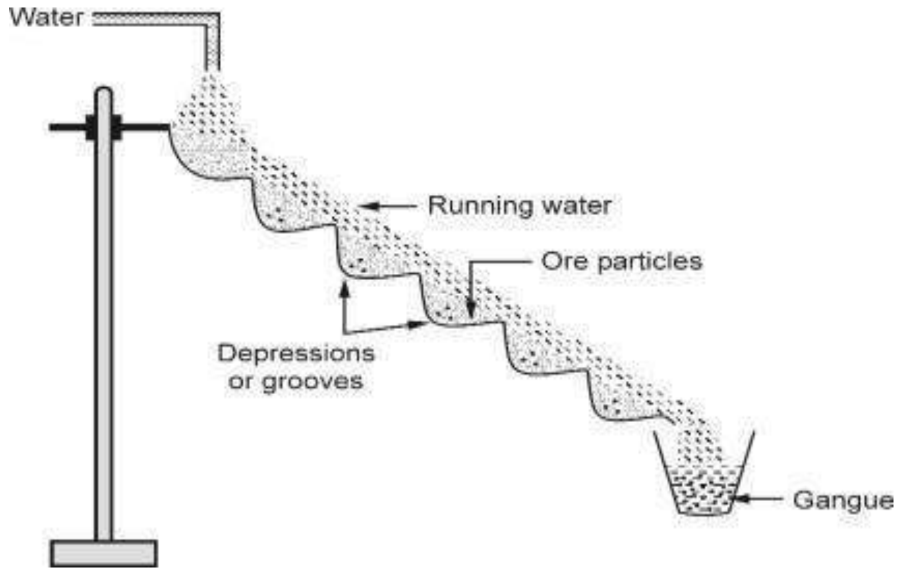
A)भौतिक प्रक्रिया (Physical Process):

1) हायड्रॉलिक वॉशिंग (Hydraulic washing) / ग्रॅव्हिटी सेपरेशन (Gravity separation):

या प्रक्रियेत धातूक वाहत्या पाण्याने (flowing water) धुतले जाते, धातूच्या घटकांद्वारे किंवा त्यांच्या घनतेनुसार अशुद्धी काढून टाकली जाते.

तत्व (Principle): कॉन्सन्ट्रेशन ही प्रक्रिया धातूक आणि गँगच्या (gangue) घनते मधील (विशिष्ट गुरुत्व) फरकांवर आधारित आहे. धातूकाचे विशिष्ट गुरुत्व (specific gravity) गँगपेक्षा जास्त असते. या प्रक्रियेचा उपयोग धातूकामधील कमी वजनाच्या अशुद्धी (light weight impurities) काढून टाकण्यासाठी (remove) केला जातो.

प्रक्रिया (Process):
पावडर स्वरूपातील धातूक उतार असलेल्या प्लॅटफॉर्मवर ठेवला जातो आणि पाण्याचा जोरदार प्रवाह वापरून धुतला जातो. धातूकाचे भारी वजनाचे कण डिप्रेशनमध्ये (depressions) आणि प्लॅटफॉर्मच्या तळाशी बसतात तर हलक्या वजनाचे गँगचे कण (light gangue particles) पाण्यासोबत वाहून जातात. ही प्रक्रिया विद्राव्य आणि अघुलनशील अशुद्धी काढून टाकते.

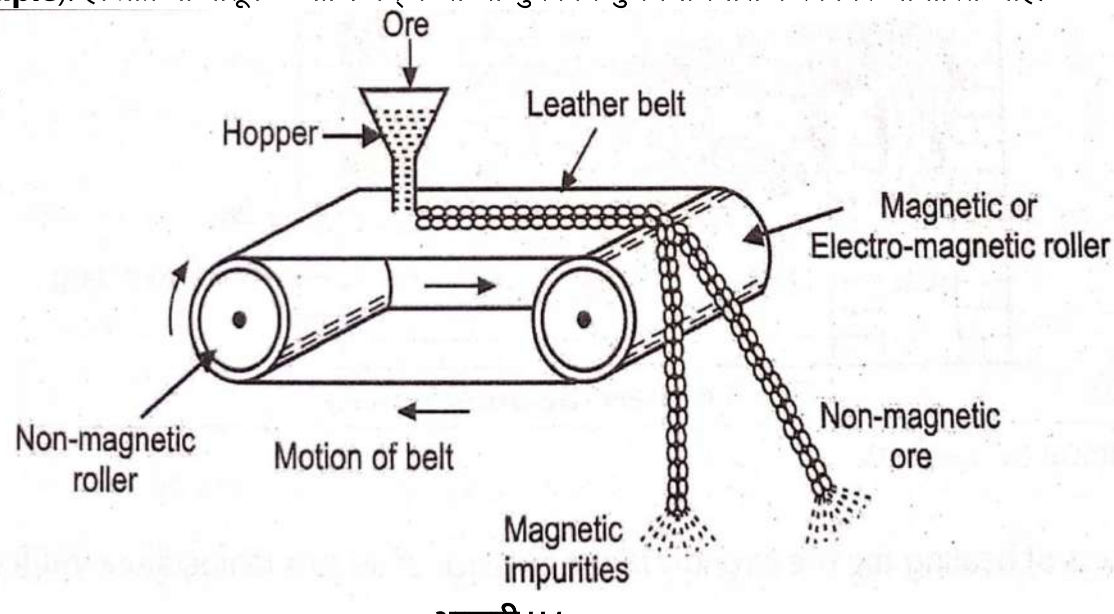


आकृती ४.४

उदाहरण (Example): हेमेटाईट (Haematite) (Fe_2O_3) धातूक चे ग्रॅव्हिटी सेपरेशन प्रक्रियेने कॉन्सन्ट्रेशन

ii) **चुंबकीय पृथक्करण (Magnetic separation):**

तत्व (Principle): ही प्रक्रिया धातूक आणि गँग् कणांच्या चुंबकीय गुणधर्मामधील फरकांवर आधारित आहे.



आकृती ४.५

जेव्हा एक घटक धातूक किंवा गँग् (gangue) चुंबकीय (magnetic) असतो तेव्हा ही पद्धत वापरतात. या प्रक्रियेचा उपयोग चुंबकीय अशुद्धी (magnetic impurities) वेगळे करण्यासाठी केला जातो.

प्रक्रिया (Process):

• चुंबकीय विभाजकात दोन रोलर्सवर फिरणारा रबर किंवा चामड्याचा पट्टा वापरला जातो. त्यातील एक मजबूत चुंबक असतो.

•पावडर स्वरूपातील धातूक विना-चुंबकीय टोकावरून (non-magnetic end) बेल्टवर सोडला जातो.

•धातूकाची पावडर (powdered ore) इलेक्ट्रोमॅग्नेट्सवरुन (electromagnets) जाताना चुंबकीय कण (magnetic particles) (एकतर धातूक किंवा अशुद्धी) दुसऱ्या चुंबकीय टोकाकडे आकर्षित होतात, जो चुंबकीय

(magnetic) असतो तो रोलर जवळ जमा होतो आणि चुंबकीय नसलेला कण (non-magnetic particles) रोलरपासून दूर पडतो. उदाहरणार्थ (example): लोहाचे धातूक (ore of iron) जसे हेमेटाइट (Fe_2O_3) मॅग्नेटाइट (Fe_3O_4) चुंबकीय असतात आणि त्यांचे कॉन्सन्ट्रेशन या पद्धतीने केंद्रित केले जाते.

iii) फ्रोथ फ्लोटेशन प्रक्रिया (Froth flotation process):

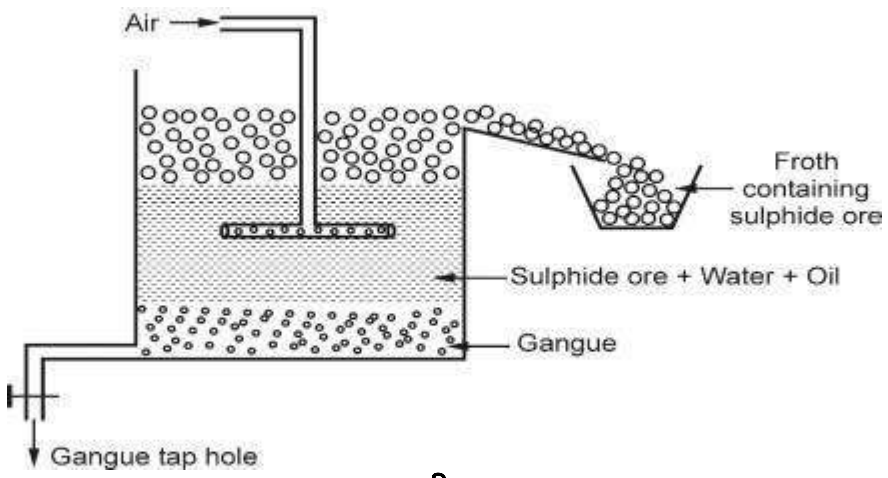
ही प्रक्रिया सहसा लीड सल्फाइड (PbS), झिंक सल्फाइड (ZnS), तांबे सल्फाइड (CuS) सारख्या सल्फाइड धातूंसाठी वापरली जाते.

प्रक्रिया (Process):

•धातूकाची पावडर, पाणी आणि पाइन ऑईल मध्ये मिसळले जाते. हवा ब्लो करत मिश्रण मिसळले जाते.ऑईल फ्रोथ तयार करते.

• फ्रोथ धातूचे कण आकर्षित करते आणि वरच्या बाजूस तरंगते, फ्रोथ आणि सल्फाइड धातूचे कण काढून टाकले जातात आणि गँगचे कण टाकीमध्ये पाण्यासोबत खाली बसतात.

उदाहरणः तांबे, जस्त आणि शिसे यांच्या सल्फाइड धातूक चे कॉन्सन्ट्रेशन या प्रक्रियेने केले जाते.



आकृती ४.६

B) रासायनिक प्रक्रिया (Chemical Process):

i) कॅल्शिनेशन (Calcination): हवेच्या अनुपस्थितीत धातूकाला (त्याच्या वितलांक बिंदूच्या अगदी खाली) जोरदार उष्ण करण्याच्या प्रक्रियेला कॅल्शिनेशन म्हणतात.

या प्रक्रियेमध्ये भट्टीचे दरवाजे बंद ठेवले जातात आणि हवेचा पुरवठा होत नाही.(in absence of air),ही प्रक्रिया पुनर्विभाजी भट्टीमध्ये (reverberatory furnace) केली जाते.

या प्रक्रियेद्वारे सेंद्रीय पदार्थ (organic matter) आणि अस्थिर अशुद्धी (volatile Impurities) काढून टाकल्या जातात, कार्बोनेट धातूक (carbonate ore) आणि हायड्रॉक्साईड धातूकाचे (hydroxide ore) ऑक्साईड धातूकात (oxide ore) रूपांतर होते.

Example

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2\uparrow$$

Calcium Carbonate → Calcium Oxide

$$CuCO_3 . Cu(OH)_2 \longrightarrow 2CuO + H_2O + CO_2\uparrow$$

Malachite → Cupric oxide

कॅल्शिनेशनचे हेतू (Purposes of Calcination):

• कार्बोनेट (carbonate) आणि हायड्रॉक्साईड (hydroxide) धातूकाचे ऑक्साईड (oxide) धातूकात रुपांतर करणे.

• ओलावा काढून टाकण्यासाठी (To remove moisture).

• अस्थिर अशुद्धी दूर करण्यासाठी (To remove volatile impurities).

• रिडक्शन (reduction) सहज होण्यासाठी धातूला सच्छिद (porous) करण्यासाठी केले जाते.

ii) रोस्टींग (roasting): मुबलक हवेच्या उपस्थितीत धातूकाच्या (त्याच्या वितलांक बिंदूच्या अगदी खाली) जोरदार गरम करण्याच्या प्रक्रियेला रोस्टींग म्हणतात. मुबलक हवेसाठी (excess air) भट्टीचे दरवाजे खुले ठेवले जातात. ही प्रक्रिया पुनर्विभाजी भट्टीमध्ये (reverberatory furnace) केली जाते. या प्रक्रियेमध्ये सल्फाइड

(sulphide ore) धातूकाचे ऑक्साईड धातूकात (oxide ore) आणि सल्फेट धातूकात (sulphate ore) रुपांतर होते.

$2CuS + 2O_2 \longrightarrow 2CuSO_4$

$Cu_2S + 3O_2 \longrightarrow 2CuO + 2SO_2 \uparrow$

$2PbS + 3O_2 \longrightarrow 2PbO + 2SO_2 \uparrow$

$PbS + 2O_2 \longrightarrow PbSO_4$

रोस्टींगचे हेतू (purposes of Roasting):

- सल्फाइड (sulphide) धातूकाचे ऑक्साईड (oxide) धातूकात रुपांतर करणे.
- ओलावा काढून टाकण्यासाठी (To remove moisture).
- अस्थिर अशुद्धी दूर करण्यासाठी (To remove volatile impurities).
- रिडक्शन (reduction) सहज होण्यासाठी धातूला सच्छिद्र (porous) करण्यासाठी केले जाते.

२) मेटल ऑक्साईडचे रिडक्शन (Reduction of metal oxide):

रिडक्शन प्रक्रिया म्हणजे रिड्यूसिंग एजंट (reducing agent) वापरून ऑक्साईड धातूका धातू (metal) प्राप्त करण्याची प्रक्रिया.

i) स्मेल्टिंग (Smelting): या प्रक्रियेत कार्बन हा रिड्यूसिंग एजंट (reducing agent) वापरुन हेमेटाईट (Fe_2O_3) धातूका पासून लोह (iron) प्राप्त केले जाते. ही प्रक्रिया झोत भट्टीत (blast furnace) पार पाडली जाते.

झोत भट्टीतील रासायनिक अभिक्रिया (Reactions of Blast furnace):

झोत भट्टीच्या (blast furnace) माथ्यावरुन (top) चार्ज जमा केला जातो, चार्जमध्ये हेमेटाईट धातूक (haematite ore), कोक (coke) आणि चुनखडी (lime) असते. त्याच वेळी भट्टीच्या तळाशी गरम हवा पुरवली जातो. जस जसा चार्ज भट्टीच्या खाली सरकतो तसा रिड्यूरिंग एजेंट कार्बन मोनोऑक्साइड (CO) धातूचे रिडक्शन (reduction) करतो.

रिडक्शन क्षेत्र (Zone of Reduction): (300 °C to 1000 °C)

या झोनमध्ये कार्बन मोनोऑक्साइडद्वारे फेरिक ऑक्साईडचे (Haematite ore) रिडक्शन होते.

रिडक्शन करण्याचे टप्पे पुढील प्रमाणे असतात.

Fe_2O_3	$\longrightarrow$	Fe_3O_4	$\longrightarrow$	FeO	$\longrightarrow$	Fe
Ferric oxide		Ferreso ferric oxide		Ferrous oxide		Iron

- 500 डिग्री सेल्सियस (At 500 °C): फेरिक ऑक्साईड (Fe_2O_3) फेरेसो फेरिक ऑक्साईडमध्ये (Fe_3O_4) रुपांतरित होते.

$3Fe_2O_3 + CO \longrightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 \uparrow$

- 800 डिग्री सेल्सियस (At 800 °C): फेरेसो फेरिक ऑक्साईड (Fe_3O_4) फेरस ऑक्साईडमध्ये (FeO) रुपांतरित होते.

$Fe_3O_4 + CO \longrightarrow 3FeO + CO_2 \uparrow$

- 1000 डिग्री सेल्सियस (At 1000 °C): फेरस ऑक्साईडचे (FeO) रिडक्शन (reduction) होते व लोहामध्ये रुपांतर होते.

$FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2 \uparrow$

- भट्टीच्या उच्च तापमानात चुनखडीचे ($CaCO_3$) विघटन होते व कॅल्शियम ऑक्साईड मध्ये (CaO) रुपांतरित होते.

$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2 \uparrow$

- लोहाच्या (iron metal) एका भागाची कार्बन मोनोऑक्साइडसह (CO) रासायनिक अभिक्रिया होउन फेरिक ऑक्साईड (Fe_2O_3) तयार होते.

$2Fe + 3CO \longrightarrow Fe_2O_3 + 3C$

उष्णता शोषण्याचे क्षेत्र (Zone of heat absorption): (1000 °C to 1300 °C)

- भट्टीच्या तळाशी कार्बन डायऑक्साईडची कार्बनसह अभिक्रिया होऊन कार्बन मोनोऑक्साइड तयार होतो.

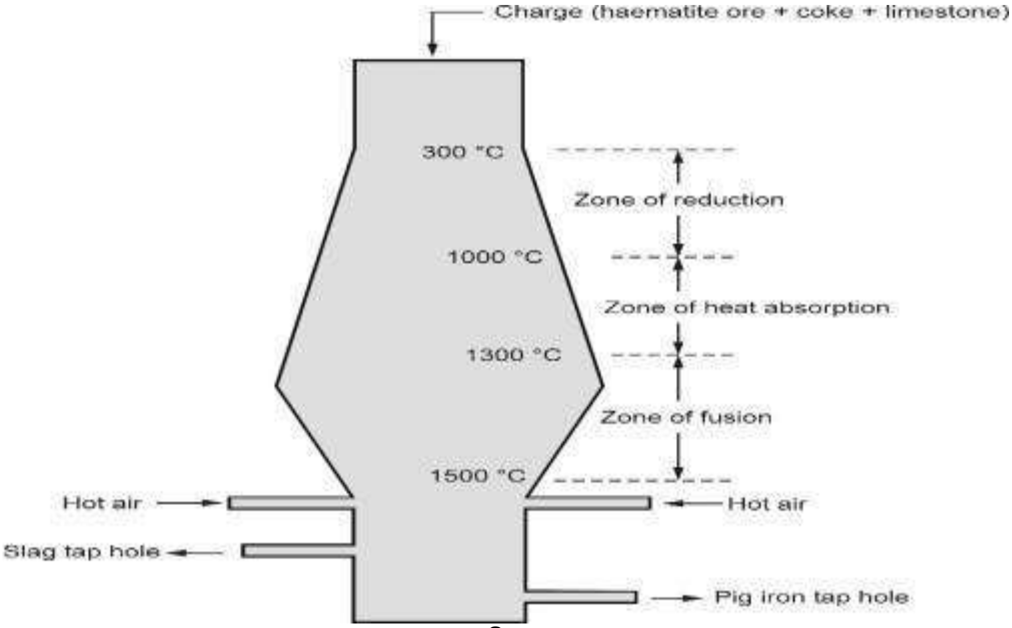
$CO_2 + C \longrightarrow 2CO$

कार्बन मोनोऑक्साइडची स्पंजयुक्त लोहासह अभिक्रिया होउन विघटन होते आणि कार्बन तयार होतो.

- या झोनमध्ये चुना (CaO) आणि सिलिकाची (SiO_2) अभिक्रिया होऊन कॅल्शियम सिलिकेट ($CaSiO_2$) (स्लॅग) तयार होते.

$CaO + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$

(lime) (slag)



आकृती ४.७

• 1300 डिग्री सेल्सियस (At 1300 °C): इतर ऑक्साईडचे कार्बनमुळे रिडक्शन होते.

$SO_2 + 2C \longrightarrow S + 2CO$

$SiO_2 + 2C \longrightarrow Si + 2CO$

$MnO_2 + 2C \longrightarrow Mn + 2CO$

$P_2O_5 + 5C \longrightarrow 2P + 5CO$

•फॉस्फरस, मँगनीज आणि सिलिकॉन (P, Mn, Si) हे घटक स्पंजयुक्त लोहामध्ये शोषले जातात आणि अशुद्धी (impurity) म्हणून कार्य करतात.

•सल्फर, फॉस्फरस, मँगनीज आणि सिलिकॉन च्या उपस्थितीमुळे लोह अशुद्ध (impure) होते.

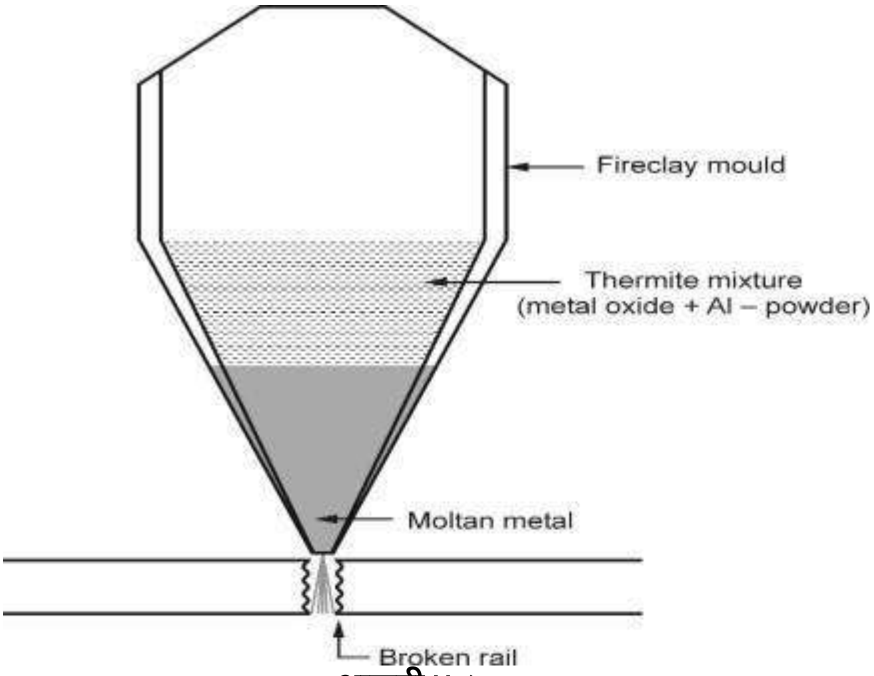
फ्यूजनचे क्षेत्र (Zone of fusion): (1300 °C to 1500 °C)

• या झोनमध्ये अशुद्ध (impure) लोह (iron) वितळते आणि भट्टीमध्ये खाली सरकते. तयार झालेले स्लॅग, कॅल्शियम सिलिकेट ($CaSiO_3$) देखील भट्टीत वितळते आणि खाली सरकते. वितळलेल्या लोखंडापेक्षा स्लॅग वजनाने हलका (light weight) असतो आणि वर पिघळलेल्या (molten) लोखंडावर (iron) तरंगतो.

• वितळलेले लोखंड नळांच्या छिद्रातून (Tap hole) बाहेर काढले जाते. हा लोहाचा सर्वात अशुद्ध (impure) प्रकार आहे आणि त्याला पिग आयर्न म्हणतात. कास्ट आयर्न (Cast iron) तयार करण्यासाठी पिग आयर्नचे (Pig iron) कपोला भट्टीमध्ये (cupola furnace) रिफायनिंग (refining) केले जाते.

झोत भट्टीची उत्पादने खालीलप्रमाणे:

i) पिग आयर्न (Pig Iron)
ii) स्लॅग (Slag)
iii) फ्लू गॅसेस (Flue gases)
iv) ॲल्युमिनोथर्मिक प्रक्रिया (Aluminothermic process):



आकृती ४.८

• जर Cr_2O_2, Fe_2O_3 and Mn_2O, इत्यादी धातूंचे ऑक्साईड खूप स्थिर असतील तर कार्बनऐवजी ॲल्युमिनियम पावडरचा वापर रिड्यूसिंग एजंट म्हणून केला जातो.
•थर्मिट मिश्रण म्हणजे-ॲल्युमिनियम पावडर आणि मेटॅलिक ऑक्साईड यांचे मिश्रण फायर क्ले मोल्डमध्ये ठेवले जाते. इग्निशन पावडरसह लेपित मॅग्नेशियम रिबनद्वारे थर्मिट मिश्रण प्रज्वलित केले जाते. ॲल्युमिनियम ऑक्साईड रिड्यूसिंग एजंट म्हणून काम करते आणि मेटल ऑक्साईडला मेटलमध्ये रुपांतरित करते.
• या प्रक्रियेमध्ये, एका रोटरी मिक्सरमध्ये हेमेटाइट धातूक (Heamatite ore)ॲल्युमिनियम पावडर आणि अल्प प्रमाणात फ्लूरस्पर (fluorspar) आणि चुना (lime) फ्लक्स (flux) मिसळले जाते आणि मग मॅग्नेसाइट रेफ्रेक्टरी विटाने (magnesite refractory bricks) तयार केलेल्या स्टीलच्या कंटेनरमध्ये उतरविले जाते. चुना, फ्लूरस्पर आणि सिलिका वाळूच्या मिश्रणाने बनविलेले चार्ज गोलाकार अवतल खड्ड्यांमध्ये ठेवण्यात येते आणि ॲल्युमिनियम पावडरच्या मिश्रणाने प्रज्वलन करुन रिडक्शन केले जाते. एक्झोथरमिक अभिक्रिया सुमारे 15 ते 30 मिनिटे टिकते आणि तापमान सुमारे 2,400 ° से (4,350^{0}फॅ) पर्यंत पोहोचते.
कॉन्सन्ट्रेट मधील गँग अशुद्धी पिघळलेल्या स्लॅगमध्ये प्रवेश करतात. जेव्हा अभिक्रिया पूर्ण होते, तेव्हा स्लॅग वेगळा केला जातो आणि पात्र उचलले जाते, ज्यायोगे धातू वाळूमध्ये घट्ट होते.

३)धातूचे शुद्धीकरण :

रिफायनिंग म्हणजे धातू शुद्धीकरण प्रक्रिया.

i) लिक्वेशन (Liquation):

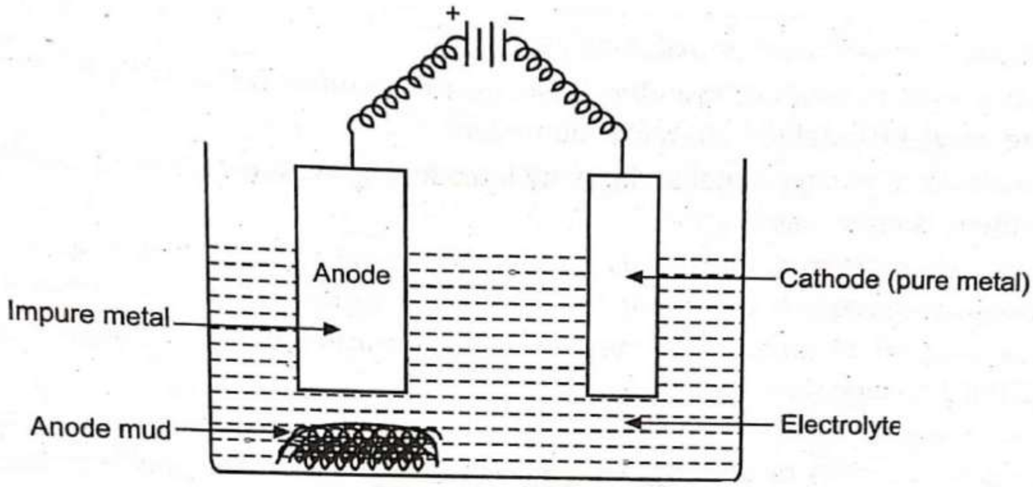
तुलनेने कमी वितलांक बिंदू असलेल्या धातूंसाठी ही पद्धत विस्तृतपणे वापरली जाते. उदाहरण (Example): शिसे (Pb), टिन (Sn), बिस्मथ (Bi) लिक्वेशन द्वारे शुद्ध केले जातात.
अशुद्ध धातूची भुकटी फर्नेसच्या स्लोपिंग हर्थवर ठेवली जाते. धातूच्या वितलांक बिंदूच्या अगदी वर तापमान वाढवण्यासाठी इंधनाच्या सहाय्याने स्लोपिंग हर्थ गरम केले जाते. कमी वितलांक बिंदू असणारा धातू सहजतेने वितळतो आणि अशुद्धीला मागे ठेवून भट्टीच्या खाली सरकतो.

ii) इलेक्ट्रोलायटिक रिफायनिंग

विद्‌युत प्रवाहाच्या (electric current) मदतीने अतिरिक्त शुद्ध धातू (Pure Metal) मिळविण्यासाठी धातूच्या शुध्दीकरणाची प्रक्रिया इलेक्ट्रो रिफायनिंग म्हणून ओळखली जाते.

प्रक्रिया (Process):

•अशुद्ध तांबे (Blister copper) चे मोठे ब्लॉक इलेक्ट्रोलाइटिक सेल मध्ये ॲनोड बनविले जातात. शुद्ध तांबे धातूची पातळ पत्रके कॅथोड बनविले जातात.
•कॉपर सल्फेट मध्ये थोड्या प्रमाणात सल्फ्युरीक आम्ल एकत्रकरून द्रावण बनवले जाते जे इलेक्ट्रोलाइटचे काम करते.
•इलेक्ट्रोलायसीस (electrolysis) नंतर तांबे ॲनोड मधून विरघळते आणि कॅथोड वर शुद्ध धातू (pure copper) जमा होतो.
• मौल्यवान अशुद्‌धी सेलच्या तळाशी बसतात ज्याला ॲनोड mud म्हणतात.



आआआआआअ

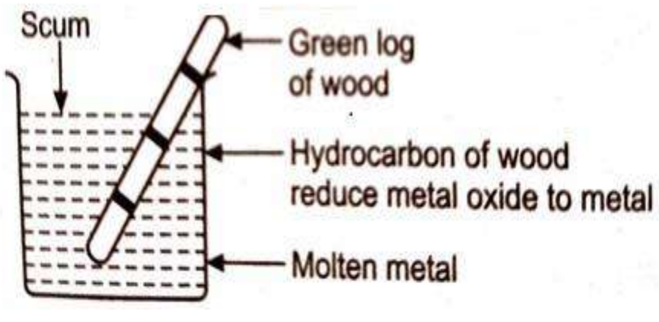
iii) ऊर्ध्वपातन (Distillation):

ही पद्धत धातूंच्या शुद्धीकरणासाठी वापरली जाते जे धातू अस्थिर (volatile) असतात. अशुद्ध धातू (impure metal) एका रिटॉर्टमध्ये (Retorn) त्याच्या वितलांक बिंदूच्या (melting point) वर गरम केला जातो; शुद्ध धातूची वाफ स्वतंत्रपणे गोळा केली जाते आणि अशुद्धी (impurities) मागे राहतात. वाफेला थंड करून शुद्ध धातू (pure metal) मिळवला जातो. उदाहरण (Example): जस्त (Zinc), पारा (mercury).

iv) पोलिंग (Poling):

• जेव्हा धातूमध्ये ऑक्साईड अशुद्धता असते तेव्हा ही प्रक्रिया वापरली जाते.
• या प्रक्रियेत, अशुद्ध धातू वितळवला जातो आणि ओल्या लाकडाच्या (हिरव्या) लॉगने वितळलेला धातू ढवळला जातो.
• ओल्या लाकडाच्या लॉग मधून तयार झालेले वायू संबंधित धातूमधिल ऑक्साईडची अशुद्धता कमी करतात. ढवळत असताना, वायू पिघळलेल्या धातूद्वारे शोषले जातात जे सहजपणे अशुद्धींचे ऑक्सीकरण (oxidization) करतात. ऑक्सिडाईज (oxidized) अशुद्धी (impurity) एकतर वाफेसोबत निघून जातात किंवा ती वितळलेल्या धातूवर (molten metal) साय (Scum)तयार करतात आणि तयार झालेली साय (Scum) काढून टाकली जाते.

उदाहरण (Example): क्यूप्रस ऑक्साईड (cuprous oxide) आणि आर्सेनिकची (arsenic) अशुद्धता असलेले ब्लिस्टर तांबे (blister copper) पोलिंग (poling) पद्धतीने शुद्ध (purify) केले जाते.



आकृती ४.९

तांब्याचे धातूशास्त्र (Metallurgy of Copper)

तांबे तांबूस तपकिरी रंगाचा मऊ, मॅलिएबल (malleable) आणि डक्टाईल (ductile) रासायनिक घटक आहे. यात उच्च औष्णिक (thermal conductivity) आणि विद्युत वाहकता (electrical conductivity) असते म्हणूनच हे विविध धातूंचे मिश्रण (alloy) बनवण्यासाठी बिल्डिंग मटेरिअल (building material) म्हणून वापरले जाते.

तांब्याची धातूके (Ores of Copper):

धातूकाचे नाव (Name of Ore)	रासायनिक सूत्र (Chemical Formula)
क्यूप्राइट किंवा रुबी तांबे (Cuprite or Ruby Copper)	Cu_2O
कॉपर ग्लान्स (Copper glance)	Cu_2S
मॅलाचाईट (Malachite)	$CuCO_3.Cu(OH)_2$
कॉपर पायराइट (Copper pyrite)	$CuFeS_2$

तांबे वेचा प्रक्रिया (Extraction Process of Copper)

तांबे सल्फाइड धातूक , तांबे पायराइट ($CuFeS_2$) पासून मोठ्या प्रमाणात तांबे काढले जाते. खालील पद्धती वापरून वापरून तांबे पायराइट पासून तांबे काढले जाते.

१. कॉन्सन्ट्रेशन (Concentration) पावडर तांबे पायरेट धातूकाचे फिजिकल कॉन्सन्ट्रेशन फ्रॉथ फ्लोटेशन प्रक्रियेद्वारे केले जाते.

रोस्टिंग (Roasting): हवेच्या उपस्थितीत धातूकला (त्याच्या वितलांक बिंदूच्या अगदी खाली) रिव्हबरेटरी फर्नेस मध्ये भाजण्याच्या प्रक्रियेला रोस्टिंग म्हणतात. रिव्हबरेटरी फर्नेसमध्ये खालील अभिक्रिया होतात.

a) कॉपर पायराइटचे ऑक्सिडेशन होउन त्याचे रुपांतर तांबे सल्फाइड आणि फेरस सल्फाइड मध्ये होते.

$2CuFeS_2 + O_2 \rightarrow Cu_2S + 2FeS + SO_2\uparrow$

b) कॉपर सल्फाइड आणि फेरस सल्फाइड चे ऑक्सिडेशन होउन पुढे त्यांचे संबंधित ऑक्साईडमध्ये रुपांतर होते.

$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2\uparrow$

$2FeS + 3O_2 \rightarrow 2FeO + SO_2\uparrow$

c) अशुद्धी त्यांच्या ऑक्साईडमध्ये ऑक्सिडाइझ होतात.

$S + O_2 \rightarrow SO_2\uparrow$

$4As + 3O_2 \rightarrow 2As_2O_3\uparrow$

$4Sb + 3O_2 \rightarrow 2Sb_2O_3\uparrow$

२. रिडक्शन (Reduction):

स्मेलटिंग (Smelting): झोत भट्टीमध्ये स्मेलटिंग केले जाते. रोस्टेड धातूक ज्यामध्ये क्यूप्रस सल्फाइड आणि फेरस सल्फाइड असते, त्यामध्ये वाळू आणि कोक मिसळले जाते, त्याला झोत भट्टीत टाकले जाते आणि त्याच वेळी भट्टीच्या तळाशी गरम पुरवली जाते.

• फेरस ऑक्साईड (FeO) तयार करण्यासाठी फेरस सल्फाईडचे (FeS)ऑक्सीकरण (oxidation) केले जाते.

$2FeS + 3O_2 \rightarrow 2FeO + 2SO_2\uparrow$

•फेरस ऑक्साईडची वाळूशी (SiO_2) अभिक्रिया होउन स्लॅग (slag) तयार होतो.

$FeO + SiO_2 \rightarrow FeSiO_3$

• क्यूप्रस ऑक्साईड तयार करण्यासाठी क्यूप्रस सल्फाइडचे ऑक्सिडायझेशन केले जाते.

$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2\uparrow$

• क्यूप्रस ऑक्साईड फेरस सल्फाइडसह एकत्रित येऊन फेरस ऑक्साईड तयार होते.

$Cu_2O + FeS \rightarrow Cu_2S + FeO$

फेरस ऑक्साईड (FeO) वाळूच्या सहाय्याने स्लॅग (slag) तयार करते .

$FeO + SiO_2 \rightarrow FeSiO_3$

• क्यूप्रस सल्फाइड (Cu_2S) आणि आणि थोड्या प्रमाणात फेरस सल्फाइड (FeS) असलेल्या मोल्टन मास ला मॅटे (matte)असे म्हणतात. मॅटे नंतर खालच्या आउटलेट मधून बाहेर काढले जाते.

३. बेस्मेरायझेशन (Bessemerization):

क्यूप्रस सल्फाइड (Cu_2S) आणि थोडे फेरस सल्फाइड (FeS) असलेले पिघळलेले मॅटे बेसेमर कन्व्हर्टरमध्ये दाखल केले जाते.बेसेमर कन्व्हर्टर ही एक नाशपातीच्या आकाराची भट्टी असते जीला ट्वॉयर्स (twyers)असतात, ज्याद्वारे वाळू आणि गरम हवा पुरविली जाते.

बेसेमर कन्व्हर्टरमधील रासायनिक अभिक्रिया :

• फेरस सल्फाइडचे (FeS) ऑक्सिडायझेशन होते आणि फेरस ऑक्साईड (FeO) तयार होते.

$2FeS + 3O_2 \rightarrow 2FeO + 2SO_2\uparrow$

• फेरस ऑक्साईड (FeO) वाळूसह (SiO2) एकत्रित येवून स्लॅग (slag) तयार होते.

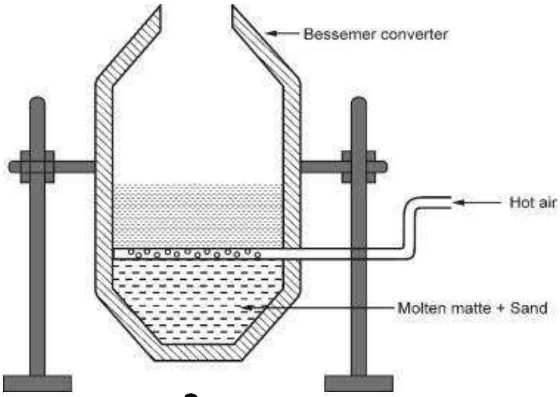
$FeO + SiO_2 \rightarrow FeSiO_3$
गरम हवेचा ब्लो (Blast of hot air) क्यूप्रस सल्फाइडला (Cu_2S) अंशतः (partly) क्यूप्रस ऑक्साईडमध्ये (Cu_2O) रूपांतरित करते.

$2Cu_2S + 3O_2 \longrightarrow 2Cu_2O + 2SO_2 \uparrow$

• क्यूप्रस ऑक्साईडची उर्वरित क्यूप्रस सल्फाइडसह अभिक्रिया होउन वितळलेले तांबे मिळते.

$2Cu_2O + Cu_2S \longrightarrow 6Cu + SO_2 \uparrow$

उत्पादित तांब्याला ब्लिस्टर कॉपर (अशुद्ध तांबे) असे म्हणतात कारण तांब्याच्या घनतेमुळे विरघळलेला सल्फर डाय ऑक्साईड वायू बाहेर पडताना त्याच्या पृष्ठभागावर फोड निर्माण करतात.



आकृती ४.१०

बेसेमर कन्व्हर्टरमधून प्राप्त झालेले वितळलेले तांबे (molten copper) नंतर वाळूच्या साच्यात (sand mould) ओतले जाते आणि थंड होऊ दिले जाते. गार झाल्यावर तांब्याच्या घनतेमुळे विरघळलेला सल्फर डाय ऑक्साईड वायू बाहेर पडताना त्याच्या पृष्ठभागावर फोड (blister) निर्माण करतात. पृष्ठभागावर फोड असल्याने त्याला ब्लिस्टर कॉपर (अशुद्ध तांबे) असे म्हणतात. ते 96 ते 98% शुद्ध (pure) असते.

४. तांब्याचे रिफायनिंग (Refining of copper):

बेसेमर कन्व्हर्टरमधून (Bessemer converter) प्राप्त झालेला ब्लिस्टर कॉपर (अशुद्ध तांबे) (blister copper) 96-98% शुद्ध असते.यात Fe (iron), As (arsenic), Zn (Zinc), Pb (Lead), Ag (Silver), Au (gold) ची 2 ते 4% अशुद्धता असते. परिष्करण (refining) प्रक्रियेद्वारे (process) या अशुद्धी (impurities) काढल्या जातात.

i) पोलिंग (Poling): ब्लिस्टर कॉपर (अशुद्ध तांबे) पोलिंग पद्धतीने शुद्ध केला जातो.

• या प्रक्रियेत, अशुद्ध धातू वितळवला जातो आणि ओल्या लाकडाच्या (हिरव्या) लॉगने वितळलेला धातू ढवळला जातो.

• ओल्या लाकडाच्या लॉग मधून तयार झालेले वायू सबंधित धातूमधील ऑक्साईडची अशुद्धता कमी करतात.

• ढवळत असताना, वायू पिघळलेल्या धातूद्वारे शोषले जातात जे सहजपणे अशुद्धींचे ऑक्सीकरण (oxidization) करतात.

ii) तांब्याचे इलेक्ट्रोलाइटिक रिफायनिंग (Electro-refining of copper): ही विद्युतीय प्रवाहाद्वारे (electric current) अशुद्ध धातूपासून (impure metal) अतिरिक्त शुद्ध धातू (extra pure metal) मिळविण्याची प्रक्रिया आहे.

- . ब्लिस्टर कॉपर (अशुद्ध तांबे) मध्ये 1 ते 3% अशुद्धता (impurity) Zn (Zinc), Fe (Iron) सारख्या सक्रिय धातूची (active metals) आणि Ag (Silver), Au (Gold), Pt (Platinum) सारख्या निष्क्रिय धातूंची असते.

प्रक्रिया (Process):

अशुद्ध तांबे (Blister copper) चे मोठे ब्लॉक इलेक्ट्रोलाइटिक सेलमध्ये ॲनोड (anode) बनविले जातात.
शुद्ध तांबे धातूची पातळ पत्रके कॅथोड्स बनविले जातात.
तांबे सल्फेट मध्ये थोड्या प्रमाणात सल्फुरिक आम्ल मिसळून करून द्रावण बनवले जाते जे इलेक्ट्रोलाइटचे काम करते.
इलेक्ट्रोलिसीस (electrolysis) नंतर तांबे एनोडमधून विरघळते आणि कॅथोडवर शुद्ध धातू (pure copper) जमा होतो
मौल्यवान अशुद्धी सेलच्या तळाशी बसतात ज्याला ॲनोड मड (चिखल) म्हणतात.मड पासून मौल्यवान धातू मिळवले जातात.

रासायनिक अभिक्रिया (Chemical reactions):

Cu_2^+ + $2e^-$ ⟶ Cu | Cathode Reaction

Cu ⟶ Cu_2^+ + $2e^-$ ↓Anode Reaction

लोह आणि तांब्याचे गुणधर्म (Properties of Iron and Copper):

१. कडकपणा (Hardness): कायमस्वरुपी बदलाचा प्रतिकार (resist permanent shape change) करणे किंवा झीज व घर्षण यांचा प्रतिकार (resist wear and abrasion) करणे.

२. तन्य शक्ती (Tensile strength): ताणल्याशिवाय भार सहन करण्याची धातूची क्षमता (load bearing capacity).

३. कठिणपणा (Toughness): धक्के किंवा कंपनांचा प्रतिकार (resist shocks or vibrations) करण्याची धातूची क्षमता.

४. मॅलिअॅबिलीटी (Malleability): धातूची तोडणी केल्याशिवाय पातळ पत्रकांमध्ये (thin sheets) रुपांतर करण्याच्या क्षमतेला मॅलिअॅबिलीटी म्हणतात.

५. डक्टिलिटी (Ductility): धातूची तोडणी केल्याशिवाय पातळ तारेमध्ये (wire) रुपांतर करण्याच्या क्षमतेला डक्टिलिटी म्हणतात.

६. रीफॅक्टोरिनेस (Refractoriness): रीफॅक्टोरिनेस धातूची क्षमता (ability) आहे जी थर्मल शॉकला प्रतिकार करते म्हणजेच -वारंवार तापविणे आणि धातूचे थंडपणामुळे विस्तार (expansion), ब्रेकिंग (breaking) आणि क्राक्किंग (cracking) होत नाहीत.

७. फटिग प्रतिकार (Fatigue resistance) : जेव्हा एखादी सामग्री वारंवार लोड (repeated loading) आणि अनलोडिगच्या (unloading) अधीन केली जाते तेव्हा फटिग येतो ज्यामुळे कमकुवतपणा (weakening) आणि स्ट्रक्चरल नुकसान (structural damage) होते. फटिग प्रतिकार म्हणजे वारंवार लागू केलेल्या भारांमुळे कमकुवत आणि स्ट्रक्चरल हानीचा प्रतिकार करण्याची धातूची क्षमता.

८. विशिष्ट गुरुत्व (Specific gravity): धातूची घनता जास्त असते आणि ते खूप वजनदार असतात. इरिडियम (Iridium) आणि ऑस्मियम (Osmium) यांची सर्वाधिक घनता असते तर लिथियमची (Lithium) घनता सर्वात कमी असते.

९. विशिष्ट उष्णता (Specific heat): विशिष्ट उष्णता म्हणजे तापमान प्रति एक डिग्री सेल्सियस प्रतिकार करण्यासाठी प्रति युनिट वस्तुमान उष्णतेची उर्जा.

१०.ब्रेझिंग (Brazing): फिलर मेटलचा (filler metal) वापर संयुक्त करून दोन किंवा अधिक धातूमध्ये सामील होण्याची ही प्रक्रिया आहे. कमी वितळणारे फिलर मेटल कॅपिलरी अॅक्शनद्वारे (capillary action) गॅपमध्ये (gap) वाहते.

११. कास्टॅबिलिटी (Castability): कास्टिंग (casting) ही पिघळलेल्या धातूला मोल्डमध्ये (mould) घालून धातूला इच्छित आकार देण्याची प्रक्रिया असून त्यानंतर ते घन (solid) बनते.

कास्टिंग धातूची चांगली तरलता (fluidity) असणे आवश्यक असते, जेणेकरून ते कास्टिंग मोल्डची पोकळी भरुन गेटिंग सिस्टममधून (gating system) वाहू शकेल.

४.५ संमिश्र (ALLOYS):

परिचय (Introduction): दीर्घ काळापासून मानव घरगुती (domestic) आणि औद्योगिक गरजा (industrial needs) पूर्ण करण्यासाठी धातूंचा वापर करीत आहे. परंतु धातूंच्या काही मर्यादा आहेत आणि त्यामध्ये काही मर्यादित वैशिष्ट्ये (limited characteristics) आहेत.

उदाहरण (Example): अॅल्युमिनियम, जस्त सारखी धातू कठोर (hard) व मजबूत (strong) नसतात, वातावरणातील ऑक्सिजनमुळे लोह गंजित (rust) होतो आणि तांब्याच्या पृष्ठभागावर हिरव्या रंगाचा लेअर येतो.

जवळजवळ सर्व शुद्ध धातू (pure metals) मऊ (soft) असतात, कमकुवत असतात, वायुमंडलीय परिस्थितीमुळे (atmospheric conditions) सहज वाकतात (easily bend) आणि गंजतात. धातूंचे गुणधर्म सुधारण्यासाठी, मिश्र धातू (alloy) तयार केले जातात. धातूंचे मिश्रण त्यांच्या वितळलेल्या अवस्थेत तयार केले जाते. नंतर वितळलेले मिश्रण (molten metal) साच्याच्या इच्छित आकारात (mould) ओतले जाते आणि धातूंचे मिश्रण घट्ट (solidify) केले जाते. उदाहरण (Example) पितळ (Brass), कांस्य (Bronze), ड्यूरालुमिन (Duralumin), इत्यादी मिश्र धातुंमध्ये धातू (metals) आणि कार्बन (Carbon), बोरॉन (Boron), सल्फर (Sulphur) इत्यादि सारखे अधातू असू शकतात. उदाहरण (Example): स्टील अलॉय (Steel alloy) हे आयर्न मेटल (Fe) आणि नॉन- मेटल कार्बन (C) चे संयोजन आहे. धातूंचे भिन्न

संयोजन (Different combinations) विविध प्रकारचे मिश्र धातू (alloy) तयार करू शकते . जो भौतिक (physical) आणि रासायनिक गुणधर्म (chemical properties) दर्शवितात.

व्याख्या (Definition): दोन किंवा अधिक घटकांचे एकसंध (homogeneous) मिश्रण ज्यापैकी एक धातूचा असावा.

मिश्र धातुंचा वापर विविध प्रकारच्या अनुप्रयोगांमध्ये केला जातो. काही बाबतीत धातूच्या संयोगाने मिश्रधातूच्या निर्मितीमुळे सामग्रीची किंमत कमी होऊ शकते, घटक धातूंना आवश्यक गुणधर्म जसे की कडकपणा, गंज प्रतिकार, तन्य शक्ती इ.

उदा. लोखंडासह कार्बनचे मिश्रण स्टील तयार करते, जे लोखंडापेक्षा अधिक मजबूत होते.

बेस मेटल (Base metal): बेस मेटल हा धातुंच्या मिश्रणातला मूलभूत धातू घटक असतो. बेस मेटल सोने , चांदी, प्लॅटिनम सारख्या उदात्त धातूंपेक्षा (noble metal) इतर धातू असतो.

उदाहरण (Example): कांस्य (Cu + Zn) चा बेस मेटल तांबे आहे.

अलॉय घटक (Alloying elements): ॲल्युमिनियम (Al), बोरॉन (B), क्रोमियम (Cr), कोबाल्ट (Co), तांबे (Cu), मँगनीज (Mn), निकेल (Ni), सिलिकॉन (Si)), टायटॅनियम (TI), टंगस्टन (W), व्हॅनिडियम (V), धातूंचे अलॉय तयार करण्यासाठी बेस मेटलमध्ये त्यांना आवश्यक प्रमाणात (proper proportion) जोडले जाते. धातूंचे मिश्रण करण्याच्या घटकांची जोडणी कडकपणा (hardness), सामर्थ्य (strength), गंज प्रतिकार (corrosion resistance) इत्यादी विशेष गुणधर्म धातूला देते.

हेतू (Purposes of making alloys): शुद्ध धातूंमध्ये काही महत्त्वपूर्ण भौतिक आणि धातूंचे गुणधर्म असतात जसे की चमक (metallic luster), वितलांक बिंदू (melting point), उत्कलन बिंदू (boiling point), औष्णिक आणि विद्युत वाहकता (Thermal and electrical conductivity). धातूंचे अन्य गुणधर्म आवश्यक प्रमाणात किंवा नसलेले धातूं गुणधर्म वाढवून, गुणधर्म सुधारण्यासाठी (modify properties) करण्यासाठी अलॉय तयार केले जातात.

अलॉय तयार करण्याचे मुख्य उद्दीष्टे:

- धातूचा कडकपणा वाढविण्यासाठी
- वितलांक बिंदू कमी करण्यासाठी
- भार पत्करण्याची क्षमता वाढविण्यासाठी
- गंज प्रतिरोध वाढविण्यासाठी
- रंग सुधारित करण्यासाठी
- चांगली कास्टिंग मिळविण्यासाठी
- रासायनिक क्रियाशीलता सुधारित करण्यासाठी

- **धातूचा कडकपणा वाढविण्यासाठी (Increase the hardness of metal):**

शुद्ध धातू सामान्यत: मऊ (soft) असतात. दुसऱ्या धातूची (metal) किंवा अधातूची (non metal) जोड देऊन धातूचा कडकपणा (hardness) वाढवता येतो. धातूंचे अलॉय त्यांच्या घटकांपेक्षा (component) कडक (hard) असतात. उदाहरण (Example): कडकपणा वाढविण्यासाठी सोन्याचा तांब्यासह अलॉय केला जातो.

- **वितलांक बिंदू कमी करण्यासाठी (Lower the melting point):** शुद्ध धातूचा वितलांक बिंदू (melting point) खूप उच्च (high) असतो. जेव्हा शुद्ध धातूचे दुसऱ्या धातू किंवा अधातू सोबत मिश्रण केले जाते तेव्हा वितलांक बिंदू (melting point) कमी होते, कारण मिश्र धातू घटक अशुद्धतेचे (impurity) कार्य करतात ज्यामुळे धातूंचे मिश्रण वितळण्याचे प्रमाण कमी होते. हे कमी वितलांक बिंदू (low melting) असलेले अलॉय (alloy) तयार करण्यासाठी वापरतात.

उदाहरण (Example): वूड्स मेटल हा बिस्मथ, लीड, कॅडमियम आणि कथील यांचा अलॉय असतो, त्याचा वितलांक बिंदू 71 डिग्री सेल्सियस असतो.

- **तन्यता वाढविण्यासाठी (Increase tensile strength):** तन्यता वाढविण्यासाठी धातूंचे रुपांतर अलॉयमध्ये करतात.

उदाहरण (Example): कार्बनची जोड दिल्याने शुद्ध लोहाची तन्यता वाढते.

- **रंग सुधारित करण्यासाठी (Modify colour):**

रंग सुधारित करण्यासाठी शुद्ध धातूचा रंग इतर धातू किंवा अधातूंचे मिश्रण करून सुधारित केला जाऊ शकतो. अशा प्रकारे अलॉयचा रंग बेस मेटलच्या रंगापेक्षा भिन्न केला जाऊ शकतो.

उदाहरण (Example): पितळ (brass) हा अलॉय तांबे आणि जस्त (Zinc) एकत्रित करून बनवतात. तांबे तांबूस तपकिरी रंगाचे असते, झिंक निळसर रंगाचे असते यांचा अलॉय पितळ सोनेरी पिवळ्या रंगाचे असतो.

• **गंज प्रतिकार वाढविण्यासाठी (Increase corrosion resistance):**
शुद्ध धातू रासायनिकदृष्ट्या प्रतिक्रियात्मक (chemically reactive) असतात आणि वातावरणीय परिस्थितीमुळे (environmental condition) गंजतात. धातूचे अलॉयमध्ये रुपांतर केल्याने गंजण्याला प्रतिकार (corrosion resistance) होतो. उदाहरण (Example): स्टेनलेस स्टील (लोह, क्रोमियम, निकेल आणि कार्बनचा अलॉय) तो गंजण्याला प्रतिकार करतो.

• **चांगली कास्टेबिलिटी मिळविण्यासाठी (Get good Castability):** जेव्हा मोल्टन मेटल मोल्ड मध्ये ओतले जाते तेव्हा सॉलिडिफीकेशन होऊन ते कॉन्ट्रॅक्ट होते. चांगली कास्टेबिलिटी प्राप्त करण्यासाठी धातूंचे इतर घटकांशी मिश्रण केले जाणे आवश्यक असते.
उदाहरण (Example): कांस्य आणि ड्यूरल्युमिनमध्ये चांगली कास्टेबिलिटी असते.

• **रासायनिक क्रियाशीलता सुधारण्यासाठी (Modify chemical reactivity):**
इतर घटकांसह धातूची रासायनिक क्रियाशीलता (chemical reactivity) बदलली जाऊ शकते.
उदाहरण (Example): सोडियम-अमलगम (Na Hg) मध्ये सोडियम आणि पारा असतो, तो अलॉय सोडियम धातूपेक्षा कमी प्रतिक्रियाशील असतो.

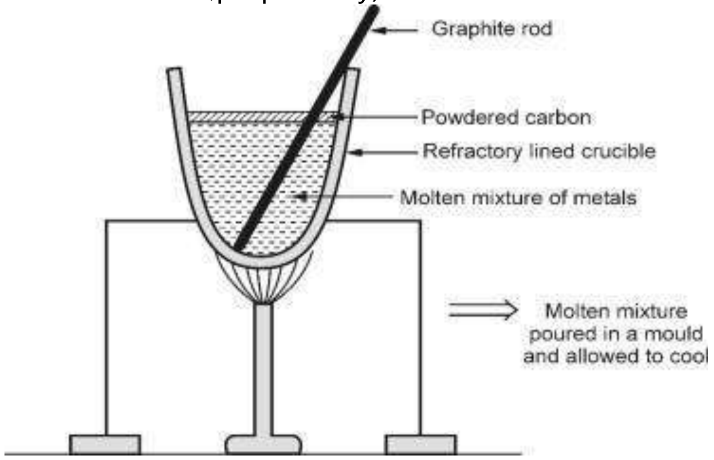
४.६ अलॉय तयार करण्याच्या पद्धती (Preparation Methods of Alloys)

अलॉय सामान्यतः खालील पद्धतींनी तयार केले जातात,

- फ्यूजन पद्धत (Fusion method)
- इलेक्ट्रोडीपोझीशन पद्धत (Electro deposition method)
- रीडक्शन पद्धत (Reduction method)
- कॉमप्रेशन पद्धत (Compression method)

A. फ्यूजन पद्धत (Fusion method)

या पद्धतीत अपवर्तक अस्तर असलेल्या क्रूसिबलमध्ये (refractory lined crucible) अलॉयिंग घटक निश्चित टक्केवारी नुसार (in proper proportion) फ्यूज (fuse) केली जातात. उच्च वितलांक बिंदू असलेला धातू (high melting metal) प्रथम रेफ्रेक्टरी क्रूसीबलमध्ये (crucible) वितळविला (melt) जातो आणि यामध्ये कमी वितलांक (low melting metal) बिंदू असलेला घटक जोडला जातो. मिश्रण ग्राफाइट रॉड वापरुन चांगले मिसळले जाते. वितळलेले मिश्रण वायुमंडलीय ऑक्सिजनसह (environmental oxygen) सहज प्रतिक्रिया देते आणि ऑक्सिडेशन (oxidation) होते. ऑक्सिडेशन टाळण्यासाठी, मिश्रण कार्बन पावडरने (carbon powder) झाकले (covered) जाते. त्यानंतर वितळलेल्या मिश्रणाला थंड करुन आवश्यक असलेला अलॉय (proper alloy) मिळविला जातो.



आकृती ४.११
फ्युजन पद्धत (Fusion Method)

उदाहरणार्थ (For example):

• पितळ तयार करणे (Preparation of Brass):
तांबे (copper) आणि जस्तच्या (Zinc) मिश्रणास पितळ (Brass) म्हणतात. ज्यामध्ये प्रथम तांबे (melting point 1089 °C) वितळवले जाते आणि त्यानंतर या वितळलेल्या तांबे मध्ये जस्त (Zinc) (Melting point 419 °C) आवश्यक प्रमाणात (proper proportion) जोडले जाते. त्यानंतर वितळलेल्या मिश्रणाला ग्राफाइट रॉडने ढवळत थंड करुन आवश्यक असलेला अलॉय (Brass alloy) मिळविला जातो.

• कांस्य तयार करणे (Preparation of Bronze):
तांबे (copper) आणि कथीलच्या (Tin) मिश्रणास कांस्य (Bronze) म्हणतात. ज्यामध्ये प्रथम तांबे (melting point 1089 °C) वितळवले जाते आणि त्यानंतर या वितळलेल्या तांबे मध्ये कथील (Sn) (Melting point 231 °C) आवश्यक प्रमाणात (proper proportion) जोडले जाते. त्यानंतर वितळलेल्या मिश्रणाला ग्रेफाइट रॉडने ढवळत थंड करुन आवश्यक असलेला अलॉय (Bronze alloy) मिळविला जातो.

B. कॉमप्रेशन पद्धत (Compression method):
दोन किंवा अधिक धातूच्या पावडरचे मिश्रण उच्च दाब आणि तापमानावर संकुचित (compressed at high pressure and temperature) केले जाते. ऑपरेटिंग तापमान धातूंच्या वितलांक बिंदूपेक्षा (melting point) कमी ठेवले जाते. धातूची पूड वितळून (melt) घट्टपणे एकमेकांमध्ये विलीन (firmly welded) होउन अलॉय बनते.

उदाहरणार्थ (For example):
• या पद्धतीने शिसे (lead) व कथीलचे (Tin) सोल्डर अलॉय मिळतात.
• बिस्मथ (Bismuth), शिसे (lead), कॅडमियम (Cadmium) आणि कथील (Tin) यांचा अलॉय वुड्स मेटल (Wood's metal), या पद्धतीने प्राप्त केला जातो.

अलॉयचे औद्योगिक अनुप्रयोग (Industrial Applications of Alloys):
• निकेल–क्रोमियम (Nickel-Chromium) यांचा ॲलोय उच्च तापमानात गरम करणाऱ्या घटकांसाठी (high temperature heating elements) वापरला जातो.
• निकेल अलॉय हे विमान टर्बाइन इंजिन (aircraft turbine engines), अणुऊर्जा प्रकल्प (nuclear power plants), रासायनिक आणि पेट्रोकेमिकल उद्योगांमध्ये (chemical and petrochemical industries) वापरले जाते.
• तापमान संवेदना आणि नियंत्रणात (temperature sensing and control) थर्मोकपल अलॉय (Thermocouple alloy) वापरतात.
• स्टेनलेस स्टील (Stainless steel) हे अलॉय तार आणि केबल्ससाठी वापरले जाते ज्या समुद्राच्या तळाशी (bottom of the sea) वापरल्या जातात.
• सोन्याचे आणि चांदीचे अलॉय दागिने (jewellery) बनविण्यासाठी वापरतात.
• चुंबकीय कोर (magnetic cores) तयार करण्यासाठी चुंबकीय अलॉय (magnetic alloy) चा वापर केला जातो.
• शिसे (lead) आणि टिनचे (Tin) अलॉय टिन कॅन सोल्डरिंग, लेड पाईप्स जोडण्यासाठी (joining lead pipes), इलेक्ट्रिकल कनेक्शनसाठी वापरले जातात.
• विमान उद्योगात (aircraft industry) ॲल्युमिनियम अलॉय चा वापर केला जातो.
• तांब्याचे अलॉय विद्युत उपकरणे (electrical appliances) तयार करण्यासाठी उद्योगात (industry) वापरली जातात.
• ॲल्युमिनियम अलॉयचा वापर विद्युत उपकरणे, वाहतूक, बांधकाम आणि औषधांमध्ये केला जातो.

४.७ अलॉयचे वर्गीकरण (Classification of Alloys):
अलॉयचे दोन मुख्य प्रकारात वर्गीकरण केले जाते.
i) फेरस अलॉय
ii) नॉन फेरस अलॉय

अनुक्रमांक	फेरस अलॉय (Ferrous alloy)	नॉन फेरस अलॉय (non-ferrous alloy)
1	धातूंचे मिश्रण ज्यामध्ये एक मुख्य घटक लोखंड असतो याला फेरस अलॉय म्हणून ओळखले जाते. उदाहरणः मॅग्नेटिक स्टील, स्टेनलेस स्टील,	धातूंचे मिश्रण ज्यामध्ये धातूंचे मूळ घटकांपैकी एक लोह नसतो याला नॉनफेरस अलॉय म्हणून ओळखले जाते. उदाहरण: पितळ, कांस्य
2	त्यांच्याकडे नॉनफेरस अलॉय पेक्षा जास्त वितलांक बिंदु(melting point) आणि उच्च घनता (density) असते.	त्यांच्याकडे फेरस अलॉय पेक्षा कमी वितलांक बिंदु(melting point) आणि कमी घनता असते.

स्टील (steel): स्टील लोहाचा अलॉय आहे आणि यामध्ये 2% पेक्षा कमी कार्बन असतो म्हणून त्याला कार्बन स्टील किंवा साधा कार्बन स्टील (plain carbon steel) म्हणतात. स्टीलचे गुणधर्म सुधारण्यासाठी टंगस्टन (W), क्रोमियम (Cr), व्हॅनिडियम (V), कोबाल्ट (Co), निकेल (Ni), आणि मोलिब्डेनम (Mo) हे घटक स्टीलमध्ये समाविष्ट केले जातात. हे घटक स्टीलला विशेष गुणधर्म देतात.
कार्बन सामग्रीच्या (carbon content) टक्केवारीनुसार स्टीलची उप-विभागणी (sub- divided) केली जाते. स्टीलमध्ये कार्बनची टक्केवारी वाढत असताना, धातू कडक (hard) आणि मजबूत (strong) बनतो परंतु ठिसूळपणा (brittleness) वाढतो आणि लवचिकता (ductility) कमी होते आणि वेल्ड (welding) करणे फार कठीण होते.

• कार्बन स्टीलचे प्रकार (Types of Carbon Steel):

कार्बनच्या टक्केवारीनुसार कार्बन (percentage of carbon) स्टीलचे तीन प्रकार केले जातात.
i) कमी कार्बन स्टील (Low carbon steel): 0.05 -0.3%
ii) मध्यम कार्बन स्टील (Medium carbon steel): 0.3 - 0.6%
iii) उच्च कार्बन स्टील (High carbon steel): 0.6-1.5%

I) कमी कार्बन स्टील (Low carbon steel): 0.05 -0.3%

गुणधर्म (Properties):

• इतर प्रकारच्या स्टीलच्या तुलनेत ते मऊ आणि कमकुवत असते.
• यामुळे, ते सहजपणे वेगवेगळ्या आकारात वेल्ड केले जाऊ शकते.
• हे मशिनच्या साहाय्याने कट (machined) केले जाऊ शकते आणि छान वेल्ड (weld) केले जाऊ शकते.
• हे मॅलिएबल (malleable) आणि टिकाऊ असते.
• त्यामध्ये तन्यता कमी असते.

अनुप्रयोग (Applications):

• वाहनांचे भाग (vehicle body parts) आणि घरगुती उपकरणे (home appliances) तयार करण्यासाठी वापरला जातो.
• सपाट रोल केलेली पत्रके (flat rolled sheets) किंवा स्टील, तारा आणि पाईप्सच्या पट्ट्या बनविण्याकरिता वापरले जाते.
• रिवेट्स (rivets), बोल्ट्स (bolts), नेल्स (nails) इत्यादी बनवण्यासाठी वापरले जाते.

II) मध्यम कार्बन स्टील (Medium carbon steel): 0.3 - 0.6%

गुणधर्म (Properties):

• इतर प्रकारच्या स्टीलच्या तुलनेत ते कडक (hard) असते.
तुलनेने तन्यता शक्ती (tensile strength) जास्त असते.
• कमी लवचिक (ductile) आणि मॅलिएबल (malleable) असते.

अनुप्रयोग (Applications):

• याचा उपयोग रेल्वेची चाके, एक्सल शाफ्ट (axle shafts), क्रॅंक शाफ्ट, गियरिंग प्लेट्स, कपलिंग्ज आणि रेल्वेगाड्यांच्या सस्पेनशनशी संबंधित (suspension of rail cars) इतर भाग तयार करण्यासाठी केला जातो.

• हे बॉयलर प्लेट्स (boiler plates), स्ट्रक्चर्स (structures) आणि इतर टाक्यांमध्ये वापरले जाते ज्यात अत्यधिक दबावित सामग्री (highly pressurized content) असते.

III) उच्च कार्बन स्टील (High carbon steel): 0.6 - 1.5%

गुणधर्म (Properties):

• कमी कार्बन स्टीलपेक्षा कडक (hard) आणि मजबूत (strong) असते.
• यात उच्च तन्यता (tensile strength) असते.
• कार्बनचे प्रमाण वाढल्यामुळे ते ठिसूळ (Brittle) होते.
• ते कमी लवचिक असते.

अनुप्रयोग (Applications):

• हे कटलरी, स्प्रिंग आणि शस्त्रक्रियेसाठी गणारी साधने बनवण्यासाठी केला जातो.
• हे ड्रिल बिट्स, चाकू, नेल्स (nails), सॉ (saw), ब्लेड, हातोडा (hammer) इत्यादी बनवण्यासाठी वापरले जाते.
• मेटल कटिंग टूल्स आणि लाकूड कटिंग टूल्स बनवण्यासाठी या प्रकारचा स्टील वापरला जातो.

नॉन फेरस अलॉय (non-ferrous alloy)

i. तांबे अलॉय: अ) पितळ ब) कांस्य
ii. ॲल्युमिनियमचे अलॉयः अ) ड्यूराल्युमिन
iii. कमी वितलांक बिंदू असणारे अलॉय: अ) टिनमॅन सोल्डर बी) वुडस् मेटल

तांबे अलॉय: अ) पितळ ब) कांस्य

अ) पितळ

रचना (Composition):

तांबे (Cu) = 60 - 90%
झिंक (Zn) = 40 - 10%

गुणधर्म (Properties):

• यात उच्च सामर्थ्य व कडकपणा (hard) असतो.
• हे मॅलिएबल (malleable) आणि अत्यंत टिकाऊ असते.
• या मध्ये गंज प्रतिरोधकता (corrosion resistance) असते. त्यात चांगली कास्टिंग प्रॉपर्टी असते.
• यात चांगली तन्यता असते.

अनुप्रयोग (Applications):

• ते सोनेरी पिवळ्या रंगाचे असते, म्हणून ते सजावटीसाठी (decoration of articles) वापरले जाते.
• गीअर्स, लॉक, बेयरिंग्ज (bearings), व्हॉल्व्ह (valves), डोअरनोब यासारख्या कमी घर्षणांची आवश्यकता असलेल्या ठिकाणी याचा वापर केला जातो.
• हे प्लंबिंगसाठी वापरले जाते.

वाद्ययंत्रांच्या निर्मितीसाठी (musical instruments) आणि विद्युत उपकरणांमध्ये वापरले जाते.
रेडिएटर्स (radiators), पाईप्स, ट्यूबिंग, स्क्रू (screws), कॉस्ट्यूम ज्वेलरी (costume jewellery) आणि नाण्यान मध्ये वापरले जाते.

ब) कांस्य

रचना (Composition):

तांबे (Cu) = 88%
कथील (Sn) = 12%

गुणधर्म (Properties):

• या मध्ये गंज प्रतिरोधकता (corrosion resistance) असते.
• यात चांगली तन्यता असते.
• हे कडक, मजबूत आणि कठीण असते.

• हे घर्षण प्रतिरोधक असते.

अनुप्रयोग (Applications):

• पदके आणि सजावटीच्या वस्तू बनविण्यासाठी

• घरगुती भांडी बनविण्यासाठी.

ॲल्युमिनियमचे अलॉय : अ) ड्यूरल्युमिन (Duralumin):

अ) ड्यूरल्युमिन (Duralumin):

रचना (Composition):

अल्युमिनियम (Al) = 95%

तांबे (Cu) - 4%

मॅग्नेशियम (Mg) = 0.5%

मॅगनीज (Mn) = 0.5%

गुणधर्म (Properties):

• हे सामान्य स्थितीत मॅलिएबल (Maleable) आणि लवचिक (ductile) असते. Maleable

• यात उच्च तन्यता (ductile) असते.

• याचे वजन कमी (light weight) असते.

• हे गंजण्यास प्रतिरोधक (corrosion resistivity) आहे.

• हे वेल्डेड आणि टेम्पर्ड असू शकते.

अनुप्रयोग (Applications):

• याचा उपयोग तारा, बार, रॉइस, रिव्हट्स बनविण्यासाठी केला जातो.

• ट्रकची चाके आणि ऑटो बॉडी पेनल (auto body panels) बनवण्यासाठी होतो.

• याचा उपयोग विमानांच्या बांधकामासाठी केला जातो.

• याचा उपयोग शल्य चिकित्सा साधने बनवण्यासाठी केला जातो.

हे लोकोमोटिव्ह भागांसाठी वापरले जाते.

iv) कमी वितलांक बिंदू असणारे अलॉयः

अ) टिनमॅन सोल्डर (Tinman's solder):

रचना (Composition):

लीड (Pb) = 60%

कथील (Sn) = 40%

गुणधर्म (Properties):

• ते पांढऱ्या रंगाचे असतात.

• वितलांक बिंदू 180 डिग्री सेल्सियस असतो.

अनुप्रयोग (Applications):

• हे कथीलची वस्तू सोल्डरिंग करण्यासाठी वापरले जाते.

बी) वुडस् मेटल (Wood's Metal):

रचना (Composition):

बिस्मथ (Bi) = 50%

लीड (Pb) = 25%

कथील (Sn) = 12.5%

कॅडमियम (Cd) = 12.5%

गुणधर्म (Properties):

• त्याचा वितलांक बिंदू 180 डिग्री सेल्सियस असतो.

• हे सहज फ्यूझीबल असतो.

अनुप्रयोग (Applications):

• हे इलेक्ट्रिक फ्यूजमध्ये वापरले जाते.

• ऑटोमोबाईल स्प्रिंकलर बनवण्यासाठी.

• कुकर, बॉयलर, दुधाचे भांडे यासाठी प्लग बनवण्यासाठी.

• दंत कामासाठी कास्टिंग म्हणून वापरले जाते.

स्वाध्याय

1.पृथ्वीच्या कवचामध्ये आढळणारा एक नैसर्गिक पदार्थ ज्यामध्ये मुक्त स्थितीत किंवा एकत्रित अवस्थेत धातू असते:

a. धातू
b .खनिज
c . एकाग्रता
d. प्रवाह

उत्तर- (b)

2. हवेच्या अनुपस्थितीत तापलेल्या एकाग्र धातूला ------- म्हणतात

a. भाजणे
b .स्मेलटिंग
c. कॅलसिनेशन
d. एकाग्रता

उत्तर- (c)

3 .तांबे पायराइट धातूचे रासायनिक सूत्र ----- आहे

a. Cu_2S
b. $CuFeS_2$
c. Cu_2O
d . $CuSO_4$

उत्तर- (b)

4. हेमेटाइट धातूचे रासायनिक सूत्र ---------आहे

a. Fe_2O_3
b. Fe_3O_4
c. FeO
d. $FeSO_4$

उत्तर- (a)

5. उच्च तापमानात कोणत्या प्रकारची भट्टी वापरली जाऊ शकते?

a. धूर
b. झोत भट्टी
c. मफल भट्टी
d .स्फोट आणि मफल भट्टी दोन्ही

उत्तर- (b)

References used for learning manual:

Websites:

1. www.chemistryteaching.com
2. www.visionlearning.com
3. www.chem1.com
4. www.onlinelibrary.wiley.com
5. www.rsc.org
6. www.chemcollective.org

Reference Books:

1. Engineering Chemistry By Dara S.S ISBN: 8121997658; 2013.
2. Engineering Chemistry By Jain and Jain ISBN: 9352160002; 2015.
3. Engineering Chemistry By Vairam ISBN: 9788126543342
4. Chemistry for Engineers By Agnihotri, Rajesh ISBN: 9788126550784
5. Textbook of Applied chemistry, Technical Publication By Dr. Kashmiri A. Khamkar, V.M.Gokhale 9789333217255 C.S.Raut. ISBN:

युनिट : ५
जल उपचार/पाणी शुध्दीकरण प्रक्रिया
(Water Treatment)

विषय निष्पत्ती : (Course outcome):
औद्योगिक समस्या सोडविण्यासाठी संबधित पाणी शुद्धीकरण प्रक्रियेचा उपयोग / वापर करा.

घटक निष्पत्ती : (Unit outcomes)
५.१ पाण्याच्या जडपणा कठीणपणाचे वर्गीकरण करा. (Classification of Hardness)
५.२ पाण्याच्या तात्पुरत्या तसेच कायमस्वरूपी जडपणा/कठीणपणाला कारणीभूत असणाऱ्या क्षारांची सूची तयार करा.
५.३ बॉयलर गंज आणि कॉस्टिक एमब्रिटलमेंट प्रक्रियेचे वर्णन करा.
५.४ कठीण पाणी मृदु बनवण्यासाठी दिलेल्या प्रक्रियेचे वर्णन करा.
५.५ दिलेल्या सांडपाणी प्रक्रियेचे वर्णन करा.
५.६ pH आणि pOH या संकल्पनांवर आधारित उदाहरणे सोडवा.

महत्व: (Rationale)
कठीण पाणी / जड पाणी (Hard water) हे कॅल्शियम व मॅग्नेशियम खनिजांनी समृध्द असतात, कारण त्यामध्ये जमीन व खडकांमधील संयुगे विरघळलेली असतात. Hardness म्हणजे पाण्याचा साबणाबरोबर फेस न होण्याचा गुणधर्म. पाण्याचा कठिणपणा हा त्यातील असणाऱ्या कॅल्शियम (Ca^{2+}) आणि मॅग्नेशियम (Mg^{2+}) आयन्सच्या साबणाबरोबर होणाऱ्या अभिक्रियेवर ठरतो. कठीण पाण्याचा परिणाम प्लंबिंगवर होऊ शकतो. विशेषत: water heater, dish washer, washing machine, boilers ह्या सारख्या गरम पाण्याचा वापर होणाऱ्या उपकरणांवर होतो. पाणी गरम होताना कठीण पाण्यात असणारे खनिजे / क्षार पाण्यापासून वेगळे होतात, त्यांना scale किंवा sludge म्हणतात. ते पाईपमध्ये अडकून पाण्याचा प्रवाह कमी करतात व त्यामुळे उपकरणांची कार्यक्षमता कमी होऊन उपकरणे बंद पडू शकतात.
औद्योगिक उपयोगात पाण्याचा कठीणपणा खूप महत्वाची भूमिका बजावतो. Steam boiler सारख्या उपकरणांमध्ये कठीण पाण्यातील क्षार पाण्यापासून वेगळे होऊन scale म्हणून जमा होतात, म्हणूनच औद्योगिक वापरपुर्वी पाण्याचा कठीणपणा कमी करणे आवश्यक असते. उद्योगांमध्ये (in industries) determination of hardness of water ही वारंवार केली जाणारी विश्लेषण प्रक्रिया आहे.

प्रस्तावना: पाण्यामध्ये बरेच पदार्थ विरघळतात, म्हणून पाण्याला "Universal Solvent" म्हणतात. या ग्रहावरील सर्व सजीवांच्या अस्तित्वासाठी पाणी आवश्यक आहे.

मृदु / फेनद पाणी : जे पाणी साबणाच्या द्रावणाने तवंग तयार करत नाही, त्यास मृदु /फेनद पाणी असे म्हणतात. मृदु /फेनद पाण्यात विरघळलेले कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम क्षार नसतात.

जड / कठीण /अफेनद पाणी: जे पाणी साबणाच्या द्रावणाने तवंग तयार करते त्यास जड / कठीण / अफेनद पाणी असे म्हणतात. जड / कठीण / अफेनद पाण्यात विरघळलेले कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम क्षार असतात.

५.१ पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा (साबणाचा फेस न होण्याचा गुणधर्म) आणि त्याचे वर्गीकरण (Hardness and its classification):

५.१.१ पाण्याचा जडपणा / कठिणपणा **(**Hardness)**:**पाण्यात विद्राव्य असणाऱ्या कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम क्षारांमुळे पाण्याला जडपणा / कठिणपणा (Hardness) असतो.

जडपणा / कठीणपणाची कारणे: (Causes of Hardness)
i) पावसाच्या पाण्यात हवेतील कार्बन डायऑक्साईड (CO_2) विरघळतो तसेच जमिनीत कुजणाऱ्या वनस्पतींपासून बनणाऱ्या कार्बन डायऑक्साईड (CO_2) बरोबरही पावसाच्या पाण्याची अभिक्रिया होते. ह्या मुळे कार्बोनिक ॲसिड (H_2CO_3) तयार होते.

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow H_2CO_3 \text{ (कार्बोनिक ॲसिड)}$$

जेव्हा असे आम्लीय पाणी, कॅल्शियम कार्बोनेट (Calcium Carbonate – $CaCO_3$) आणि मॅग्नेशियम कार्बोनेट (Magnesium Carbonate – $MgCO_3$) असलेल्या खडकांमधून वाहते तेव्हा हे क्षार पाण्यातील कार्बोनिक ॲसिड बरोबर अभिक्रिया करते व कॅल्शियम बायकार्बोनेट (Calcium Bicarbonate $Ca(HCO_3)_2$ आणि मॅग्नेशियम बायकार्बोनेट (Magnesium Bicarbonate $Mg(HCO_3)_2$ तयार होतात, जे पाण्यात अत्यंत विद्राव्य असतात. हे क्षार पाण्याला कठीण बनवतात म्हणजेच जडपणा / कठिणपणा (Hardness) देतात.

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$
$$H_2CO_3 + MgCO_3 \longrightarrow Mg(HCO_3)_2$$

ii) कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियमचे क्लोराईड आणि सल्फेट हे क्षार देखील खडकांमध्ये व जमिनीमध्ये असतात. कॅल्शियम क्लोराईड (Calcium Chloride-$CaCl_2$), कॅल्शियम सल्फेट (Calcium Sulphate-$CaSO_4$), मॅग्नेशियम क्लोराईड (Magnesium Chloride-$MgCl_2$), मॅग्नेशियम सल्फेट (Magnesium-Sulphate $MgSO_4$) हे क्षार पाण्यात अत्यंत विद्राव्य असतात. म्हणून जेव्हा पाणी खडकांमधून किंवा जमिनीमधून वाहते, तेव्हा हे क्षार पाण्यात विरघळतात व पाण्याला जड / कठीण बनवतात म्हणजेच जडपणा / कठिणपणा (Hardness) देतात.

पाण्याच्या जडपणा / कठीणपणाची व्याख्या: (Definition of Hardness)

"साबणाबरोबर फेस न होण्याचा गुणधर्म म्हणजेच पाण्याचा जडपणा / कठिणपणा (Hardness), म्हणून अश्या पाण्यात जास्त साबण आवश्यक असतो." म्हणजेच पाण्याची साबण वापरण्याची क्षमता.

कठीण पाण्यात असलेल्या कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम क्षारांची साबणाबरोबर अभिक्रिया: (Reactions of soap with salts of calcium and magnesium in water):

Stearic acid, Oleic acid, Palmitic acid सारख्या उच्च फॅट्टी ॲसिड चे सोडियम क्षार म्हणजेच साबण (soap). साबण पाण्यात विरघळून फेस तयार करतो. त्यामुळे त्याला स्वच्छ करण्याचा गुणधर्म (cleansing property) असतो. कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम क्षार असलेल्या कठीण पाण्यात जेव्हा साबण टाकला जातो तेव्हा अविद्राव्य / अघुलनशील (insoluble) कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम स्टीअरेट (Calcium and Magnesium stearate) बनतात.

$$2C_{17}H_{35}COONa + CaCl_2 \longrightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Ca\downarrow + 2NaCl$$
$$2C_{17}H_{35}COONa + MgCl_2 \longrightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Mg\downarrow + 2NaCl$$
$$2C_{17}H_{35}COONa + CaSO_4 \longrightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Ca\downarrow + Na_2SO_4$$
$$2C_{17}H_{35}COONa + MgSO_4 \longrightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Mg\downarrow + Na_2SO_4$$
$$2C_{17}H_{35}COONa + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Ca\downarrow + 2NaHCO_3$$
$$2C_{17}H_{35}COONa + Mg(HCO_3)_2 \longrightarrow (C_{17}H_{35}COO)_2Mg\downarrow + 2NaHCO_3$$

(विद्राव्य सोडियम स्टीअरेट म्हणजे साबण) (अविद्राव्य कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम स्टीअरेट)

ह्या अविद्राव्य कॅल्शियम किंवा मॅग्नेशियम स्टीअरेट ला Curd किंवा White Scum म्हणून ओळखले जाते.जो पर्यत असे कॅल्शियम किंवा मॅग्नेशियम आयन पाण्यातून निघून जात नाही तो पर्यत साबण स्वच्छतेसाठी उप्लब्ध होत नाही, म्हणून कठीण पाण्यात जास्त साबण वाया जातो.

५.१.२ पाण्याच्या जडपणा / कठीणपणाचे वर्गीकरण (Classification of hardness)

पाण्याच्या कठीणपणाचे खालील प्रकारांमध्ये वर्गीकरण केले आहे.

अ) तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा (Temporary Hardness or Carbonate Hardness)

ब) कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा (Permanent Hardness or Non-Carbonate Hardness)

अ) तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा (Temporary Hardness) यालाच कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (Carbonate Hardness) देखील म्हणतात. या प्रकारचा जडपणा / कठीणपणा पाण्यात असणाऱ्या विद्राव्य कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम बायकार्बोनेट मुळे असतो. जेव्हा पाणी उकळले जाते तेव्हा कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम बायकार्बोनेट चे, कॅल्शियम कार्बोनेट आणि मॅग्नेशियम हायड्रोक्साईड तसेच कार्बन डायऑक्साईड (CO_2) मध्ये विघटन होते. हे अविद्राव्य कार्बोनेट आणि हायड्रॉक्साईड क्षार ($CaCO_3$, $Mg(OH)_2$) गाळून सहजपणे वेगळे काढले जाऊ शकतात. याचाच अर्थ पाण्याचा तात्पुरता

जडपणा / कठीणपणा उकळवून काढून टाकता येतो.

$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{Boil} CaCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$

$Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{Boil} MgCO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$

$MgCO_3 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CO_2 \uparrow$

ब) कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा (Permanent Hardness) : कॅल्शियम व मॅग्नेशियम च्या क्लोराईड्स, सल्फेट्स आणि नायट्रेट्स हया क्षारांमुळे पाण्याला कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा येतो. ह्याला नॉन-कार्बोनेट जडपणा / कठिणपणा (Non-Carbonate Hardness) देखील म्हणतात.

हया प्रकारचा जडपणा / कठीणपणा पाणी उकळवून निघू शकत नाही तर ह्यासाठी लाईम सोडा, झिओलाईट, आयन-एक्सचेंज सारख्या रासायनिक प्रक्रियाचा उपयोग करावा लागतो.

तात्पुरता आणि कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा यांतील फरक
(Distinguish between Temporary and Permanent Hardness)

अ. क्र. **Sr.No.**	**तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा** **Temporary Hardness**	**कायमस्वरूपी जडपणा/ कठीणपणा** **Permanent Hardness**
१.	यास Carbonate Hardness पण म्हणतात.	यास Non-Carbonate Hardness म्हणतात.
२.	पाण्याचा हा जडपणा / कठीणपणा विद्राव्य अशा कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम बायकार्बोनेट मुळे येतो.	पाण्याला जडपणा / कठीणपणा विद्राव्य अशा कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियमच्या सल्फेट्स, क्लोराईडस, नायट्रेट्स हया क्षारांमुळे येतो.
३.	या प्रकारचा जडपणा / कठीणपणा फक्त पाणी उकळवून काढता येतो.	या प्रकारचा जडपणा / कठीणपणा उकळवून काढता येत नाही तर त्यासाठी लाईम-सोडा, झिओलाईट, आयन-एक्सचेंज सारख्या रासायनिक प्रक्रिया वापराव्या लागतात.

५.१.३.पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा मोजण्याची एकके (Units of Hardness):

आपल्याला माहीत आहेच की, कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियमच्या बायकार्बोनेटस, क्लोराईडस, सल्फेट्स क्षारांमुळे पाण्याला जडपणा / कठीणपणा येतो म्हणजे पाणी जड होते. या वेगवेगळ्या क्षारामुळे येणारा जडपणा / कठीणपणा एकाच समतुल्य क्षारामध्ये व्यक्त केला जातो, म्हणजे व्यक्त करणे सोपे जाते व त्यासाठी कॅल्शियम कार्बोनेट (calcium carbonate) निवडला गेला आहे. पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा (Hardness) हा कॅल्शियम कार्बोनेट ($CaCO_3$) च्या समतुल्य प्रमाणात सहजतेने मोजला जातो.

पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा मोजण्यासाठी कॅल्शियम कार्बोनेट ($CaCO_3$) निवडण्याची कारणे:

१. कॅल्शियम कार्बोनेट चे आण्विक वस्तुमान (Molecular Mass/ Molecular Weight) हे १०० असल्याने मोजण्यात सुलभता येते.

२. कॅल्शियम कार्बोनेट हा अत्यंत अविद्राव्य/अघुलनशील क्षार (most insoluble in water) आहे.

पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा खालील सूत्र (Formula) वापरुन, कॅल्शियम कार्बोनेटच्या संमतुल्य प्रमाणात (Equivalents of $CaCO_3$) दाखविले जाते.

$$\text{कॅल्शियम कार्बोनेट चे समतुल्य प्रमाण} = \frac{\text{जडपणा / कठिणपणा देणाऱ्या क्षाराचे वजन x १००}}{\text{जडपणा / कठिणपणा देणाऱ्या क्षाराचे आण्विक वस्तुमान}}$$

∵ १०० = कॅल्शियम कार्बोनेट चे आण्विक वस्तुमान

कॅल्शियम कार्बोनेट चे समतुल्य प्रमाण (Equivalents of $CaCO_3$) गणनासाठी गुणक (Multiplication factor for calculation of $CaCO_3$ equivalent):

$MgSO_4$, $MgCl_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, $Ca(HCO_3)_2$, हया क्षारांचे प्रत्यक्षात असलेले वजन हे कॅल्शियम कार्बोनेट ($CaCO_3$) च्या समतुल्य प्रमाणात रूपांतरित करताना अनुक्रमे $\frac{१००}{१२०}$, $\frac{१००}{९५}$, $\frac{१००}{१४६}$, $\frac{१००}{१३६}$, $\frac{१००}{१११}$, $\frac{१००}{१६२}$ या अपूर्णांकाने गुणावे लागते.

अश्या रूपांतरणासाठी वापरला जाणाऱ्या घटकालाच / अपूर्णांकालाच गुणक (Multiplication Factor) म्हणतात. तो तक्ता खालील प्रमाणे दर्शवता येईल.

अ.क्र. Sr.No.	जडपणा / कठीणपणा देणाऱ्या क्षाराचे सूत्र (Formula of hardness producing substance)	गुणाकार घटक / गुणक (Multiplication Factor)
१.	$MgSO_4$	१००/१२०
२	$MgCl_2$	१००/९५
३	$Mg(HCO_3)_2$	१००/१४६
४	$CaSO_4$	१००/१३६
५	$CaCl_2$	१००/१११
६	$Ca(HCO_3)_2$	१००/१६२

अणू वस्तुमान (Atomic Mass): Mg - 24, Ca-40, S-32, O-16, Cl-35.5,C-12,H-1

पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा (**Hardness of Water)** खालील विविध युनिट्स मध्ये दर्शविला जातो / मोजला जातो.

१. मिलिग्रॅम प्रति लिटर (mg/lit) : एक लिटर पाण्यात असलेल्या समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट ($CaCO_3$) ची मिलिग्रॅम मध्ये असलेली संख्या

२. प्रति दशलक्ष भाग (parts per million): पाण्याच्या प्रत्येक दशलक्ष भागात (10^6 parts) असलेल्या समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेटच्या भागाची संख्या

३. डिग्री क्लार्क (Degree Clark – ^{0}Cl): पाण्याच्या प्रत्येक 70000 भागात असलेल्या समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट च्या भागाची संख्या.

४. डिग्री फ्रेंच (Degree French ^{0} Fr): पाण्यातील प्रत्येक 10^5 भागात असलेल्या समतूल्य कॅल्शियम कार्बोनेट च्या भागाची संख्या.

पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा मोजणाच्या विविध युनिट्स मधील संबंध:

1 ppm = 1 mg/lit = 0.1 ^{0}Fr = 0.07 ^{0}Cl

५.१.४ पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा निर्धारण: (Determination of Hardness):

पुढील दोन पद्धती वापरुन पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा मोजला जातो.

अ) साबणाचे द्रावण पद्धती (Soap Solution Method):

तत्व: (Principle)

जेव्हा साबण कठीण पाण्यात टाकला जातो, तेव्हा तो पाण्यातील जडपणा / कठीणपणा निर्माण करणाऱ्या आयन्स बरोबर अभिक्रिया करून त्यांना अवक्षेपित करीत नाही तोपर्यंत साबण फेस बनवत नाही.

प्रमाणित साबणाचे द्रावण कठीण पाण्याबरोबर titrate करून एकूण जडपणा / कठीणपणा (Total Hardness) निश्चित केला जातो. नंतर तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा (Temporary Hardness) दूर करण्यासाठी पाण्याचा नमुना उकळवला जातो व तो दूर केला जातो. कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा (Permanent Hardness) निश्चित करण्यासाठी ते पाणी प्रमाणित साबणाच्या द्रावणाबरोबर titrate केले जाते व कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा (Permanent Hardness) निश्चित केला जातो. ह्या दोन वाचनांमधील फरक (difference between two readings) म्हणजेच तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा (Temporary Hardness).

प्रक्रिया

१. ८०० मिली अल्कोहोल मध्ये १०० ग्रॅम सोडियम स्टीअरेट (Sodium Stearate Soap) विरघळवून त्याच्या पासून डिस्टिल्ड पाण्याचा (Distilled Water) वापर करून १ लिटर पातळ द्रावण केले जाते.
२. १ ग्रॅम कोरडे (dry) कॅल्शियम कार्बोनेट, १ : १ हायड्रोक्लोरीक ॲसिड मध्ये विरघळवून नंतर ते द्रावण उकळवून, बाष्पीकरणाने कोरडे करून त्या पासून डिस्टिल्ड पाणी (Distilled Water) वापरुन १ लिटर द्रावण केले जाते. त्याला प्रमाणित कठिण पाणी (Standard Hard Water) म्हणतात.

निरीक्षणे (Observations):

१. ५० मिली Distilled Water साठी v_1 ml प्रमाणित साबणाचे द्रावण आवश्यक आहे.
२. ५० मिली प्रमाणित कठिण पाण्यासाठी साबणाचे प्रमाणित द्रावण v_2 मिली आवश्यक आहे.
३. ५० मिली कठीण पाण्याच्या नमुन्यासाठी (sample water) साबणाचे प्रमाणित द्रावण v_3 आवश्यक आहे (उकळवण्यापूर्वी).
४. ५० मिली उकळवून गाळून घेतलेल्या कठोर पाण्याच्या नमुन्यासाठी v_4 ml प्रमाणित द्रावणाचे द्रावण आवश्यक आहे.

गणना : (Calculations)

अ) एकूण जडपणा / कठीणपणा (Total hardness)= $\frac{V_3-V_1}{V_2-V_1}$ x १००० mg/lit.

ब) कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा (Permanent hardness)= $\frac{V_4-V_1}{V_2-V_1}$ x १००० mg/lit.

क) तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा (Temporary Hardness)
= Total Hardness − Permanent Hardness
= $\frac{V_3-V_4}{V_2-V_1}$ x १००० mg/lit.

ब) EDTA चे द्रावण पद्धती (EDTA solution method):

ह्या पद्धतीने साबणाच्या द्रावणापेक्षा अचूक परिणाम मिळतात.

तत्व (Principle):- पाण्याचा जडपणा / कठिणपणा हा मुख्यत: कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियमच्या क्षारांमुळे असतो.

Ethylenediamine tetra acetic acid (EDTA) हे आम्ल, कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम आयन (Ca^{2+} and Mg^{2+}) बरोबर अभिक्रिया करून जटिल संयुगे (complex compounds) तयार करतो, जेणेकरून पाण्याचा जडपणा / कठिणपणा (Hardness) शोधता येतो / निश्चित करता येतो.

प्रक्रिया (Process) :

१. EDTA द्रावणाचे प्रमाणीकरण (Standardization of EDTA Solution): EDTA चे प्रमाणीकरण, प्रमाणित कठीण पाणी (standard hard water) वापरुन केले जाते.

२. पाण्याच्या नमुन्याचा एकूण जडपणा / कठिणपणा (Total Hardness) निश्चित करणे:

अ) ५० मिली नमुना पाणी (sample water) २५० मिली च्या शंकूपात्रात (conical flask) घ्या.

ब) त्यामध्ये १० pH वाढविण्यासाठी १० मिली Buffer Solution टाका.

क) Eriochrome Black-T indicators चे ३-४ थेंब टाका. पाण्याचे द्रावण wine red रंगाचे होईल.

ड) शंकूपात्रात घेतलेल्या कठीण पाण्याच्या नमुन्यात आता हळूहळू ०.०१ M EDTA Burette च्या मदतीने टाकत रहा. शंकूपात्रातील द्रावणाचा रंग निळा होईपर्यंत EDTA टाकत रहा.

ई) शेवटी वापरल्या गेलेल्या EDTA ची मात्रा (Reading) नोंद करा.

३. पाण्याच्या नमुन्याचा कायमस्वरूपी जडपणा / कठिणपणा (Permanent Hardness) निश्चित करणे:

अ) ५० मिली नमुना पाणी (Sample water) १५ ते २० मिनिटे उकळवून, गाळून घ्या.

ब) त्यामध्ये १० pH वाढविण्यासाठी १० मिली Buffer Solution टाका.

क) Eriochrome Black-T indicators चे ३-४ थेंब टाका. पाण्याचे द्रावण wine red रंगाचे होईल.

ड) शंकूपात्रात घेतलेल्या कठीण पाण्याच्या नमुन्यात आता हळूहळू ०.०१ M EDTA Burette च्या मदतीने टाकत रहा. शंकूपात्रातील द्रावणाचा रंग निळा होईपर्यंत EDTA टाकत रहा.

ई) शेवटी वापरल्या गेलेल्या EDTA ची मात्रा (Reading) नोंद करा.

वरील माहिती (Data) वापरुन एकूण आणि कायमस्वरूपी जडपणा / कठिणपणाची (Total and Permanent Hardness) गणना केली जाते.

निरीक्षणे (Observations) :-

१. ५० मिली प्रमाणित कठीण पाण्यासाठी (standard hard water) v_1 ml EDTA च्या द्रावणाची आवश्यकता आहे.

२. ५० मिली कठीण पाण्याच्या नमुन्यासाठी v_2 ml EDTA च्या द्रावणाची आवश्यकता आहे. (उकळ्ण्यापूर्वी)

३. ५० मिली कठीण पाण्याच्या नमुन्यासाठी v_3 ml EDTA च्या द्रावणाची आवश्यकता आहे. (उकळवल्यानंतर)

गणना : (Calculations)

अ) एकूण जडपणा / कठिणपणा (Total Hardness)

$= \frac{v2}{v1}$ x १००० mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट (equivalents of $CaCO_3$)

$=\frac{v2}{v1}$ x १००० ppm समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट (equivalents of $CaCO_3$)

ब) कायमस्वरूपी जडपणा / कठिणपणा (Permanent Hardness)

$=\frac{v3}{v1}$ x १००० mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट (equivalents of $CaCO_3$)

$=\frac{v3}{v1}$ x १००० ppm समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट (equivalents of $CaCO_3$)

क) तात्पुरता जडपणा / कठिणपणा (Temporary Hardness) = एकूण जडपणा – कायमस्वरूपी जडपणा

$=\frac{v2-v3}{v1} x$१००० ppm समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट (equivalents of $CaCO_3$)

पाण्याच्या कठीणपणावरील सोडवलेली उदाहरणे (Solved Problems):

१. २५० मिली कठीण पाण्याचा नमुना जर Eriochrome Black-T चा दर्शक (Indicator) वापरुन EDTA बरोबर titrate केल्यास ०.०२२M संहतेचे १३ मिली EDTA लागते, तर पाण्याच्या कठिणपणाची गणना करा.

उत्तर :

१ मिली of ०.०१ M EDTA = १ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट (equivalents of $CaCO_3$)

१३ मिली of ०.०२२M EDTA = $\frac{१x१३x०.०२२}{१x०.०१}$

= २८.६ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट (equivalents of $CaCO_3$)

i.e. २५० मिली पाण्याच्या नमुन्यात २८.६ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा

∴.१००० मिली पाण्याच्या नमुन्यात $\frac{२८.६x१०००}{२५०}$ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$) = ११४.४ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

पाण्याच्या जडपणा / कठिणपणा (Hardness) = ११४.४ ppm

२. १०० मिली कठीण पाण्याचा नमुना Eriochrome Black–T वापरुन EDTA बरोबर titrate केल्यास ०.०१ M संहतेचे १५ मिली EDTA लागते. १०० मिली तोच नमुना उकळवून घेऊन आलेला अवक्षेप गाळून पुन्हा EDTA बरोबर titrate केल्यास ८ मिली ०.०१M संहतेचे EDTA लागते.

एकूण जडपणा / कठीणपणा (Total Hardness), तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा (Temporary Hardness), कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा (Permanent Hardness) काढा.

उत्तर :

एकूण जडपणा / कठीणपणा (Total Hardness)

Step1]

१ मिली ०.०१ M EDTA = १ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

१५ मिली ०.०१ M EDTA = १५ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

i.e.१०० मिली नमुना पाण्यामध्ये १५ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$) आहे.

∴ १००० मिली नमुना पाण्यामध्ये ($\frac{१५x१०००}{१०००}$) =१५० mg of of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

∴ एकूण जडपणा / कठीणपणा (Total Hardness) = १५० mg/lit=१५०ppm

Step2]

कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा (Permanent hardness)

१ मिली ०.०१M EDTA = १ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

८ मिली ०.०१ M EDTA = ८ mg of of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

i.e. १०० मिली नमुना पाण्यामध्ये ८ mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

१००० मिली नमुना पाण्यांमध्ये $\frac{८x१०००}{१००}$=८० mg of समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

∴ कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा (Permanent hardness) = ८०mg/lit = ८० ppm

Step3]

तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा (Temporary Hardness)

तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा = एकूण जडपणा / कठीणपणा – कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा

(Temporary Hardness = Total Hardness-Permanent Hardness) = १५०–८० =७० mg/lit

∴ तात्पुरता जडपणा / कठिणपणा = ७० mg/lit = ७० ppm

३. पाण्याच्या १ Litre नमुन्यात ३३.३ mg $CaCl_2$ आहे तर पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट किती असेल?

उत्तर :-

१ litre पाण्याच्या नमुन्यात ३३.३ mg $CaCl_2$ आहे.

समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$) =

$$\frac{\text{जडपणा / कठिणपणा देणाऱ्या क्षाराचे वजन } x १००}{\text{जडपणा / कठिणपणा देणाऱ्या क्षाराचे आण्विक वस्तुमान}}$$

$$= \frac{३३.३ \times १००}{१११}$$

= ३० mg समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$)

पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा (Hardness of water sample)
= ३० mg/lit =३० ppm

४. जर एकूण जडपणा / कठीणपणा = ३१०mg/lit कायमस्वरूपी जडपणा / कठिणपणा = १३३ mg/lit, तर तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा २५ मिली पाण्यात किती असेल?

उत्तर :- तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा = एकूण जडपणा /कठीणपणा – कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा

Temporary Hardness = Total Hardness – Permanent Hardness
=३१० – १३३
= १७७ mg/lit

∵ १००० मिली कठीण (जड) पाण्यात १७७ mg समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$) आहे

∴ २५ मिली कठीण पाण्यात $\frac{१७७ \times २५}{१०००}$ = ४.४२५ mg समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$) असणार.

25 ml पाण्यातील तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा = ४.४२५ mg समतुल्य कॅल्शियम कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (equivalents of $CaCO_3$) .

स्वाध्याय (Exercise) :

१. जर १०० मिली पाण्याच्या नमुन्यासाठी ५० मिली ०.०१ M संहतेचे EDTA लागत असेल, तर एकूण जडपणा / कठीणपणा किती असेल? उत्तर ppm मध्ये काढा.

(उत्तर-५०० ppm)

२. पाण्याचे विश्लेषण करताना असे लक्षात आले की, १०० मिली पाण्यासाठी २० मिली ०.०१ M संहतेचे EDTA लागले. पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा ppm ह्या युनिट मध्ये काढा.

(उत्तर-२०० ppm)

३. ५० मिली प्रमाणित पाणी (ज्यामधे १ mg $CaCO_3$ आहे) 0०.०१ M EDTA बरोबर titrate करताना २० मिली EDTA लागले. ५० मिली नमुना पाणी, ०.०१ M EDTA बरोबर titrate करताना २५ मिली EDTA लागते. तर नमुना पाण्यात किती जडपणा / कठीणपणा आहे?

५.१.५ पाण्याचे जडपणा / कठिणपणा नुसार वर्गीकरण:

(Classification of water by hardness content):

$CaCO_3$ चे mg/lit मध्ये concentration	**पाण्याचे वर्णन**
०-७५	मृदू (Soft)
७५-१५०	मध्यम जड (Moderately Hard)
१५०-३००	जड (Hard)
३०० पेक्षा जास्त	खूप जड (Very Hard)

५.२ बॉयलर वर कठीण पाण्याचा परिणाम आणि त्यावरील प्रतिबंध:

(Effect of hard water in Boiler and Prevention):

कोणत्याही उद्योगांसाठी पाण्याची मुख्य आवश्यकता असते. उद्योगांमध्ये पाण्याचा वापर धुण्यासाठी (washing), थंड करण्यासाठी (cooling), वाफ बनवण्यासाठी (steam generation) केला जातो. उद्योगामध्ये बॉयलर (Boiler) हे मुख्यत: वाफेच्या निर्मितीसाठी (steam generation) वापरतात. कठीण पाणी (Hard Water) जर पूर्व उपचार न करता वाफेच्या निर्मितीसाठी वापरले तर खालील समस्या उद्भवू शकतात.

१. बॉयलर मध्ये गंज तयार होणे (Boiler Corrosion)
२. कॉस्टीक ईमब्रिटलमेंट (Caustic Embrittlement)
३. प्राईमिंग आणि फोमिंग (Priming and Foaming)
४. स्केल आणि स्लड्ज / गाळ (Scale and Sludge)

५.२.१ बॉयलर मध्ये गंज तयार होणे (Boiler Corrosion):

बॉयलर हे स्टील म्हणजे लोहाच्या धातूचे मिश्रण / मटेरियल / सामुग्री पासून बनलेले असते.

बॉयलर गंजाची व्याख्या (Definition of Boiler Corrosion):

आजूबाजूच्या वातावरणातील माध्यमामुळे, रासायनिक किंवा विदयुत (chemical or electrochemical) अभिक्रियेद्वारे बॉयलर सामुग्रीचा झालेला क्षय किंवा विघटन म्हणजेच बॉयलर गंज.
कठीण पाणी बॉयलर मध्ये वापरणे अयोग्य आहे, कारण ते बॉयलरच्या स्टील सामुग्रीचे विघटन करते.
पुढील 3 कारणांमुळे बॉयलरमध्ये गंज तयार होतो.

१. पाण्यामध्ये विरघळलेल्या क्षारांमुळे आम्ल तयार होणे.
२. पाण्यात विरघळलेल्या कार्बन डायऑक्साइडमुळे.
३. पाण्यात विरघळलेल्या ऑक्सिजनमुळे.

१. पाण्यामध्ये विरघलेल्या क्षारांमुळे आम्ल तयार होणे. (Formation of acid due to dissolved salts)

- बॉयलरमध्ये वापरण्यात आलेल्या पाण्यात जर मॅग्नेशियम क्लोराईड असेल तर त्याचे हायड्रॉलिसिस होऊन हायड्रोक्लोराईड / हायड्रोक्लोरिक आम्ल (Hydrochloric acid) तयार होते.

$$MgCl_2 + 2H_2O \longrightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + 2HCl$$

- तयार झालेले हायड्रोक्लोरिक आम्ल बॉयरलच्या स्टील म्हणजे आयर्न बरोबर अभिक्रिया करून फेरस हायड्रॉक्साइड तयार होते.

$$Fe + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_2 \uparrow$$
$$FeCl_2 + 2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_2 \downarrow + 2HCl$$

- हे फेरस हायड्रॉक्साइड ऑक्सिजन च्या उपस्थितीत गंज तयार करते.

$$Fe + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_2 \uparrow$$
$$FeCl_2 + 2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_2 \downarrow + 2HCl$$

ह्याचाच अर्थ अगदी कमी प्रमाणात जरी $MgCl_2$ पाण्यात विरघळले असेल तरी सुदधा बॉयलर बऱ्याच प्रमाणात गंज पकडते.

२. पाण्यात विरघळेलेल्या कार्बनडायऑक्साईड मुळे (CO_2) (Due to dissolved carbon dioxide) :

कॅल्शियम व मॅग्नेशियम बायकार्बोनेट चे विघटन होऊन CO_2 मुक्त होतो.

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2 \uparrow$$

तयार झालेल्या CO_2, पाण्याबरोबर कार्बोनिक आम्ल (carbonic acid) तयार करतो.

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow \underset{\text{Carbonic acid}}{H_2CO_3}$$

कार्बोनिक आम्ल बॉयलर ला हळू हळू क्षीण (weak) बनवते.

प्रतिबंध (Prevention):

CO_2 काढून टाकण्यासाठी अमोनिया किंवा अमोनिअम हायड्रॉक्साइड किंवा यांत्रिकी विचलनाची (Mechanical deaeration) पद्धत वापरली जाऊ शकते.

३. पाण्यात विरघळलेल्या ऑक्सिजनमुळे (Due to Dissolved Oxygen)

खोली तापमानावर (Room Temperature) साधारणत: पाण्यात विरघळलेल्या ऑक्सिजनचे प्रमाण 8 पीपीएम (8 ppm) असते. जास्त तापमानात ऑक्सिजन बॉयलरमध्ये गंज तयार करते.

$$2\,Fe + 2\,H_2O + O_2 \longrightarrow 2\,Fe(OH)_2 \downarrow$$

$$2\,Fe(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$$

प्रतिबंध (Prevention):

विरघळलेला ऑक्सिजन काढून टाकण्यासाठी Hydrazine, Sodium sulphite सारखी रासायनिक संयुगे वापरली जाऊ शकतात.

५.२.२ कॉस्टिक कथन (Caustic embrittlement)

हा एक बॉयलर गंजाचा प्रकार आहे. त्यामध्ये बॉयलरमध्ये जास्त अल्कली (Alkali) जमा झाल्यामुळे बॉयलरचे मटेरियल क्षीण (weak / brittle) होते. असे शक्यतो उच्च तापमान आणि दाबामुळे (high temperature आणि pressure) होते.

पाणी मृदुकरणाच्या चुना-सोडा प्रक्रियेच्या वेळी (Lime-soda process) वापरले गेलेले परंतु थोडे पाण्यात शिल्लक राहिलेल्या सोडियम कार्बोनेटचे उच्च दाबाच्या बॉयलर मध्ये विघटन होऊन त्यापासून सोडियम हायड्रॉक्साइड (NaOH) तयार होते.

$$Na_2CO_3 + H_2O \longrightarrow 2NaOH + CO_2\uparrow$$

तयार झालेल्या NaOH मुळे पाण्याचा सामू (pH) वाढतो व पाणी अल्कलाइन होते.

बॉयलर मध्ये असलेल्या अतिसूक्ष्म तडांमध्ये (cracks and crevices) हे अल्कलाइन पाणी केशिका क्रियेने (capillary action) जमा होते. पाण्याची वाफ म्हणजे पाण्याचे बाष्पीभवन झाल्याने सोडियम हायड्रॉक्साइड (NaOH) ची मात्रा वाढते. NaOH बॉयलरच्या सामग्री बरोबर म्हणजे लोहा बरोबर (iron) अभिक्रिया करून सोडियम फेरेट (sodium ferrate) तयार होते व त्यामुळे बॉयलरचे मटेरियल ठिसूळ (Brittle) होते.

प्रतिबंध (Prevention) :

१ कठीण पाणी मृदु करताना सोडियम कार्बोनेट ऐवजी सोडियम फॉस्फेटचा वापर करता येतो.

२.टॅनिन, लिग्नीन किंवा सोडियम सल्फेट पाण्यात टाकू शकतो, त्यामुळे बॉयलरच्या आत असलेल्या अतिसूक्ष्म कडा (hairline cracks) बुजल्या जाऊन जास्त अल्कलीचा संचय रोखला जातो.

३.वाफ तयार करणाऱ्या बॉयलरमध्ये टाकलेल्या पाण्याचा सामू (pH) 8-9 पर्यंत समायोजित केला जाऊ शकतो.

५.२.३ प्राईमिंग आणि फोमिंग (Priming and Foaming) :

I. प्राईमिंग (Priming)

जेव्हा बॉयलरमध्ये स्टीम / वाफ वेगाने तयार केली जाते तेव्हा पाण्याचे थेंबही वाफे बरोबर वाहून जातात. अशा ओली वाफ (wet steam) निर्मितीच्या प्रक्रियेला प्राईमिंग म्हणतात.

कारणे (Causes):

i) पाण्यात विरघळलेल्या घन पदार्थांची विपुल / मोठ्या प्रमाणात असणारी संख्या.
ii) पाणी वेगाने उकळणे.
iii) बॉयलरची सदोष रचना.

प्राईमिंग कमी करण्याचे उपाय (Minimization of Priming)

i) कुठलेही विरघळलेले घन पदार्थ नसलेले पाणी वापरणे.
ii) बॉयलरची योग्य रचना.
iii) वाफ तयार होण्याची गती नियंत्रित करणे.
iv) पाण्याची पातळी कमी राखणे.

II) फोमिंग (Foaming):

छोटे छोटे (लहान) परंतु कायम टिकून राहणारे बुडबुडे (foam / bubble) तयार होणे आणि हे बुडबुडे सहजपणी खंडित होत नाही. ह्या प्रक्रियेला फोमिंग (Foaming) म्हणतात.

कारणे (Causes):

बॉयलर्स मध्ये वापरल्या जाणाऱ्या पाण्यात तेल किंवा अल्कली क्षारांचे अस्तित्व असेल तर त्यामुळे पाण्याच्या पृष्ठभागावरील ताण कमी होऊन बुडबुडे (foam / bubble) तयार होतात.

फोमिंग कमी करण्याचे उपाय (Minimization of foaming)

१. एरंडेल तेल (Castor Oil) सिलिसिक आम्ल (silisic acid) सारख्या बुडबुडे तयार न करणाऱ्या पदार्थांचा वापर (anti–foaming agents) करणे.

२. तेल काढून टाकण्यासाठी सोडियम ॲल्युमिनेट (sodium aluminate) किंवा ॲल्युमिनियम सल्फेट (aluminium sulphate) सारख्या पदार्थांचा वापर / समावेश करणे.

५.२.४ स्केल आणि स्लज / गाळ (Scales and Sludges):

बॉयलर्स मध्ये पाण्याचे सतत बाष्पीभवन होत असल्याने कठीण पाण्यात विद्राव्य / विरघळलेल्या क्षारांची संहती (concentration) वाढते. संपृक्तता बिंदूवर (saturation point) हे क्षार बॉयलरच्या आतील भागावर (inner walls) जमा होतात. जर तयार झालेले क्षार मऊ, सैल आणि बारीक असतील तर त्याला गाळ (sludge) म्हणतात आणि जर बॉयलरच्या आतील भिंतीवर / भागावर घट्ट चिटकून असतील तर त्याला स्केल (scale) म्हणतात.

a) स्केल (Scale)

स्केल म्हणजे बॉयलर्स च्या आतील पृष्ठभागावर घट्टपणे चिकटलेल्या क्षारांचा थर. हा थर यांत्रिकपणे हातोडीच्या सहाय्याने सुद्धा निघू शकत नाही.

b) गाळ (Sludges)

गाळ (sludges) म्हणजे बॉयलरच्या आतील पृष्ठभागावर जमा झालेल्या क्षारांचा मऊ, बारीक आणि सैलसर थर.

कारणे (Causes):

स्केल खालील कारणांमुळे होते

I. कॅल्शियम बायकार्बोनेटचे अपघटन (Decomposition of calcium bicarbonate)

i. $Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 \downarrow H_2O + CO_2 \uparrow$

II. कॅल्शियम सल्फेट जमा होणे – तापमानात वाढ झाल्याने कॅल्शियम सल्फेट ची ($CaSO_4$) विद्राव्यता (solubility) कमी होते. त्यामुळे $CaSO_4$ असे कठीण स्केल बॉयलरच्या आतील पृष्ठभागावर जमा होते.

III. कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम सिलिकेट्स तयार होणे – कठीण पाण्यात अत्यंत कमी प्रमाणात असणाऱ्या अतिसूक्ष्म वाळूचे कण (SiO_2) जेव्हा कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम आयन्स बरोबर अभिक्रिया करतात तेव्हा कॅल्शियम सिलिकेट ($CaSiO_3$) आणि किंवा मॅग्नेशियम सिलिकेट ($MgSiO_3$) तयार होते व असे कठीण स्केल बॉयलर्स च्या आतील पृष्ठभागावर जमा होते की जे काढून टाकणे अवघड असते.

स्केल निर्मितीस प्रतिबंध (Prevention of Scale):

१. बाह्य उपचार / उपाय (External Treatment):

बॉयलर्स मध्ये पाणी वापरण्यापूर्वी ते खालील प्रक्रियेद्वारे मृदु बनवणे.

a. चुना-सोडा प्रक्रिया (Lime-soda Process)
b. झिओलाईट प्रक्रिया (Zeolite Process)
c. आयन एक्सचेंज प्रक्रिया (Ion-Exchange Process)

२. अंतर्गत उपचार / उपाय (Internal treatment)

ह्या मध्ये बॉयलर मध्येच पाण्यात खालील रसायने टाकले जातात.

a. कार्बोनेट कंडिशनिंग (Carbonate conditioning) – ह्या मध्ये सोडियम कार्बोनेट वापरले जाते.
b. फॉस्फेट कंडिशनिंग (Phosphate conditioning) – ह्या मध्ये सोडियम फॉस्फेट वापरले जाते.

c.कॅलगॉन कंडिशनिंग (Calgon conditioning) - ह्या मध्ये कॅलगॉन (Sodium hexametaphosphate) वापरले जाते.

d.सोडियम मेटा ॲल्युमिनेट कंडिशनिंग (Sodium meta aluminate conditioning) – ह्या मध्ये सोडियम मेटा अल्युमिनेट वापरले जाते.

b) गाळ (Sludges):

थंड पाण्यापेक्षा गरम पाण्यात जास्त विद्राव्य असलेल्या $MgSO_4$, $MgCl_2$, $MgCO_3$, $CaCl_2$ इ. क्षारांमुळे गाळ (sludges) तयार होतो.

गाळ निर्मितीस प्रतिबंध (Prevention of Sludges)

१. मृदु पाणी वापरुन ह्याला प्रतिबंध करता येईल.

२. ब्लो डाउन ऑपरेशन (blow down operation) – ह्यात क्षारांनी संहत झालेले पाणी (Concentrated water) हे ताज्या पाण्याने (fresh water) बदलणे.

स्केल आणि गाळ / स्लज मुळे होणारे तोटे (Disadvantages of scales and sludges):

१. जास्त गाळ तयार होण्यामुळे बॉयलर्सच्या कामात अडथळा येतो.

२. स्केल आणि गाळ उष्णतेचे वाहक नसल्यामुळे (poor conductor of heat) बॉयलर्सला अतिरिक्त उष्णता द्यावी लागते, त्यामुळे इंधनाचा वापर जास्त होतो तसेच जास्त गरम केल्यामुळे बॉयलर चे मटेरियल कमकुवत (क्षीण) होते.

३. बॉयलर्सच्या valve आणि condenser मध्ये स्केल आणि गाळ जमा झाल्याने बॉयलरची कार्यक्षमता कमी होते.

४. स्केल व गाळ असमान प्रसरण (expand) झाल्यामुळे पाण्याचे जास्त बाष्पीभवन होते, त्यामुळे जास्त प्रमाणात वाफ तयार होऊन बॉयलरचा स्फोट होऊ शकतो.

५.३ पाण्याचे मृदुकरण (Water Softening)

व्याख्या:

कठीण पाण्यात असणारे क्षार काढून टाकण्याच्या प्रक्रियेला पाण्याचे मृदुकरण म्हणतात.

तत्व (Principle) :

कठीण पाण्यात विरघळलेले कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम चे क्षार पाण्याचे मृदुकरण करताना अघुलनशील / विद्राव्य होतात. असे अघुलनशील क्षार (insoluble salts) गाळण्याच्या प्रक्रियेद्वारे काढले जातात.

५.३.१ तात्पुरता कठीणपणा काढून टाकणे (Removal of Temporary Hardness):

विरघळलेल्या कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियमच्या बायकार्बोनेट्स मुळे पाण्याला तात्पुरता कठीणपणा येतो. i.e. तात्पुरत्या कठीणपणासाठी मुख्य क्षार म्हणजे $Ca(HCO_3)_2$ आणि $Mg(HCO_3)_2$.

i) उकळणे (Boiling):

उकळण्याच्या (Boiling) पद्धतीने पाण्याचा तात्पुरता कठीणपणा कमी करणे.

फक्त उकळण्याने पाण्याचा तात्पुरता कठिणपणा काढून टाकता येतो. उकळण्याने पाण्यातील बायकार्बोनेट्स विघटित होऊन अघुलनशील कॅल्शियम कार्बोनेट आणि मॅग्नेशियम हायड्रॉक्साईड तयार होतात.

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2 \uparrow$$

$$Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2 \uparrow$$

$$MgCO_3 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CO_2 \uparrow$$

ii) क्लार्क पद्धती (Clark's Method):

पाण्याचा तात्पुरता कठीणपणा कमी करण्यासाठी विरी गेलेला चुना (slaked lime – calcium hydroxide) वापरुन काढून टाकला जाऊ शकतो.

कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम बायकार्बोनेट्स विरी गेलेला चुना (slaked lime) बरोबर अभिक्रिया करून अघुलनशील (insoluble) कॅल्शियम कार्बोनेट आणि मॅग्नेशियम हायड्रोक्साईड तयार होते.

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 \downarrow + 2H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + MgCO_3 + 2H_2O$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca\,CO_3 \downarrow + Mg\,(OH)_2 \downarrow$$

५.३.२ पाण्यातील कायमस्वरूपी कठीणपणा काढून टाकणे (Removal of Permanent Hardness)

कठीण पाण्याला मृदु करण्यासाठी खालील महत्वाच्या पद्धती वापरल्या जातात.

A. चुना–सोडा प्रक्रिया (Lime-soda Process)

B. झिओलाईट प्रक्रिया (Zeolite Process)

C. आयन-एक्सचेंज प्रक्रिया (Ion-Exchange Process)

A. चुना–सोडा प्रक्रिया (Lime-soda Process) :

ह्या प्रक्रियेचे मूलभूत तत्व म्हणजे कठीणपणाला करणीभूत असलेल्या विद्राव्य क्षारांना अविद्रव्य / अघूलनशील क्षारांमध्ये रूपांतरित केले जाते आणि ते गाळून (Filtration) किंवा खाली बसवून (Sedimentation) वेगळे करता येते.

प्रक्रिया (Process) :

ह्या प्रक्रियेत, कॅल्शियम हायड्रॉक्साइड आणि सोडियम कार्बोनेट [$Ca(OH)_2$ & Na_2CO_3] प्रमाणात मोजून कठीण पाण्यात टाकले जातात. चुन्याचा उपयोग कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (Carbonate Hardness) कमी करण्यासाठी तर सोड्याचा उपयोग नॉन कार्बोनेट जडपणा / कठीणपणा (Non-carbonate Hardness) कमी करण्यासाठी होतो. जेव्हा चुना आणि सोडा कठीण पाण्यात टाकला जातो तेव्हा पाण्याला जडपणा / कठीणपणा देणारी खनिजे जवळ जवळ अघुलनशिल अवक्षेपात (insoluble precipitate) रूपांतरित होतात.

कॅल्शियम आयन्स मुळे असणारा जडपणा / कठीणपणा कॅल्शियम कार्बोनेट मध्ये अवक्षेपित होतो तर मॅग्नेशियम आयन्स मुळे असणारा जडपणा / कठीणपणा मॅग्नेशियम हायड्रॉक्साइड मध्ये अवक्षेपित होतो. हे अवक्षेप पारंपारिक अशा तुरटीसारखे पदार्थ फिरवून (coagulation / flocculation) तसेच गाळ / अवक्षेप तळाशी बसवून (Sedimentation) वेगळे करता येतात. कठीण पाण्यात असलेले विविध क्षार चुना आणि सोडा वापरुन खालील प्रमाणे वेगळे होतात.

a) चुना वापरुन केलेल्या अभिक्रिया (Reactions of using lime)

i) पाण्यात विरघळलेला कार्बन डायऑक्साइड काढून टाकणे (Removal of dissolved CO_2):

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O$$

ii) पाण्यातील मुक्त आम्लाचे उदासीनिकरण करणे (Neutralisation of free mineral acid):

$$Ca(OH)_2 + 2\,HCl \longrightarrow CaCl_2 + 2\,H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \longrightarrow CaSO_4 + 2\,H_2O$$

iii) पाण्यातील तात्पुरता जडपणा / कठीणपणा काढून टाकणे (Removal of temporary hardness):

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 \downarrow + 2H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + MgCO_3 + 2H_2O$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca\,CO_3 \downarrow + Mg\,(OH)_2 \downarrow$$

iv) पाण्यातील कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा काढून टाकणे

(Removal of permanent hardness: Removal of magnesium chloride and magnesium sulphate

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaCl_2$$

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaSO_4$$

b) सोडा वापरुन केलेल्या अभिक्रिया (Reactions using soda)

पाण्यातील कायमस्वरूपी जडपणा / कठीणपणा काढून टाकणे

i) Removal of permanent hardness: (Removal of chloride and sulphate of calcium)

$$CaCl_2 + Na_2\,CO_3 \longrightarrow CaCO_3 \downarrow + 2\,NaCl$$

$CaSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 \downarrow + Na_2SO_4$

चुना-सोडा प्रक्रिया (Lime-soda Process) ही दोन प्रकारे केली जाऊ शकते.

१. थंड चुना-सोडा प्रक्रिया (Cold Lime-Soda Process)

२. गरम चुना-सोडा प्रक्रिया (Hot Lime-Soda Process)

१. थंड चुना-सोडा प्रक्रिया (Cold Lime-Soda Process)

प्रक्रिया (Process):

चुना आणि सोडा यांची मोजलेली मात्रा खोली तापमानाला (Room Temperature) पाण्यात मिसळली जाते. तयार झालेल्या अवक्षेपाला टाकीच्या तळाशी बसण्यास २४ तास लागतात. ॲल्युमिनियम सल्फेट, तुरटी (alum) सारखे coagulant प्रक्रियेच्या वेळी टाकणे आवश्यक असते.

हे coagulants हायड्रोलाईज होऊन चिकट अवक्षेप (gelatineous precipitate) तयार करते व तो अवक्षेप बारीक बारीक / अतिसूक्ष्म कण पकडून (entrap) ठेऊन टाकीच्या (container / tank) तळाशी बसण्यास मदत करते.

थंड चुना सोडा प्रक्रिया करून मिळवलेल्या पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा (Hardness) ५०-६० ppm पर्यंत आढळून येतो.

२. गरम चुना-सोडा प्रक्रिया (Hot Lime-Soda Process)

प्रक्रिया (Process): ही प्रक्रिया ९०-१०० डिग्री सेल्सियस तापमानावर करावी लागते म्हणजेच पाण्याच्या उत्कलनांका जवळ (१००^{0}C). ही प्रक्रिया उच्च तापमानावर केल्यामुळे प्रक्रियेचा दर वाढतो व पाणी मृदु करण्याची प्रक्रिया १५ मिनिटात पूर्ण होऊ शकते.

प्रक्रिये दरम्यान तयार झालेल्या अवक्षेप किंवा गाळ वेगाने खाली / तळाशी बसल्यामुळे ह्या प्रक्रियेसाठी coagulant ची गरज पडत नाही.

गरम चुना-सोडा प्रक्रिया करून मिळवलेल्या पाण्याचा जडपणा / कठीणपणा १५-३० ppm पर्यंत आढळून येतो.

चुना-सोडा प्रक्रियेचे तोटे (Disadvantages of lime-soda process):

१. काळजीपूर्वक आणि कुशल देखरेखीची / देखभालीची आवश्यकता असते.

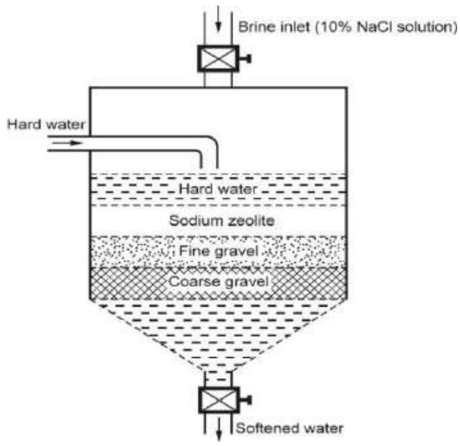
२. ही प्रक्रिया घरच्याघरी वापरता येऊ शकत नाही, कारण चुना आणि सोडा किती आवश्यक आहे याची मात्र ठरविणे आवश्यक असते, म्हणजे ठरविणे शक्य होत नाही.

३. प्रक्रियेद्वारे मृदु केलेले पाणी (soft water) उच्च दाब असलेल्या बॉयलरमध्ये वापरले जाऊ शकत नाही कारण यात सोडियम सल्फेट सारख्या विद्राव्य क्षारांचे बरेच (appreciable – लक्षात येण्याजोगे) प्रमाण असते.

B. झिओलाईट प्रक्रिया (Zeolite / Permutit Process):

झिओलाईट हे नैसर्गिक हायड्रेटेड एल्युमिनोसिलिकेट खनिज असते.त्याचे सूत्र खालीलप्रमाणे दर्शवता येते. Na_2O, AlO_3 $x\,SiO_2$ $y\,H_2O$

(∵ x = २-१०, y = २-६)



प्रक्रिया (Process) :

१. ह्या प्रक्रियेद्वारे कठीण पाणी मृदु बनविण्यासाठी उभ्या आकाराच्या सिलेंडर मध्ये असलेल्या झिओलाईटच्या थरावरून सोडले जाते / पाठविले जाते.

झिओलाईट 'Na_2Z' ह्या अक्षरांने दर्शविले जाते.

२. पाण्याच्या कठीणपणास करणीभूत असलेले Ca^{2+} आणि Mg^{2+} आयन्स / cations झिओलाईट थरामध्ये CaZ आणि MgZ बनून राहतात. हे आपण खालील प्रमाणे रासायनिक अभिक्रियेने दर्शवू शकतो.

a) $Na_2Z + CaCl_2$ (or $CaSO_4$) $\longrightarrow$ CaZ + 2NaCl (or Na_2SO_4)

b) $Na_2Z + MgSO_4$ (or $MgCl_2$) $\longrightarrow$ $MgZ + Na_2SO_4$ (or 2NaCl)

c) $Na_2Z + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaZ + 2NaHCO_3$

d) $Na_2Z + Mg(HCO_3)_2 \longrightarrow MgZ + 2NaHCO_3$

३. कठीण पाण्यात असलेले Ca^{2+} आणि Mg^{2+} आयन्स हे कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम झिओलाईट मध्ये रूपांतरित झाल्यामुळे मृदु पाणी Ca^{2+} आणि Mg^{2+} आयन्स विरहित होते.

अखेरीस सोडियम झिओलाईट ने त्याची सोडियम बदलण्याची (Sodium Exchange) क्षमता गमवल्यामुले त्याला Exhaust झाले म्हणतात व थकलेल्या / शक्तिहीन / Exhausted झिओलाईट बेडला पुन्हा वापरणेयोग्य करणे आवश्यक असते.

४. सोडियम झिओलाईट चे पुनरुत्थान / पुन्हा निर्माण करणे (regeneration) – १० % सोडियम क्लोराईड (NaCl) म्हणजे brine solution ने केले जाते.

a) $CaZ + 2\ NaCl \longrightarrow Na_2Z + CaCl_2$

b) $MgZ + 2\ NaCl \longrightarrow Na_2Z + MgCl_2$

सोडियम झिओलाईटच्या थरातून कॅल्शियम आणि मॅग्नेशियम क्लोराईड काढून टाकण्यासाठी, आयन्स विरहित पाण्यात (deionised water) सोडियम झिओलाईट धुतले जाते.

फायदे (Advantages)

१. वापरलेले उपकरण सुटसुटीत (compact) तसेच वापरण्यास साधे आणि सोपे आहे.
२. सोडियम झिओलाईट आपोआपच पाण्याच्या वेगवेगळ्या कठीणपणाशी जुळते.
३. ह्या प्रक्रियेत कठीणपणा (Hardness) निर्माण करणारे Ca^{2+} आणि Mg^{2+} सारखे आयन्स व सोडियम आयन्स ची देवाणघेवाण झाल्यामुळे कुठल्याही प्रकारचा अवक्षेप किंवा गाळ तयार होत नाही.
४. कठीणपणा पुर्णपणे काढून टाकला जातो.

तोटे (Disadvantages)

१. गढूळ पाणी आणि suspended कण असलेले पाणी झिओलाईट सॉफ्टनर ला देऊ नये कारण गढूळपणाने त्याची सच्छिद्रता बंद (Choke) होऊ शकते.

C.आयन विनिमय / अदलाबदल प्रक्रिया (Ion-exchange Process):

ह्या प्रक्रियेस Deionisation किंवा Demineralisation म्हणतात कारण ह्या प्रक्रियेत सगळेच धनप्रभारीत आयन (cation) आणि ऋणप्रभारीत आयन (anion) पुर्णपणे काढून टाकले जातात. ह्या प्रक्रियेत दोन प्रकारचे resin वापरले जातात.

a) धनप्रभारीत आयन बदलणारे रेझीन (cation exchange resin)
b) ऋणप्रभारीत आयन बदलणारे रेझीन (anion exchange resin)

a) धन प्रभारीत आयन बदलवणारे रेझीन (Cation exchange resin)

ह्या प्रकारचे रेझीन त्यांच्याकडील H^+ आयन, धनप्रभारीत आयन्सनी बदलवतात. ह्या रेझीन मध्ये सर्वसाधारणपणे कार्यात्मक ग्रुप (functional group) हे

i) शीघ्र आम्लारी युक्त असे धनप्रभारीत आयन बदलणारे (strong acidic cationic exchanger): Sulphoric group – $R–SO_3H$

ii) सौम्य आम्लारी युक्त असे धनप्रभारीत आयन बदलणारे (weakly acidic cationic exchanger): Carboxyl group- R–COOH असतात.

हे धन प्रभारीत आयन बदलणारे रेझीन, "**RH_2**" ह्याप्रमाणे दर्शविता येतात. ह्यातील R अविद्राव्य/अघुलनशील पॉलिमर मॅट्रिक्स असतात आणि H^+ हा बदलणारा आयन आहे.

उदाहरणे : Amberlite IR -१२०, Dowex-५० हे व्यावसायिक (commercial) cation exchange resin चे उदाहरणे आहेत.

b) ऋणप्रभारीत आयन बदलवणारे रेझीन (Anion exchange resin)

ह्या प्रकारचे रेझीन त्यांच्याकडील हयड्रोक्सिल OH^- आयन, ऋणप्रभारीत आयन्सनी बदलवतात. ह्या

रेझीन मध्ये सर्वसाधारणपणे कार्यात्मक ग्रुप (functional group) हे,

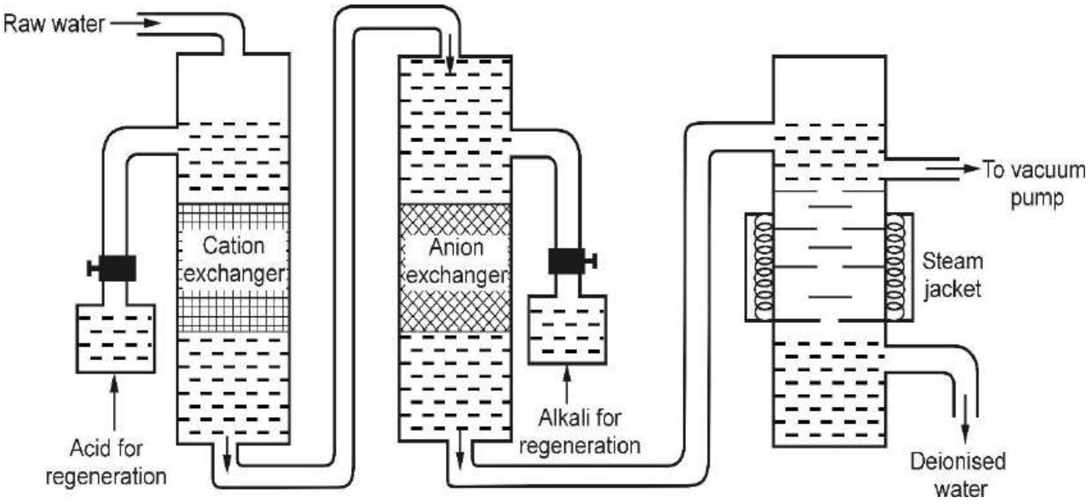
i) शीघ्र अल्कलीयुक्त असे ऋणप्रभारीत आयन बदलवणारे (strong basic anionic exchange): Quaternary ammonium group – ($RR_3\ N^+\ OH^-$)

ii) सौम्य अल्कलीयुक्त असे ऋणप्रभारीत आयन बदलणारे (weakly basic anionic exchanger) : Amine group- RNH_3OH असतात.

हे "$R'(OH)_2$" दर्शविले जातात / दर्शविता येतात. ह्यातील R हे अविद्राव्य/अघुलनशील (insoluble) पॉलिमर मॅट्रिक्स आहे आणि OH^- हा बदलणारा आयन आहे.

उदाहरणे : Amberlite -४००, Dowex-३

हे व्यावसायिक (commercial) anion exchange resin आहेत.



आकृती ५.२

प्रक्रिया : process

१. ह्या प्रक्रियेमध्ये कठीण पाणी प्रथम cation exchange resin असलेल्या स्तंभातून / टाकीतून (column) पाठविले जातात. पाण्यातील सर्व Ca^{2+} आणि Mg^{2+} आयन्स काढून त्याजागी समतुल्य प्रमाणात H^+ आयन्स पाण्यात सोडले जातात.

a) $RH_2 + Ca^{2+} \longrightarrow RCa + 2H^+$

OR $RH_2 + CaCl_2 \longrightarrow RCa + 2HCl$

b) $RH_2 + Mg^{2+} \longrightarrow RMg + 2H^+$

OR $RH_2 + MgSO_4 \longrightarrow RMg + H_2SO_4$

२. वरील आम्लयुक्त पाणी याचा अर्थ cation विरहित पाणी दुसऱ्या anion exchange resin असलेल्या स्तंभातून / टाकीतून (column) पाठविले जाते. तेथे सर्व ऋणप्रभारीत आयन्स जसे Cl^-, SO_4^{2-} काढून टाकले जातात व समतुल्य प्रमाणात OH^- आयन्स पाण्यात सोडले जाते.

a) $R'(OH)_2 + 2Cl^- \longrightarrow RCl_2 + 2OH^-$

OR $R'(OH)_2 + 2HCl \longrightarrow R'Cl_2 + 2H_2O$

b) $R'(OH)_2 + SO_4^{2-} \longrightarrow R'SO_4 + 2OH^-$

OR $R'(OH)_2 + H_2SO_4 \longrightarrow R'SO_4 + 2H_2O$

३. Cation exchange resin ने सोडलेले H^+ आयन्स आणि anion exchange resin ते सोडलेले OH^- आयन्स एकत्र होऊन पाणी तयार होते.

$H^+ + OH^- \longrightarrow H2O$

४. काही वेळाने दोन्हीही resin चे त्यांच्याकडील H^+ आयन्स आणि OH^- आयन्स संपतात म्हणजे आता ते cation किंवा anion बदलू शकत नाही म्हणून असे निकामी झालेले रेझीन पुन्हा सक्रिय/उपयोग (regenerate) करता येतात.

Regeneration Process

a) धनप्रभारीत आयन बदलणारे रेझीन पुनर्जीवित करणे (Regenerate करणे)
(Regeneration of cation exchange resin)
–ह्यासाठी सौम्य (dilute) HCl किंवा H_2SO_4 वापरले जाते.

i) $R_2Ca + H_2SO_4 \longrightarrow RH_2 + CaSO_4$

ii) $R_2Mg + 2HCl \longrightarrow RH_2 + MgCl_2$

तयार झालेले क्षार काढून टाकण्यासाठी cation exchange resin असलेला स्तंभ/टाकी पाण्याने (deionised/distilled water) ने स्वच्छ धुवावी लागते.

b) ऋणप्रभारीत आयन बदलणारे रेझीन पुनर्जीवित करणे (Regenerate करणे)
(Regeneration of anion exchange resin)
–ह्यासाठी सौम्य (dilute) NaOH किंवा KOH वापरले जाते

i) $R'SO_4 + 2NaOH \longrightarrow R'(OH)_2 + Na_2SO_4$

ii) $R'Cl_2 + 2KOH \longrightarrow R'(OH)_2 + 2KCl$

तयार झालेले क्षार काढून टाकण्यासाठी cation exchange resin असलेला स्तंभ/टाकी पाण्याने (deionised/distilled water) ने स्वच्छ धुवावी लागते.

फायदे (Advantages)

१. ह्या प्रक्रियेचा उपयोग करून अतिशय आम्लीय व अल्कलाईन पाणी सुद्धा मृदु (soften) करता येते.
२. ह्या प्रक्रियेने पाण्यात असलेले सर्व cation आणि anion काढून टाकले जातात.
३. झिओलाईट प्रक्रियेप्रमाणे ह्या प्रक्रियेने बनविलेल्या पाण्यात सोडीयम चे आयन नसतात.
४. ह्या प्रक्रियेने अत्यंत कमी कठीणपणाचे (Hardness चे) पाणी अंदाजे २ ppm तयार होते.

तोटे (Disadvantages)

१. ही प्रक्रिया महाग आहे. उपकरणे आणि रेझीन दोन्ही महाग आहे.
२. गढूळ पाणी ह्या प्रक्रियेची क्षमता कमी करते.

५.४ नगरपालिका जल उपचार (Muncipal Water Treatment)

पिणे, स्वयंपाक करणे, साफसफाई इ. घरगुती वापरासाठी पाणी वापरले जाते. जवळजवळ ४०% रोग हे दूषित पाण्याने होतात.नगरपालिका जल उपचार दरम्यान नैसर्गिक पाण्यातील खाली दिलेल्या अशुद्धी काढून टाकाव्या लागतात.

१. तरंगणाऱ्या अशुद्धी (Suspended impurities)
२. विद्राव्य अशुद्धी (Dissolved impurities)
३. कोलॉयडल अशुद्धी (Colloidal impurities)
४. जैविक अशुद्धी (Biological impurities)

पिण्यायोग्य पाण्यासाठी असणाऱ्या गुणधर्मांची आवश्यकता (**Requirement of Potable Water)**

पिण्यायोग्य पाण्यासाठी खालील गुणधर्मांची आवश्यकता असते.

१. पाणी हे रंगहीन, स्वच्छ, घनपदार्थ विरहित असावे.
२. पाणी हे गंधहीन, मृदु (soft) असावे तसेच त्याची चव चांगली असावी.
३. पाणी हे हानिकारक धातूंच्या क्षारांपासून मुक्त असले पाहिजे.
४. पाणी हे रोगकारक / रोग निर्माण करणाऱ्या जिवाणूंपासून मुक्त असावे परंतु त्यात प्रमाणशीर विरघळलेला ऑक्सिजन असावा.

पाणी पिण्यायोग्य होण्यासाठी नगरपालिका उपचार पद्धती उपयोगी पडते. त्या पद्धती खालील प्रमाणे–

५.४.१ स्क्रीनिंग (Screening)
५.४.२ सेडीमेंटेशन (Sedimentation)
५.४.३ जमावट सह तलछट (Sedimentation with Coagulation)
५.४.४ गाळण (Filtration)
५.४.५ निर्जंतुकीकरण (Sterilization)

५.४.१ स्क्रिनिंग (Screening)

ही पाण्यातून तरंगणारे पदार्थ (floating material) काढून टाकण्याची प्रक्रिया आहे. मोठे छिद्र असलेल्या जाळीतून / पडद्यातून पाणी पाठविले जाते. त्यामुळे तरंगणारे पदार्थ जाळीवर / पडद्यावर

अडकून राहतात.

५.४.२ सेडिमेंटेशन / तलछट (Sedimentation)

मोठ्या टाकीमधून पाणी न हलू देता स्थिर ठेवले जाते त्यामुळे तरंगणाऱ्या छोट्या अशुद्धी तसेच colloidal कण / अशुद्धी काढून टाकता येतात. पाण्याची टाकी २-६ तासांपर्यंत स्थिर ठेवली जाते. गुरुत्वाकर्षण बलामुळे बहुतेक सर्व तरंगणाऱ्या अशुद्धी टाकीच्या तळाशी बसतात नंतर पंपाच्या सहाय्याने वरील स्वच्छ पाणी काढले जाते. पाण्यामध्ये असलेले मातीचे अतिशय बारीक कण व colloidal कण गाळून तसेच तलछटीने (sedimentation) सुद्धा वेगळे करता येत नाही तेव्हा ते कोयाग्युलेशन सह तलछटीने काढून टाकले जातात. (Sedimentation with coagulation)

५.४.३ जमावट सह तलछट (Sedimentation with coagulation)

ह्यामध्ये तलछट (sedimentation) साठी पाणी स्थिर ठेवण्यापूर्वी Coagulant टाकले जातात. त्यामुळे ह्या प्रक्रियेत तरंगणारे (Suspended) व अतिशय सुक्ष्म कण (Colloidal) काढून टाकले जातात. अतिशय बारीक तथा अशुद्धी coagulant अडकवतात त्यामुळे अश्या अशुद्धी खाली बसू शकतात. मुख्यत्वे तुरटी, फेरीक सल्फेट, ॲल्युमिनियम सल्फेट इ. Coagulant म्हणून द्रवरूपात पाण्यात सोडले जातात. ते धनप्रभारीत असे Fe^{3+}, Al^{3+} आयन्स पाण्यात मुक्त करतात त्यामुळे ते colloidal कणांवरील ऋणप्रभार उदासीन करून मोठे कण बनवतात जे गुरुत्वाकर्षणामुळे लवकर टाकीच्या तळाशी बसतात.

५.४.४ गाळण प्रक्रिया (Filtration)

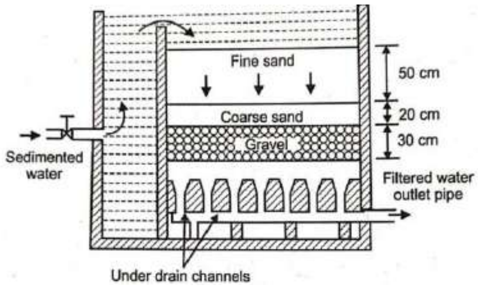
पाण्याच्या आणखी शुद्धीकरणासाठी आणि सूक्ष्मजीव, रंग, गंध दूर करण्यासाठी ही गाळण प्रक्रिया केली जाते. ही प्रक्रिया पाण्यातील अघुलनशील (insoluble), कोलॉयडल आणि जैविक अशुद्धी (colloidal and bacterial impurities) दूर करण्यासाठी वापरतात.

ह्या प्रक्रियेत पाणी, बारीक वाळू, जाड वाळू, छोटे-छोटे दगड यांच्या थरातून पाठविले जाते. बारीक वाळूच्या रिकाम्या जागेत (voids) सूक्ष्मजीव सेंद्रिय पदार्थांचे (organic matter) विघटन करतात, त्यामुळे जैविक अशुद्धी काढून टाकली जाते.

गुरुत्व वाळू फिल्टर (Gravity Sand Filter): हे नगरपालिका जल / पाणी पुरवठ्यासाठी उपयुक्त आहे.

i) ह्या फिल्टर मध्ये उथळ आयताकृती कॉंक्रिटची मोठी टाकी असते.
ii) टाकीच्या तळाशी विटांचे एक चॅनल असते त्याद्वारे फिल्टर केलेले पाणी बाहेर जाते.
iii) वीट वाहिनी (चॅनल वर) सुमारे ३० सें.मी. चा जाड दगड-गोटे (gravel) थर असतो.
iv) नंतर सुमारे २० सें.मी. जाडीचा जाड खडबडीत वाळूचा थर असतो.
v) खडबडीत वाळूच्या वर सुमारे ५० सें.मी. जाडीचा बारीक वाळूचा थर असतो.

कार्यप्रणाली (Working) Sedimented पाणी वाळूच्या वरच्या थरातून पाठविले जाते. पाणी वाळूच्या थरांमधून जाताना बारीक तरंगणारे (suspended) कण, बहुतेक सर्व जीवजंतु वाळूच्या वरच्या थरात टिकून राहतात. स्वच्छ फिल्टर केलेले पाणी विटांच्या चॅनल मध्ये संकलित केले जाते व तेथून बाहेर काढले जाते.



५.४.५ निर्जंतुकीकरण (Sterilization) यामध्ये पाणी पिण्यायोग्य होण्यासाठी रोगनिर्मिती करणाऱ्या सूक्ष्म जीवांचा नाश करणे समाविष्ट आहे. निर्जंतुकीकरण बऱ्याच पद्धतीने केले जाते. त्यापैकी खालील काही पद्धतींचा अवलंब केलेला असतो.

१. उकळणे (Boiling) :- ही निर्जंतुकीकरणाची सर्वात सोपी पद्धत आहे परंतु ती केवळ घरगुती वापरासाठी योग्य आहे. या पद्धतीत २०-२५ मिनिटे पाणी जोराने उकळले जाते.

२.क्लोरीनेशन (Chlorination)

वायु किंवा द्रव स्वरुपात क्लोरीन पाण्यात मिसळला जातो त्यामुळे हायपोक्लोरस आम्ल (Hypochlorus Acid) तयार होते, जे प्रभावी जंतुनाशक (Powerful Germicide) आहे.

$Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HOCl$

(Hypochlorus Acid)

फायदे (Advantages)

i) हे किफायतशीर (Economical) आहे.

ii) ह्यामुळे पाण्यात कॅल्शियम चे क्षार तयार होत नाही म्हणजे पाणी कठीण (Hard) बनत नाही.

iii) ह्याला साठवण्यासाठी कमी जागा लागते.

तोटे (Disadvantages)

i) जास्त क्लोरीन झाल्यास पाण्याची चव बिघडते. त्याला एक प्रकारचा गंध येतो व त्यामुळे श्लेष्मल त्वचेला (mucous membrane) चुरचुर (irritation) होते.

३.ब्लिचिंग पावडर घालून (By adding bleaching powder) –

प्रति १०० किलोलिटर पाण्यात सुमारे १ किलो ब्लिचिंग पावडर मिसळली जाते. पाणी काही काळासाठी स्थिर ठेवले जाते.पाण्या बरोबरच्या रसायनिक अभिक्रिये दरम्यान हायपोक्लोरस आम्लाची निर्मिती होते, जी की प्रभावी जंतूंनाशक आहे.

i) $CaOCl_2 + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + Cl_2 \uparrow$

Bleaching Powder

ii) $Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HOCl$

तोटे (Disadvantages)

१.पाण्यामध्ये कॅल्शियम हायड्रॉक्साइड थर $Ca(OH)_2$ आल्यामुळे पाणी कठीण (Hard) होते / पाण्याचा कठीणपणा वाढतो.

२.अतिरिक्त ब्लिचिंग पावडर मुळे पाण्याची चव बिघडते व पाण्याला एकप्रकारचा गंध येतो.

४. क्लोरमाईन्स (By using Chloramine)

क्लोरीन आणि अमोनिया २:१ प्रमाणात एकत्र करून क्लोरामईन मिळविले जाते. जे पाण्यात हायपोक्लोरस आम्ल तयार करते जे की प्रभावशाली जंतूंनाशक आहे.

i) $Cl_2 + NH_3 \rightarrow Cl\,NH_2 + HCl$

Chloramine

ii) $Cl\,NH_2 + H_2O \rightarrow HOCl + NH_3$

फायदे (Advantages)

i) ह्यामध्ये कुठल्याही प्रकारचा वास / गंध पाण्याला येत नाही. पाण्याला चांगली चव येते.

ii) क्लोरामाईन गोळ्यांच्या स्वरुपात दुर्गम भागात वापरले जाऊ शकते.

५.ओझोनायझेशन (Ozonization)

थंड व कोरड्या ऑक्सिजनमध्ये silent electric discharge देऊन ओझोन तयार केला जातो.पाण्याचे निर्जंतुकीकरण करण्यासाठी, ओझोनचा २-३ ppm डोस १०-१५ मिनिटांसाठी पाण्यात पाठविला जातो.

फायदे (Advantages)

i) ओझोन पाण्याला रंगहीन, गंधहीन बनवते.

ii) ओझोन पाण्याला चांगली चव देते.

iii) जास्त प्रमाणात झालेले ओझोन पाण्याला हानिकारक ठरत नाही कारण त्याचे ऑक्सिजनमध्ये विघटन होते.

तोटे (Disadvantages)

१. ही प्रक्रिया महाग आहे.

२. ओझोन corrosive घटक आहे.

६. $KMnO_4$ वापरुन

सामान्यत: पृष्ठभागावरील (Surface water) खराब पाणी म्हणजे घन चव, गंध असणाऱ्या पाण्याला निर्जंतुकीकरणासाठी $KMnO_4$ वापरले जाते. ग्रामीण भागात जेथे विहीरीचे पाणी वापरले जाते, तेथे याचा वापर केला जातो.

७.वायुपीजन (Aeration)

ही पद्धत शहर पाणी पुरवठ्यासाठी आधुनिक अशी आहे. वातावरणात बारीक थेंबाच्या रूपात पाणी फवारणी करण्याच्या प्रक्रियेस वायुपीजन (Aeration) म्हणतात. ह्या पद्धतीत छिद्रे असलेल्या पाईपद्वारे पाणी दाबाने सोडले जाते. पाणी हवेच्या संपर्कात आल्यामुळे वातावरणातील ऑक्सिजनच्या संपर्कात येऊन जैविक पदार्थांचे विघटन / ऑक्सिडेशन होते. सूर्याच्या अतिनील (ultraviolet) किरणांमुळे जिवाणू नष्ट होतात.
दुसऱ्या टाकीमध्ये शुद्ध पाणी गोळा केले जाते.

तोटे (Disadvantages)

पाण्याचा हवेबरोबरचा संपर्क कमी वेळेचा असल्याने हवा तसा परिणाम मिळू शकत नाही.

८.अल्ट्रा व्हायोलेट किरण / अतिनील किरण (Ultraviolet Rays):

सर्व प्रकारची जीवजंतु नष्ट करण्यासाठी अतिनील किरणे प्रभावी आहे. ह्यात अतिनील किरणांचा वर्षाव वाहत्या पाण्यावर केन्द्रित केला जातो.

तोटे (Disadvantages)

ही पद्धत महाग असल्याने नगरपालिका निर्जंतुकीकरणासाठी वापरली जाऊ शकत नाही.
ब्यूरो ऑफ इंडियन स्टँडर्डस नुसार पाण्यात शिसेची (Lead -Pb) अधिकतम मर्यादा ०.०५ मिलिग्रॅम/लीटर आहे.

५.५ सांडपाणी प्रक्रिया (Waste Water Treatment):

सांडपाणी प्रक्रियेचे मुख्य उद्दीष्ट म्हणजे जास्तीत जास्त घनपदार्थ काढून टाकणे आणि असे सांडपाणी तयार करणे की ते पाणी चक्रात (Water Cycle) पुन्हा पाठवू शकतो, जेणेकरून वातावरणावर त्याचा परिणाम होणार नाही. हे पाणी विविध कारणांसाठी पुन्हा वापरू शकतो. थोडक्यात सांडपाण्यातून दूषित पदार्थ काढण्यासाठी वापरली जाणारी प्रक्रिया आहे. सांडपाणी हे ९९.९ % पाणी आणि ०.१ % घनपदार्थांचे मिश्रण आहे.

सांडपाणी / टाकाऊ पाण्याची वैशिष्टे :

१.टाकाऊ पाण्याला अप्रिय गंध आहे, त्यातील रंग सांडपाण्याच्या स्त्रोतनुसार राखाडी, काळा, पिवळा किंवा तपकिरी असू शकतो.
२.सांडपाण्यामद्धे रोगजनक सूक्ष्म जीव असतात आणि ते मानवांना आणि प्राण्यांना धोकादायक आजार पसरवतात.
३.यात विषारी जड धातूंसारख्या घातक पदार्थांचा समावेश असतो.
४.ह्या पाण्यापासून दुर्गंधीयुक्त वायु तयार होतात व त्यास दुर्गंधी येते.
५.सांडपाण्याचे तापमान सामन्यात: पाणीपुरवठ्यापेक्षा जास्त असते.

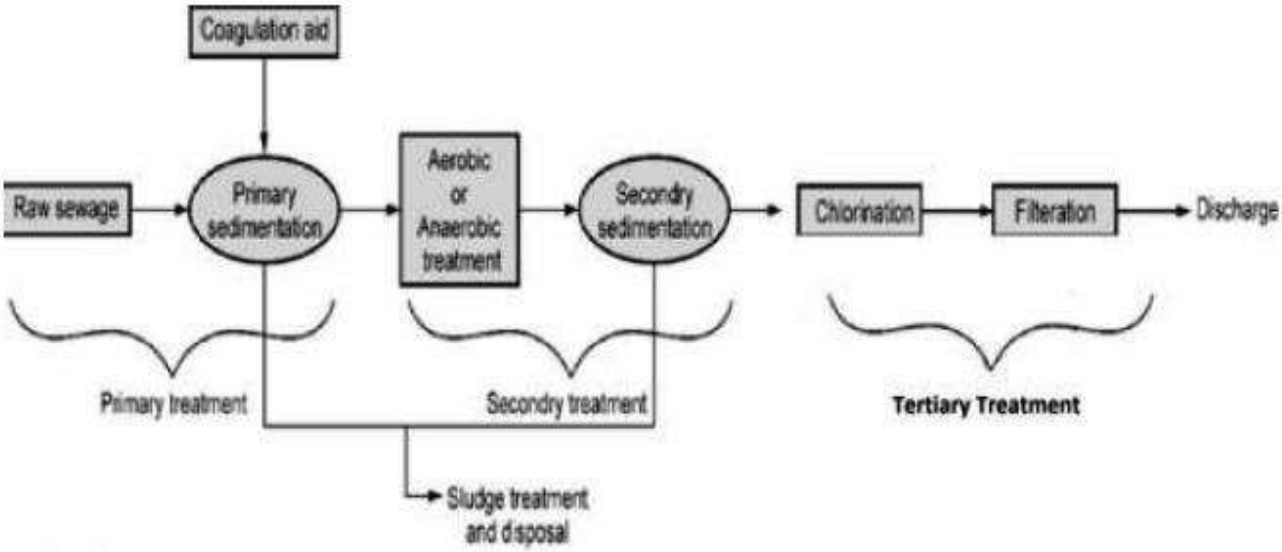
५.५.१ सांडपाणी प्रक्रिया

ह्या प्रक्रियेमध्ये विविध प्रकारच्या अजैविक संयुगे (inorganic compounds), प्लॅस्टिक, रोगकारक जीवजंतु (Pathogenic Organisms), जड धातू, तेल, कीटकनाशके, इ. अशुद्धी काढून टाकल्या जातात. वरील अशुद्धी काढून पाणी सुरक्षितपणे वातावरणात सोडले जाते.

ह्या प्रक्रियेत खालील तीन पायऱ्यांचा समावेश आहे.

१.प्राथमिक कचरा (सांडपाणी) उपचार प्रक्रिया
२.दुय्यम कचरा (सांडपाणी) उपचार प्रक्रिया
३.तृतीय कचरा (सांडपाणी) उपचार प्रक्रिया

सांडपाण्यासाठी प्रक्रिया खाली दिलेल्या फ्लो चार्टचा (Flow-Chart) वापर करून वर्णन करता येतात.



आकृती ५.४

१.प्राथमिक कचरा (सांडपाणी) उपचार प्रक्रिया

यात अघुलनशील पदार्थ / विद्राव्य पदार्थ काढून टाकणे समाविष्ट आहे.

- तरंगणारे पदार्थ / अशुद्धी काढून टाकण्यासाठी कचऱ्याचे पाणी जाळी / पडदा (Screen) वरून पाठविले जाते, नंतर ते प्राथमिक तळछट (Sedimentation) प्रक्रियेसाठी पाठविले जाते.
- प्राथमिक sedimentation मध्ये तरंगणारे आणि सहज खाली बसणाऱ्या अशुद्धी काढल्या जातात. Coagulant टाकून Sedimentation प्रक्रिया जलद केली जाते.
- खाली बसलेला गाळ (Sludge) तळापासून काढला जातो. तर तरंगणारा तेलाचा व वंगनाचा थर (oil and grease) स्कीमिंग उपकरणे काढून टाकले जाते. Skimming म्हणजे पृष्ठभागाला स्पर्श करून वरचेवर काढून टाकणे.

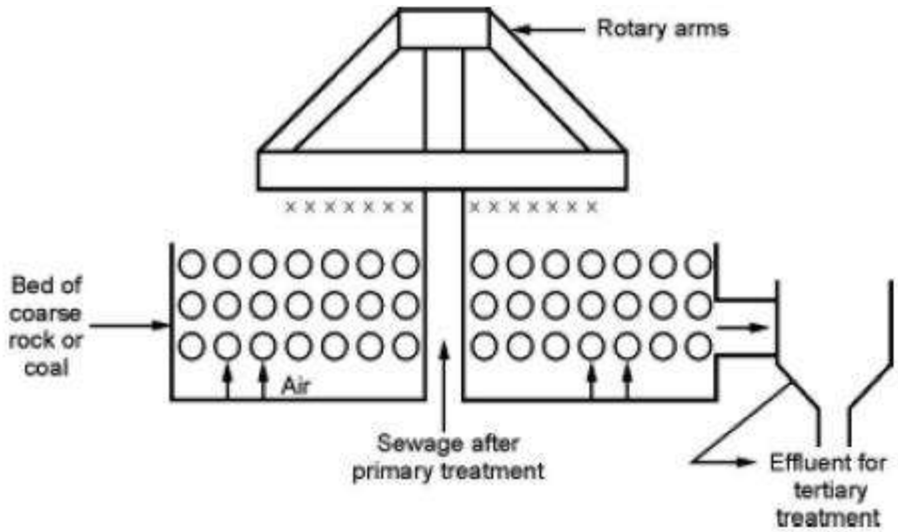
२.द्वितीय कचरा (सांडपाणी) उपचार प्रक्रिया

- ह्या द्वितीय उपचार प्रक्रियेत सेंद्रिय पदार्थांचे एरोबिक (in presence of air) किंवा अनएरोबिक (in absence of air) पद्धतीने विघटन (Biodegradation) केले जाते.
- सांडपाण्यामध्ये सेंद्रिय प्रदूषकांचे प्रमाण खूप जास्त असते. ज्यामुळे पाण्याची ऑक्सिजन पातळी कमी होते. म्हणूनच हे टाळण्यासाठी सांडपाण्याची BOD (Biochemical Oxygen Demand) पातळी स्वीकार्य पातळीवर ठेवून नंतरच वातावरणात सोडले जाते.
- एरोबिक वातावरणामध्ये सूक्ष्म जीवांचा समावेश केल्याने सेंद्रिय कचरा कमी हानिकारक उत्पादनांमध्ये रूपांतरित होतो आणि सांडपाण्याची BOD पातळी स्वीकार्य श्रेणीपर्यंत राखली जाते.

पुढीलपैकी कोणत्याही पद्धतीचा उपयोग करून सांडपाण्यावर जैविक प्रक्रियेद्वारे उपचार केले जातात.

A) ट्रिकलिंग फिल्टर (Trickling Filter):

- ह्या फिल्टर मध्ये एका वर्तुळाकार टाकीत २ मीटर बारीक फोडलेले खडकाचे / दगडाचे तुकडे (Crushed Rocks) किंवा Anthracite कोळशाचा थर दिलेला असतो.वरील फिल्टरिंग सामग्री मधून सांडपाणी, फिरत्या (Rotary) फिडर (Feeder) आर्मने (Arm) पाठविले जाते.
- फिल्टर मध्ये हवा वरच्या दिशेने पंप केली जाते . सूक्ष्म जीव ह्या फिल्टरिंग माध्यमात वाढतात.
- हे सूक्ष्मजीव हवेच्या उपस्थितीत सेंद्रिय पदार्थांचे कार्बन डाय ऑक्साईड आणि पाण्यात विघटन करतात.
- उपचारित सांडपाणी (Treated Sewage) फिल्टरच्या तळाशी गोळा केले जाते. ह्या प्रक्रियेद्वारे ८५-९०% पर्यंत BOD मध्ये कपात होते.



आकृती ५.५

जैविक वेक्टर फिरवणे (Rotating Biological Vecter):

- जैविक वेक्टर फिरवणे हे Trickling Filter सारखेच आहे परंतु fixed filter media ऐवजी ह्यामध्ये उच्च घनता असलेले पॉलिथीन (HPDE) किंवा पॉलीस्टीरीन (Polystyrene) च्या चकत्या (Discs) फिरणाऱ्या शाफ्टवर चढविलेल्या असतात.
- सूक्ष्मजीव चकत्यांवर लेपित असतात.
- हे सूक्ष्मजीव हवेच्या उपस्थितीत सांडपाण्यातील सेंद्रिय पदार्थांचे विघटन करतात व त्यांना नष्ट करतात.

B) सक्रिय गाळ प्रक्रिया (Activated Sludge Process):

ही प्रक्रिया वरील दोन प्रक्रियांपेक्षा भिन्न आहे.

- या प्रक्रियेत सांडपाणी एका वायुपीजन (Aeration Tank) टाकीत काढले जाते आणि त्यामधून हवा किंवा ऑक्सिजन सोडला जातो.
- सक्रिय गाळ (Activated Sludge) सांडपाण्यातून हवा किंवा ऑक्सिजन सोडल्यामुळे तयार होतो. त्यात मोठ्या प्रमाणात सूक्ष्मजीव असलेली सेंद्रिय सामग्री असते. हे प्राथमिक उपचारानंतर येणाऱ्या कचरा पाण्यात / सांडपाण्यात टाकले जाते.
- वरील मिश्रणात हवा किंवा ऑक्सिजन सोडला जातो, त्यामुळे सूक्ष्मजीवांचे सांडपाण्यातील सेंद्रिय पदार्थांवर पोषण होते आणि सेंद्रिय पदार्थांचे विघटन होते.
- पुरेश्या कालावधीनंतर पाणी टाक्यांमध्द्धे स्थिर होऊ देतात आणि वरील नितळ (clear) पाण्याचा उपयोग पुढच्या उपचारासाठी / प्रक्रियेसाठी केला जातो.
- सक्रिय गाळ नंतर पुन्हा वायुपीजन कक्षात / टाकीत आणला जातो. पुढील सांडपाणी प्रक्रियेत वापरला जातो.

३.तृतीय कचरा उपचार / सांडपाणी प्रक्रिया (Tertiary Waste Treatment) :

प्राथमिक आणि दुय्यम उपचारानंतर / प्रक्रियेनंतर येणाऱ्या पाण्यात विरघळलेले सेंद्रिय आणि अजैविक संयुगे, नायट्रोजन, फॉस्फरस, एकपेशीय वनस्पती (algae), विषाणू (viruses), जिवाणू (bacteria) असे सूक्ष्मजीव इ. वर तृतीय कचरा उपचार / सांडपाणी प्रक्रियेत उपचार केला जातो.

- बारीक तरंगणाऱ्या अशुद्धी (suspended impurities) काढून टाकण्यासाठी सांडपाणी (प्राथमिक आणि द्वितीय उपचार प्रक्रियेनंतर) वाळूच्या फिल्टरद्वारे किंवा सक्रिय कार्बन फिल्टर द्वारे शुद्ध केले जाते.
- नंतर हे सांडपाणी खालच्या थरांच्या सरोवरांत दिले जातात तेथे बरेच सूक्ष्मजीव बारीक कण (fine particles) काढून टाकतात आणि त्यानंतर डिनायाट्रिफिकेशन (denitrification) होते. नायट्रोजन वायु म्हणून बाहेर सोडले जातात.
- जैविक किंवा रासायनिक प्रक्रियेद्वारे फॉस्फरस काढून टाकला जातो.

- शेवटी पाण्यातील शिल्लक राहिलेले जीवजंतु काढून टाकण्यासाठी म्हणजे निर्जंतुकीकरण (disinfection) करण्यासाठी, क्लोरीनेशन (chlorination), ओझोनेशन (ozonation) किंवा अतिनील किरणांचा वापर केला जातो. पाण्याचा गंध दूर करण्यासाठी कार्बन किंवा रसायनिक उपचारांचा वापर केला जातो.

५.५.२ बायोकेमिकल ऑक्सिजन डिमांड आणि केमिकल ऑक्सिजन डिमांड (Biochemical Oxygen Demand-BOD and Chemical Oxygen Demand- COD:

१.बायोकेमिकल ऑक्सिजन डिमांड (BOD) :

बायोकेमिकल ऑक्सिजन डिमांड (BOD) म्हणजे एरोबिक सूक्ष्मजीवांना सांडपाण्यातील सेंद्रिय पदार्थांच्या जैविक विघटनासाठी लागणारी ऑक्सिजनची मात्रा. BOD हे सांडपाणी तसेच औद्योगिक मैलापाणी किती प्रमाणात प्रदूषण करते याचे मोजमाप करते.

BOD मोजण्यासाठी सांडपाण्यातील विरघळलेला ऑक्सिजन मोजला जातो. नंतर त्या पाण्याचा नमूना घेऊन त्याला २०^oC ला ५ दिवसांपर्यंत सूक्ष्मजीवांच्या उपस्थितीत उष्मायन (incubation) केले जाते व त्यातील विरघळलेला ऑक्सिजन मोजला जातो. ह्या दोन्ही विरघळलेल्या ऑक्सिजनच्या पातळीमधील फरक मोजून निश्चित केला जातो. BOD तीव्रता मिलिग्रॅम/लीटर (mg/lit) मध्ये दर्शविला जातो.

D1 – सांडपाणी सौम्य (dilute) केल्यानंतर लगेचच घेतलेली विरघळलेल्या ऑक्सिजनची मात्रा.

D2 - सांडपाणी ५ दिवसांसाठी उष्मायन केल्यानंतर त्यातील विरघळलेल्या ऑक्सिजनची मात्रा.

BOD = D1 – D2 x Dilution Factor

$$= D1 - D2\ x\ \frac{\text{सांडपाण्याच्या नमूना पाण्याला सौम्य } (dilute)\text{केल्यानंतरचे आकारमान}}{\text{सांडपाण्याच्या नमूना पाण्याला सौम्य } (dilute)\text{करण्यापूर्वीचे आकारमान}}$$

२.केमिकल ऑक्सिजन डिमांड (COD:

- $K_2Cr_2O_7$ सारख्या strong oxidising agent वापरुन पाण्यातील सेंद्रिय पदार्थांचे विघटन करण्यासाठी लागणाऱ्या ऑक्सिजनची मात्रा म्हणजेच COD.
- BOD हे पाण्यातील फक्त बायोडिग्रेडेबल (Biodegradable) अशुद्धतेचे विघटन होण्यासाठी लागणारी ऑक्सिजन ची मात्रा निश्चित करते.
- COD हे पाण्यातील बायोडिग्रेडेबल तसेच नॉन–बायोडिग्रेडेबल (non–biodegradable) सेंद्रिय पदार्थांचे विघटन होण्यासाठी लागणारी ऑक्सिजनची मात्रा निश्चित करते.
- हयचाच अर्थ COD हे पाण्यातील वास्तविक सर्व (actual) सेंद्रिय पदार्थांची मात्रा दर्शविते.

COD काढण्याची पद्धत (Determination of COD):

१.पाण्याचा नमूना मोजून घेणे व त्यात मोजूनच प्रमाणित केलेले (standard) $K_2Cr_2O_7$, सौम्य (dilute) H_2SO_4 आणि उत्प्रेरक (catalyst) Ag_2SO_4 टाकणे व तयार झालेले मिश्रण उकळणे.

२.अभिक्रिया होण्यापूर्वीचे $K_2Cr_2O_7$ आणि अभिक्रियेनंतर शिल्लक राहिलेले $K_2Cr_2O_7$ हे शोधण्यासाठी त्याचे ferrous ammonium sulphate बरोबर, ferroin (indicator) दर्शक वापरुन titration करणे.

३.अभिक्रियेपूर्वीचे $K_2Cr_2O_7$ आणि शिल्लक राहिलेले म्हणजे अभिक्रियेसाठी वापरले न गेलेले $K_2Cr_2O_7$ यांच्यातील फरक म्हणजेच ऑक्सिडेशन साठी / सेंद्रिय पदार्थांच्या विघटनासाठी वापरले गेलेले $K_2Cr_2O_7$ ची मात्रा.

COD = सांडपाण्याच्या नमुन्याची सामान्यता (Normality) X ऑक्सीजन चे समतुल्य वजन (Equivalent weight of oxygen) g/lit

COD = सांडपाण्याच्या नमुन्याची सामान्यता (Normality) X 8 X 1000 mg/lit

उदाहरणे (Solved Problems on BOD and COD):

१. ३० मिली सांडपाणी पासून ६०० मिली पाणी बनविले म्हणजे डायल्यूट केले व त्यातील १०० मिली diluted सांडपाणी दोन BOD बॉटल मध्ये भरले. एका बॉटल मधील blank titration

साठी वापरला. त्यासाठी १० मिली ०.०५ N चे sodium thiosulphate अभिक्रिया पूर्ण होण्यासाठी लागले.

१०० मिली diluted सांडपाणी उष्मायन (incubation) साठी ५ दिवस ठेवले नंतर त्याचे sodium thiosulphate बरोबर titration केले असता ५ मिली sodium thiosulphate लागले. BOD काढा.

१.उष्मायनापूर्वी (before incubation)

पायरी १: सांडपाण्याची उष्मायनापूर्वीची सामान्यता काढणे

(Step 1: Determination of normality of waste water before incubation)

$N_१V_१$ (सांडपाणी) = $N_२V_२$(sodium thiosulphate)

$N_१$ x १०० = ०.०५ X १०

$\therefore N_१ = \frac{०.०५ x १०}{१००}$

$N_१$ = ०.००५ N

पायरी २: विरघळलेला ऑक्सिजन काढणे (उष्मायनापूर्वी)

(Step २: Determination of dissolved oxygen before incubation)

$D_१$ = सांडपाण्याची सामान्यता X (Equivalent wt. of O२) x १०००

= ०.०००५ x ८ x १०००

$D_१$ = ४० मिलिग्रॅम/लिटर

२.उष्मायनानंतर (after incubation at २०^{O}C for ५ days)

पायरी ३: सांडपाण्याची उष्मायनानंतर सामान्यता काढणे

(Step ३: Determination of normality of waste water after incubation)

$N_३V_३$ (सांडपाणी) = $N_४V_४$ (sodium thiosulphate)

$N_३$x १०० = ०.०५ x ५

$N_३ = \frac{०.०५ x १०}{१००}$

$N_३$ = ०.००२५ N

पायरी ४: विरघळलेला ऑक्सिजन काढणे (उष्मायनानंतर)

(Step ४: Determination of dissolved oxygen after incubation)

$D_२$ = सांडपाण्याची सामान्यता X ऑक्सिजनचे समतुल्य वजन (Equivalent wt. of $O_२$) X १०००

= ०.००२५ x ८ x १०००

$D_१$ = २० मिलिग्रॅम/लिटर

३.BOD काढणे (Determination of BOD)

BOD = (D१ – D२) x $\frac{\text{सांडपाण्याच्या नमूना पाण्याला सौम्य } (dilute)\text{केल्यानंतरचे आकारमान}}{\text{सांडपाण्याच्या नमूना पाण्याला सौम्य } (dilute)\text{करण्यापूर्वीचे आकारमान}}$

= (४० – २०) $x \frac{६००}{३०}$

= ४०० मिलिग्रॅम/लिटर

स्वाध्याय:

१.२० मिली औद्योगिक सांडपाणी ऑक्सिडेशन अभिक्रियेसाठी ४ मिली ०.५N $K_2Cr_2O_7$ लागले,तर त्या सांडपाण्याचा COD किती?

(उत्तर: ८०० मिलिग्रॅम/लिटर)

२.२५ मिली सांडपाण्याचे आकारमान ५०० मिलिलिटर साधे पाणी टाकून केले. Blank titration साठी १०० मिली ला ८.८ मिली ०.०२N $Na_2S_2O_4$ लागले तर १०० मिली पाण्याला ५ दिवसांसाठी उष्मायन (incubated) केले असता ४.२ मिली त्याच संहतेचे $Na_2S_2O_4$ लागले; तर सांडपाण्याच्या त्या नमुन्याचा BOD किती?

(उत्तर: १४७.२ mg/lit)

५.६.१:pH आणि pOH ची संकल्पना

Arrhenius च्या पृथक्करण सिद्धांतानुसार H^+ आयन्स जास्त देणारे जलीय द्रावण हे आम्ल (Acid) असतात, तर OH^- आयन्स जास्त देणारे जलीय द्रावण हे आम्लारी (Base) असतात. पाण्यात H^+ आणि OH^- दोन्ही आयन्स

असतात. जेव्हा H^+ आणि OH^- आयन्स ची तीव्रता समान असते, तेव्हा पाणी उदासीन असते.
शुद्ध पाण्यात २५ अंश सेल्सिअस तापमानाला H^+ आणि OH^- आयन्स ची तीव्रता समान असते (१ x १०$^{-७}$ मोल प्रति लिटर)
$[H^+]$ आणि $[OH^-] = [H_2O] = Kw$
Kw हे पाण्याचे आयनिक उत्पादन आहे. म्हणून 25 अंश सेल्सिअस तापमानात शुद्ध पाणी असल्यास,
Kw = [१x १०$^{-७}$] X [१x १०$^{-७}$] = १ x १०$^{-१४}$
कोणत्याही जलीय द्रावणात, $[H^+]$ आयन्स ची तीव्रता $[OH^-]$ आयन्स च्या तीव्रते एवढी नसते, परंतु त्यांचा गुणाकार नेहमी १ x १०$^{-१४}$ इतका असतो.

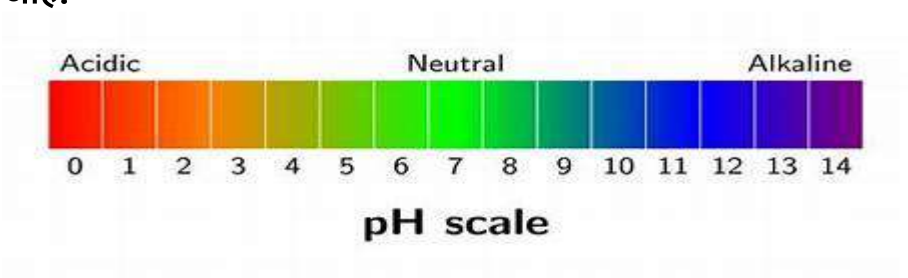
पाण्यामध्ये आम्ल पदार्थ मिसळल्यास $[H^+]$ आयन्स ची तीव्रता वाढते आणि $[OH^-]$ आयन्स ची तीव्रता कमी होते (याच्या उलट प्रक्रिया देखील घडते) आणि त्यांचा गुणाकार १०$^{-१४}$ इतका असतो.

आम्लाच्या पाण्यातील द्रावणात $[H^+]$ आयन्स ची तीव्रता १०$^{-७}$ पेक्षा कमी असते.$[H^+]$<१०$^{-७}$
आम्लारीच्या पाण्यातील द्रावणात $[OH^-]$ आयन्स ची तीव्रता १०$^{-७}$ पेक्षा अधिक असते. $[OH^-]$ > १०$^{-७}$
द्रावणाची आम्लता आणि आम्लारीता हायड्रोजन आयन तीव्रतेनुसार व्यक्त केली जाते आणि १०$^{-x}$ अशी लिहिली जाते.(येथे x=१, २, ३, ४, ...१४)
gm Ion/lit किंवा moles/lit मधील $[H^+]$ आयन्स ची ही ताकद हायड्रोजनची शक्ती आहे (म्हणजे pH).
अशा प्रकारे, जर $[H^+]$ आयन्स ची तीव्रता १ x १०$^{-१४}$ मोल्स/लिटर असेल, तर त्याचे pH=७.डॅनिश रसायनशास्त्रज्ञ सोरेनसेन यांनी बेस १० वर त्यांचा ऋण लॉग घेऊन $[H^+]$ किंवा $[OH^-]$ च्या तीव्रतेचे मूल्य सोपे केले.
ऋण लॉग १० घेतल्यावर, धन मूल्य प्राप्त होते, ज्यावरून द्रावणातील आम्ल किंवा आम्लारीपणा सहजपणे समजू शकतो.
pH= -log $[H^+]$ = log$_{१०}\frac{१}{[H+]}$ Or $[H^+]$= १०$^{-pH}$
म्हणून, pH ची व्याख्या हायड्रोजन आयन तीव्रतेच्या बेस १०(Base १०) साठी ऋण लॉगरिथम म्हणून केली जाते.
त्याच प्रकारे, pOH व्यक्त आणि परिभाषित केले जाऊ शकते.
pOH = -log $[OH^-]$
pOH ची व्याख्या हायड्रॉक्सिल आयन तीव्रतेच्या बेस १० (Base १०) साठी ऋण लॉगरिथम म्हणून केली जाते.
जलीय तटस्थ द्रावणात, जेव्हा $[H^+]$ $[OH^-]$ = १०$^{-१४}$
दोन्ही बाजूंचा लॉग (log) घेतल्यास, log$[H^+]$ + log$[OH^-]$ = log१०$^{-१४}$
सर्व चिन्हे (signs) उलट केल्यास,
-log$[H^+]$ - log$[OH^-]$ = १४

pH + pOH =१४

५.६.२:पीएच स्केल (pH Scale)

pH स्केल हे द्रावणाची आम्लता, आम्लारीता (क्षारता) किंवा उदासीनतेचे (तटस्थतेचे) मोजमाप आहे.



pH स्केल वरून खालील निष्कर्ष काढता येतात.

१.pH स्केलवर pH मूल्ये ० ते १४ पर्यंत व्यक्त केली जातात.
२.शुद्ध पाणी किंवा कोणत्याही पूर्णपणे उदासीन (तटस्थ) द्रावणाचा pH=७ असतो.
३.ज्या द्रावणाचे pH मूल्य सात पेक्षा जास्त असते ते द्रावण अल्कलीधर्मी (Alkaline) असते. pH=१४ असलेले द्रावण अत्यंत अल्कलीधर्मी (Extremely Alkaline) द्रावण असते.
४.ज्या द्रावणाचे pH मूल्य सात पेक्षा कमी असते ते द्रावण अल्कधर्मी (Acidic)असते.
pH=० असलेले द्रावण अत्यंत अल्कधर्मी (Extremely Acidic) द्रावण असते.

Multiple Choice Questions:

१) पाण्याचा जडपणा / कठिणपणा ....च्या समतुल्य प्रमाणात दाखविला जातो.

a) कॅल्शियम सल्फेट्ट

b) कॅल्शियम कार्बोनेट

c) मॅग्नेशियम सल्फेट

d) मॅग्नेशियम क्लोराईड

२) बी. ओ. डी.(B.O.D) चे एकक .... आहे

a) मिलिग्रॅम / लिटर

b) ग्रॅम / लिटर

c) मीटर / लिटर

d) वरीलपैकी एकही नाही

३)..........ची प्रक्रिया सुलभ करण्यासाठी पाण्यात तुरटी मिसळवली जाते.

a) पातळ पदार्थातील घट्ट कण तळाशी बसणे (sedimentation).

b) संक्षेपण

c) बाष्पीभवन

d) वितळणे

Question	Q.१	Q.२	Q.३
Answer	b	a	b

सोडवलेली उदाहरणे: (pH व pOH)

१) १×१०^{-५} ग्रॅम आयन्स /लिटर हायड्रोजन आयन तीव्रता $[H^+]$ असलेल्या द्रावणाचे पीएच मूल्य काढा.

$pH = -\log [H^+]$

$[H^+] = १ \times १०^{-५}$ ग्रॅम आयन्स /लिटर

$pH = -\log [१०^{-५}]$

$= -[-५ \log १०]$

pH=5

२) एका द्रावणाचे pH मूल्य ४.२५९६ आहे, तर त्या द्रावणाची हायड्रोजन आयन तीव्रता $[H^+]$ काढा.

$[H^+] = १०^{-pH}$

$= १०^{-४.२५९६} = [१०^{-५} \times १०^{०.७४०४}]$

$= \text{Antilog of } \log_{१०} [१०^{-५} + \log_{१०} १०^{०.७४०४}]$

$= १०^{-५} \times ५.५$

$[H^+] = ५.५ \times १०^{-५}$ ग्रॅम आयन्स /लिटर

1) एका द्रावणाचे pH मूल्य ६.४९५ आहे, तर त्या द्रावणातील $[OH^-]$ आयन्स ची तीव्रता काढा.

$pH + pOH = १४$

$pOH = १४ - pH$

$= १४ - ६.४९५$

$= ७.५०५$

$-\log [OH^-] = ७.५०५$

$\log [OH^-] = -७.५०५$

$[OH^-] = \text{Antilog of } ७.५०५$

$[OH^-] = ३.१२ \times १०^{-८}$ ग्रॅम आयन्स /लिटर

References used for learning manual

Websites:

www.chemistryteaching.com
www.chem1.com
www.chemcollective.org
www.visionlearning.com

Reference Books:

A text book of water supply by A.C.Twort
Water Treatment by F.I Belane
Engineering Chemistry by Jain and Jain ISBN: 8174505660
Engineering Chemistry by Dara S.S. ISBN: 8174506314
Chemistry for Engineers by Agnihotri Rajesh ISBN: 9788126550784
Engineering Chemistry by Vairam S. ISBN: 9788786543342
Applied Chemistry with Lab Manual by Anju Rawlley, Devdatta V. Saraf ISBN: -978-93-91505-44-8
Textbook of Applied Chemistry ,Technical Publication By Dr.Kashmiri A. Khamkar, V.M.Gokhale , C.S.Raut ISBN: 9789333217255

युनिट : ६
इंधन आणि ज्वलन अथवा दहन
(Fuel and Combustion)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):
अभियांत्रिकी अनुप्रयोगांसाठी योग्य इंधन आणि इलेक्ट्रोलाइट वापरा

घटक निष्पत्ती (Unit Outcome):
६.१ दिलेल्या प्रकारच्या इंधनाच्या गुणधर्मांचे वर्णन करा.
६.२ कोळशाच्या नमुन्यांचे अंदाजे विश्लेषण आणि अंतिम विश्लेषणाचे वर्णन करा.
६.३ बॉम्ब कॅलरीमीटर वापरून दिलेल्या घन इंधनाच्या उष्मांक मूल्याची गणना करा.
६.४अशुद्ध पेट्रोलियमच्या भागशः उर्ध्वपातनचे वर्णन करा.
६.५ द्रव इंधनाचे गुणधर्म स्पष्ट करा.
६.६ दिलेल्या वायू इंधनाचे गुणधर्म व रचना त्यांच्या वापरासह वर्णन करा.
६.७ इलेक्ट्रोलिसिसद्वारे ग्रीन हायड्रोजनच्या उत्पादनाचे वर्णन करा
६.८ दिलेल्या विद्युत घट आणि विद्युत घटमालेचे रचना आणि कार्य यांचे वर्णन करा.

युक्तिवाद (Rationale):
इंधनाच्या अभ्यासामागील सर्वात महत्वाचे कारण म्हणजे इंधनाच्या विविध रासायनिक आणि भौतिक गुणधर्माचा अभ्यास तंत्रज्ञास (Technologist) योग्य ठिकाणी योग्य इंधन वापरण्यास मदत करते. इंधनाविषयीची माहिती असणे अत्यंत महत्वाचे आहे कारण इंधन हा जागतिक अर्थव्यवस्थेचा (global economy) महत्वाचा घटक आहे. ज्या देशात मुबलक प्रमाणात पेट्रोलियम ऑइलचे (crude petroleum oil) साठे उपलब्ध आहेत ते देश अधिक श्रीमंत व विकसित झाले आहेत.

विकसित आणि विकसनशील देशांमधील वाढत्या औद्योगिकीकरणामुळे इंधनाची मागणी सतत वाढते आहे, इंधनाच्या विविध गुणधर्माबद्दल व त्याच्या ज्वलनप्रक्रियेबद्दल (combustion) केलेल्या विश्लेषणाचा (Analysis) उपयोग त्या इंधनाच्या योग्य वापरासाठी व त्याचे योग्य विक्रीमूल्य ठरविण्यासाठी अत्यंत उपयोगी ठरेल.

परीचय (Introduction):
इंधन हा असा एक पदार्थ आहे ज्याचे ज्वलन (Combustion) केल्यामुळे मोठ्या प्रमाणात उष्णता निर्माण होते. इंधन ही ऊर्जेची शक्तीघरे (power houses) आहेत. पेट्रोल, डिझेल, अल्कोहोल, लाकुड, कोळसा, एल.पी.जी. (LPG), सी.एन.जी. (CNG), कोल गॅस (Coal gas), प्रोड्यूसर गॅस (Producer gas), वॉटर गॅस (water gas) ही सर्व सामान्यपणे वापरली जाणारी इंधने आहेत. या सर्व इंधनांचा कार्बन हा मुख्य घटक आहे. इंधनाच्या ज्वलन क्रियेदरम्यान कार्बनचे ऑक्सीडेशन होऊन त्याचे रुपांतर कार्बन डायऑक्साइड (CO_2) मध्ये होते. ही एक उष्मादायी अथवा उष्माक्षेपी अभिक्रिया (exothermic reaction) आहे. इंधनाच्या ज्वलनामध्ये निर्माण झालेली उष्णता विविध औद्योगिक आणि घरगुती कामांसाठी वापरली जाती.

६.१ इंधन (Fuel):
व्याख्या : एखादा ज्वलनशील पदार्थ , जो सक्रिय ज्वलनामध्ये (active combustion) मोठ्या प्रमाणात उष्णता निर्माण करतो त्याला इंधन असे म्हणतात.

६.१.१ उष्मांक (Calorific value):

उष्मांक म्हणजे एखाद्या इंधनामध्ये समाविष्ठ असलेली अंतर्विष्ट ऊर्जा (energy content) मोजण्याचा मापदंड आहे (parameter). एखाद्या इंधनाच्या ठराविक प्रमाणाचे (specified quality) पूर्ण ज्वलन (combustion) केल्यावर तयार होणाऱ्या उष्णतेवरून (heat) त्या इंधनाची अंतर्विष्ट ऊर्जा (energy content) काढली जाते.

इंधनाचा उष्मांक (calorific value) हा त्यामधील कार्बन च्या प्रमाणाच्या समानुपाती (directly proportional)

असतो. म्हणजेच जर इंधनामध्ये कार्बनचे प्रमाण जास्त अविद्‌युत घट तर त्याचा उष्मांकही जास्त असतो. एखाद्या इंधनाची कार्यक्षमता (efficiency) ही त्याच्या उष्मांकाच्या समानुपाती (directly proportional) असते. म्हणजेच जर इंधनाचा उष्मांक जास्त अविद्‌युत घट तर त्याची कार्यक्षमताही जास्त असते. तसेच जर इंधनाचा उष्मांक कमी अविद्‌युत घट तर त्याची कार्यक्षमताही कमी असते.

व्याख्या: एकक वस्तुमान (Unit mass) अथवा एकक आकारमानाच्या (unit volume) इंधनाचे पूर्ण ज्वलन (complete combustion) करून मिळणाऱ्या उष्णतेला त्या इंधनाचा उष्मांक (calorific value) म्हणतात.

उष्मांकाची एकके (Units of calorific value):
उष्मांकाची एकके खालीलप्रमाणे आहेत.

प्रणाली (system)	घन किंवा द्रव इंधनांसाठी	वायू इंधनांसाठी
CGS	कॅलरी / ग्रॅम (Cal/g)	कॅलरी / लिटर (Cal/lit)
MKS	की. कॅलरी/ की. ग्रॅम (K.Cal/Kg)	की. कॅलरी/ मी ³ (K.Cal/m^3)
SI	ज्युल्स/ की. ग्रॅम /(Joules/Kg)	ज्युल्स/ मी³ (Joules/m^3)

काही परिचित (common) इंधनांचा अंदाजे (approximate) उष्मांक

इंधन	अंदाजे उष्मांक (Approximate Calorific value) कि. कॅलरी / कि. ग्रॅम मध्ये
शेण्याच्या गोवऱ्या	३७००
कोळसा	५४००–८७००
लाकुड	३५००
डिझेल	१३५००
रॉकेल	११०००
पेट्रोल	११२५०
सी.एन.जी.	८०००–१४००
एल.पी.जी.	२७८००

६.१.२.प्रज्वलन तापमान (Ignition temperature)

प्रज्वलन तापमान हा कोणत्याही इंधनाचा अत्यंत महत्वाचा गुणधर्म आहे कारण याच तापमानाला त्याची ज्वलन प्रक्रिया (combustion) स्वावलंबी (self-sustaining) बनते. वायूरूप इंधनाचे प्रज्वलन तापमान हे घन आणि द्रवरूप इंधनांपेक्षा खूप कमी असते कारण त्यामध्ये बाष्पनशील (volatile matter) पदार्थांचे प्रमाण जास्त असते.

प्रज्वलन तापमान हा त्या इंधनाचा विशिष्ठ गुणधर्म नसतो कारण ते इतर अनेक घटकांवर अवलंबून असते जसे की ऑक्सिजनचा आंशिक दबाव (partial pressure of oxygen), कणांचा आकार (particle size), इंधनाला तापविण्याची गती (heating rate) आणि कणांचे औष्णिक वातावरण (particle's thermal surrounding) इत्यादि.

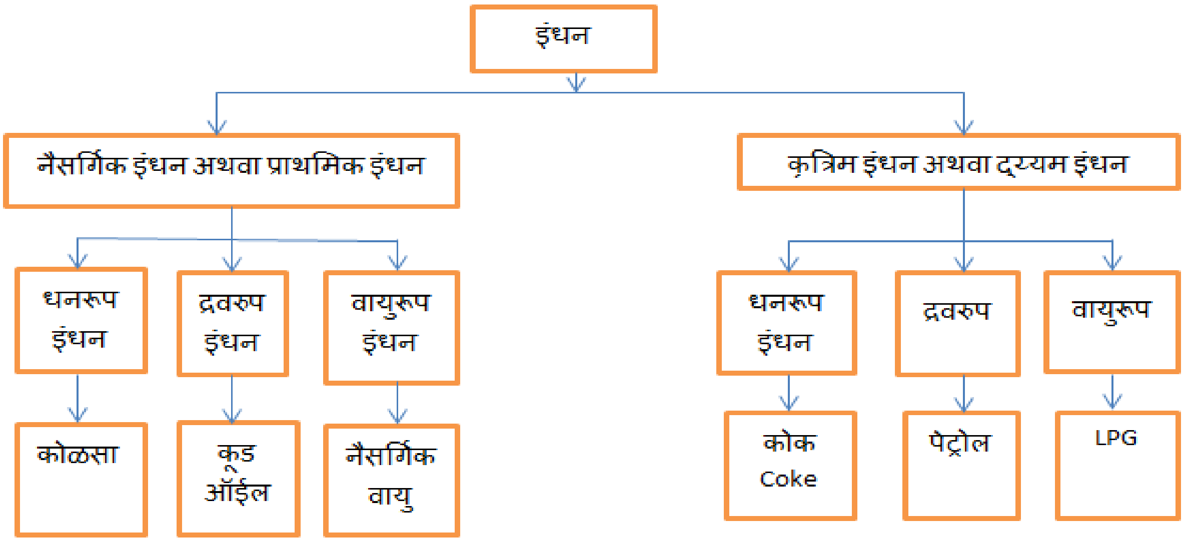
व्याख्या -
ज्या किमान तापमानाला ज्वलनशील पदार्थाला उष्णता दिली असता त्याचे सक्रिय ज्वलन (active combustion) सुरु होते त्या तापमानाला प्रज्वलन तापमान (ignition temperature) म्हणतात.
अथवा

ज्या किमान तापमानाला ज्वलनशील पदार्थ स्वतःहून हवेमध्ये जळायला लागतो त्या किमान तापमानाला प्रज्वलन तापमान म्हणतात.

➢ चांगल्या इंधनाची वैशिष्टे (The characteristics of a good fuel):

१. चांगल्या इंधनाचा उष्मांक उच्च (high) असणे आवश्यक आहे.
२. चांगल्या इंधनाचे प्रज्वलन तापमान (ignition temperature) मध्यम (moderate) असावे.
३. चांगल्या इंधनाने कोणत्याही प्रदूषणकारी किंवा विषारी पदार्थाची निर्मिती करू नये.
४. त्याच्या ज्वलनाची गती मध्यम असावी.
५. त्याची ज्वलन प्रक्रिया सहजपणे नियंत्रित करता यावी.
६. त्याच्यामध्ये राखेचे प्रमाण (percentage of ash) कमीत कमी असावे.
७. ते स्वस्त (cheap), सहज उपलब्ध (easily available) आणि वाहतुकीसाठी सोयीचे असावे.
८. त्याच्या साठवणुकीसाठी (storage) कमीत कमी जागा लागावी.
९. त्यामध्ये वायूप्रदूषणास करणीभूत असणारे कोणतेही बाष्पनशील (volatile) पदार्थ असू नये.
१0. ते स्थिर असावे व साठवणुकीसाठी (storage) सुरक्षित असावे.
११. ते वासरहित असावे.

➢ इंधनाचे वर्गीकरण



६. २ घनरूप इंधन (solid fuel)

जे इंधन घन अवस्थेत असते त्याला घनरूप इंधन म्हणतात.
उदाहरणे- लाकूड, कोळसा, कापूस, कागद, इत्यादी .

फायदे (Advantages)-

१. ते स्वस्त आणि वाहतुकीसाठी सोपे आहे (easy for transportation)
२. द्रवरूप आणि वायूरूप इंधनाच्या तुलनेत ते सुरक्षितपणे संग्रहीत करता येते.
३. त्याची उत्पादन किंमत (production cost) कमी असते.
४. त्याचा प्रज्वलन बिंदु (ignition temperature) मध्यम (moderate) असतो.
५. त्यांच्यामुळे आग लागण्याचा धोका (fire hazard) कमी असतो.

तोटे (disadvantages):

१. त्यांच्यामध्ये राखेचे प्रमाण (ash content) जास्त असते.
२. त्यांच्या दहन प्रक्रिये दरम्यान मोठ्या प्रमाणात उष्णता वाया जाते.
3. त्यांची ज्वलन प्रक्रिया सहजपणे नियंत्रित करता येत नाही.
४. त्यांच्या हाताळणीसाठी जास्त खर्च लागतो.
५. त्यांचा उष्मांक (calorific value) द्रवरूप आणि वायूरूप इंधनांपेक्षा कमी असतो.

६. त्यांच्या पूर्ण ज्वलनासाठी जास्त हवेची आवश्यकता असते.
७. आय.सी. इंजिनामध्ये (I.C. engine) ते वापरले जाऊ शकत नाही.
८. त्यांना पाईपलाईन मधून पाठविता येत नाही.
९. त्यांच्या साठवणुकीसाठी मोठी जागा लागते.
१०. त्यांच्या ज्वलनप्रक्रियेमध्ये मोठ्या प्रमाणात धूर तयार होतो. (burns with smoke formation)

६.२.१. कोळसा (Coal):

कोळसा हे सर्वात महत्वाचे घनरूप इंधन आहे. जे औद्योगिक (industrial) तसेच घरगुती (domestic) वापरासाठी वापरले जाते. कोळसा हा प्रामुख्याने इंधन म्हणून विद्‌युत ऊर्जा निर्मितीसाठी वापरला जातो. कोळशावर चालणाऱ्या विद्‌युत ऊर्जा निर्मिती केंद्रांमध्ये (coal fired power plants) बिट्युमिनस (bituminous), सब- बिट्युमिनस (sub-bituminous) अथवा लिग्नाइट कोळसा जाळून मिळणाऱ्या उष्णतेच्या सहाय्याने पाण्यापासून उच्च दाब असलेली वाफ (high pressure steam) तयार केली जाते.

या वाफेमुळे विद्‌युत निर्मिती जनित्राची (turbines) पाती (blades) फिरतात व त्यामुळे विद्‌युत निर्मिती होते. कोक (Coke- metallurgical coal) हा लोखंड आणि स्टील निर्मितीमधला मुख्य घटक आहे. कोळशाचा वापर सिमेंट उत्पादनांमध्ये मुख्य ऊर्जा स्त्रोत म्हणून केला जातो. कोळसा जाळल्यानंतर निर्माण होणारी राख (fly ash) सिमेंट उत्पादनात व बांधकाम उद्योगात महत्वाची भूमिका बाजवते.

६.२.२ कोळशाचे वर्गीकरण व घटक : (Classification and Composition of coal)

भूगर्भामध्ये गाडल्या गेलेल्या वनस्पतीचे हळूहळू (gradual) विघटन (decomposition) होऊन कोळशाची निर्मिती होते. लाकडाचे कोळशामध्ये रुपांतर करण्याच्या प्रक्रियेला कोळसाकरण असे म्हणतात.
कोळसाकरण प्रक्रिये दरम्यान लाकडामध्ये असलेली H, O, N आणि S ही मूलद्रव्य काढून टाकली जातात व त्यातील C ह्या मूलद्रव्याचे प्रमाण वाढत जाते (rich and rich carbon) कोळसाकरणाच्या वेगवेगळ्या अवस्थावरुन कोळशाचे ४ प्रकरामध्ये वर्गीकरण केले आहे.

लाकुड ⟶ पिट ⟶ लिग्नाइट ⟶ डामरी कोळसा ⟶ दगडी कोळसा

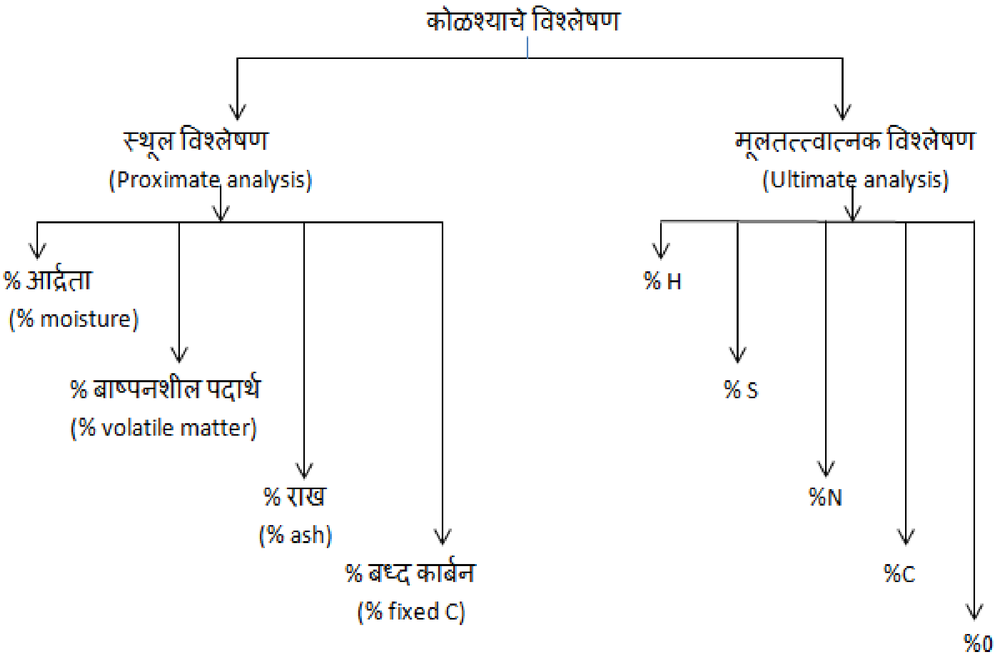
Wood ⟶ peat ⟶ lignite ⟶ bituminous ⟶ anthracite

अ. क्र.	कोळशाचा प्रकार	% C चे प्रमाण	उष्मांक K.cal/Kg	गुणधर्म	उपयोग
१.	पिट (Peat) (कोळसाकरणाची 1ली अवस्था)	50-60%	5400	१. तपकिरी रंगाचा तंतुमय पदार्थ. २. ज्वलना मध्ये धूर निर्माण करतो. ३. कमी उष्णता निर्माण करतो.	घरगुती वापरासाठी (सरपण म्हणून)
२.	लिग्नाईट (Lignite) (कोळसाकरणाची 2री अवस्था)	60-70%	6300	१.काळपट तपकिरी रंग २.जास्त ओलावा (high moisture content). ३. जळताना धूर निर्माण करतो.	औष्णिक वीज निर्मिती (Thermal power plant) केंद्रामध्ये तसेच वाफ तयार करणाऱ्या वाफ जानित्रामध्ये (boilers)वापरला जातो
3.	डामारी कोळसा (bituminous) (कोळसाकरणाची तिसरी अवस्था)	75-80%	8000	१. काळा व कठीण कोळसा २. जळताना धूर निर्माण करतो.	घरगुती वापरासाठीइंधन म्हणून वापरला जातो.
४.	दगडी कोळसा	90-	8700	१. काळा चमकदार रंग.	१. उद्योग क्षेत्रात इंधन

	(Anthracite) (कोळसाकरणाची शेवटची अवस्था)	95%		२. कठीण (hard). 3. जास्त उष्णता निर्माण करतो (high heat content). ४. त्यामध्ये ओलावा (moisture) अत्यंत कमी असतो. ५. जळताना धुररहित निळ्या ज्योतिने जळतो	म्हणून वापरला जातो. २. ॲल्युमिनियम धातू (Al-metal) निर्मितीमध्ये कॅथोड (ऋणाग्र)म्हणून वापरला जातो.

- **कोळशाचे विश्लेषण (Analysis of coal):**

कोळशाची गुणवत्ता (quality), व्यावसायिक श्रेणी (commercial grading) अथवा त्याची प्रत (rank) आणि त्याचा उपयोग निश्चित करण्यासाठी कोळशाचे विश्लेषण केले जाते. कोळशाची खरेदी विक्री मूल्य ठरविण्यासाठी तसेच कोळशाची विविध ठिकाणची उपयोगिता ठरविण्यासाठी देखील याचा उपयोग होतो. कोळशाचे विश्लेषण एकतर स्थूल विश्लेषण (proximate analysis) अथवा मूलतत्वात्मक विश्लेषण (ultimate analysis) पद्धतीने केले जाते.



अ

६.२.३.स्थूल विश्लेषण / अंदाजे विश्लेषण (Proximate Analysis):

स्थूल विश्लेषणामध्ये कोळसा अथवा कोक मध्ये असलेल्या आर्द्रतेचे प्रमाण, बाष्पनशील पदार्थाचे प्रमाण, राखेचे प्रमाण व बध्द कार्बनचे प्रमाण काढले जाते. या विश्लेषणाचा उपयोग कोळशाची प्रत ठरविण्यासाठी तसेच कोळशामध्ये असलेल्या ज्वलनशील पदार्थाचे आणि अज्वलनशील (non-combustible) पदार्थाचे गुणोतर (ratio) काढण्यासाठी होतो.

१. आर्द्रतेची टक्केवारी काढणे (Determination of % of moisture):

आर्द्रतेची टक्केवारी काढण्यासाठी-

१. ठराविक (w gm) वजन असलेला (known quantity) हवेमध्ये सुकविलेला (air-dried) व बारीक चूर्ण (finely powdered) केलेला कोळसा एका मूसमध्ये (crucible) घ्या.
२. मग तो मूस (crucible) तापविलेल्या इलेक्ट्रिक ओव्हनमध्ये 105°C तापमानाला एक तास ठेवा.
३. एका तासानंतर तो मूस बाहेर काढून शुष्कपात्र (desiccator) मध्ये सामान्य तापमानापर्यंत (room temperature) थंड करा व नंतर त्याचे पुन्हा वजन करा (W, gm)
४. कोळशामधून आर्द्रता निघून गेल्यामुळे कोळशाचे वजन कमी होते म्हणजेच दोन वजनामधला फरक .

%आर्द्रता = वजनातील घट (loss in weight) x 100____

कोळशाचे नमुन्याचे वजन (weight of coal sample taken)

$$\% \text{ आर्द्रता} = \frac{W-W1}{W} \times 100$$

आर्द्रतेचे प्रमाण काढण्याचे महत्त्व:

कोळशामध्ये आर्द्रतेचे प्रमाण जर जास्त अविद्युत घट तर

१. कोळशाच्या ज्वलनमध्ये तयार होणाऱ्या उष्णतेचा काही भाग या आद्रतेचे वाफेमध्ये रुपांतर करण्यासाठी वापरला जातो. त्यामुळे कोळशाचा उष्मांक (Calorific value) कमी होतो.

२. आर्द्रतेमुळे कोळशाचे वजन वाढते आणि त्यामुळे त्याचा वाहतुकीचा (Transportation) खर्चही वाढतो.

त्यामुळे चांगला कोळसा हा आर्द्रता मुक्त असावा

२. बाष्पनशील पदार्थाची टक्केवारी काढणे (determination of % of volatile matter)

कोळशातिल बाष्पनशील पदार्थाची टक्केवारी काढण्यासाठी

१) वरील प्रयोगामध्ये तयार झालेला आद्रतामुक्त कोळसा (W, gm) मूस (Crucible) मध्ये घ्या.

२) मग तो मूस मफल भट्टीमध्ये (muffle furnace) 925°C तापमानाला 7 मिनिटे ठेवा.

3) 7 मिनिटांनंतर तो मूस बाहेर काढून शुष्कनपात्रामध्ये (desiccator) सामान्य तापमानापर्यन्त (Room temperature) थंड करा व नंतर त्याचे पुन्हा वजन करा (W_2 gm)

$$\text{बाष्पनशील पदार्थाचे } \% = \frac{\text{वजनातील घट (loss in weight)}}{\text{कोळशाचे नमुन्याचे वजन (weight of coal sample taken)}} \times 100$$

$$\text{बाष्पनशील पदार्थाचे } \% = \frac{W1-W2}{W} \times 100$$

बाष्पनशील पदार्थाचे प्रमाण काढण्याचे महत्त्व (significance of volatile matter content determination):

जर कोळशामध्ये मोठ्या प्रमाणात बाष्पनशील पदार्थ अविद्युत घट तर

१) इंधन लांब धूरमिश्रीत ज्योतीने (long smoky flame) जळते.

२) या बाष्पनशील पदार्थासोबत बरचस इंधन न जळता (unburnt) निघून जाते. त्यामुळे इंधनाचा उष्मांक कमी होतो.

त्यामुळे चांगल्या प्रतिच्या कोळशामध्ये बाष्पनशील पदार्याचे प्रमाण कमीत कमी असावे.

३. राखेची टक्केवारी काढणे (determination of % of Ash):

कोळशातिल राखेची टक्केवारी काढण्यासाठी

१) वरील प्रयोगामध्ये तयार झालेला आद्रतामुक्त व बाष्पनशील पदार्यमुक्त कोळसा मूसमध्ये घ्या.

२) तो मूसनंतर मफल भट्टीमध्ये (muffle furnace) 750°C तापमानाला १ तास ठेवा.

3) एका तासानांतर तो मूसबाहेर काढून शुष्कनपात्रामध्ये (dessicator) सामान्य तापमानापर्यंत थंड करा व पुन्हा त्याचे वजन घ्या.

यातून रिकाम्या मूसचे वजन वजा करून तयार झालेल्या राखेचे वजन मिळवा (W3 gm)

$$\text{राखेचे } \% = \frac{\text{तयार झालेल्या राखेचे वजन (weight of ash)}}{\text{कोळश्याच्या नमुन्याचे वजन (weight of coal sample)}} \times 100$$

$$\text{राखेचे } \% = \frac{w3}{w} \times 100$$

३. राखेचे प्रमाण काढण्याचे महत्त्व (significance of ash content determination):

राख हा कोळशामध्ये असलेला अज्वलनशील (non-combustible) अथवा ज्वलनशील नसलेला पदार्थ आहे. जर कोळशामध्ये मोठ्या प्रमाणात राख अविद्युत घट तर

१) ही राख कोळश्यांचा उष्मांक कमी करते

२) त्यामुळे इंधनाची कार्याक्षमता (efficiency) कमी होते

३) या राखेची विल्हेवाट लावण्यासाठी (ash disposal) वेगळा खर्च करावा लागतो

त्यामुळे चांगल्या प्रतीच्या कोळशामध्ये राखेचे प्रमाण कमीत कमी असणे आवश्यक आहे.

४. बद्ध कार्बनची टक्केवारी काढणे (determination of % of fixed carbon):

हे अप्रत्यक्षपणे काढले जाते यासाठी आद्रतेची टक्केवारी (% moisture), बाष्पनशील पदार्थाची टक्केवारी (% volatile matter) आणि राखेची टक्केवारी (% of Ash) हे सर्व १०० मधून वजा करतात.

बद्ध कार्बनची % =100 – (% आर्द्रता + % बाष्पनशील पदार्थ + % राख)

=100 - (%moisture + %volatile matter + %Ash)

बद्ध कार्बन काढण्याचे महत्त्व (significance of determination of fixed carbon):

इंधनाचा उष्मांक हा त्यामधील बद्ध कार्बनच्या समानुपाती (directly proportional) असतो.

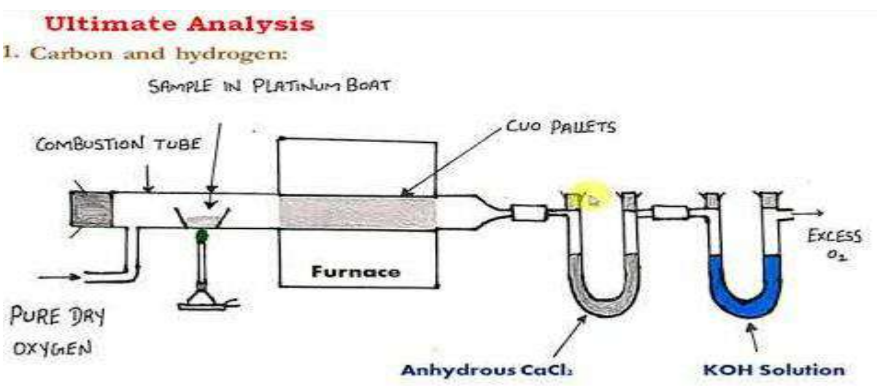
त्यामुळे चांगल्या प्रतीच्या इंधांनामध्ये जास्तीत जास्त प्रमाणात बद्ध कार्बन असावा.

६. २. ४. मूलतत्वात्मक विश्लेषण अथवा अंतिम विश्लेषण (ultimate analysis):

मूलतत्त्वात्मक विश्लेषनामध्ये कोळशाचे मूलद्रव्य संघटन (elemental composition) काढले जाते. यामध्ये कोळशामध्ये असणाऱ्या C, H, N. आणि S या मूलद्रव्याची टक्केवारी काढली जाते.

मूलतत्वात्मक विश्लेषण चाचण्या ह्या स्थूल विश्लेषण चाचण्यापेक्ष्या आधिक व्यापक आणि अचूक माहिती देतात (more comprehensive and accurate results)

१) कार्बन आणि हायड्रोजनची टक्केवारी काढणे (determination of % of carbon and hydrogen):



आकृती ६.१

कार्बन आणि हायड्रोजनची टक्केवारी निच्छित करण्यासाठी

१) ठराविक वजन असलेला कोळसा ज्वलन नळीमध्ये (Combustion tube) ऑक्सिजनच्या सान्निध्यात जाळला जातो.
२) तयार झालेले वायूरूप पदार्थ (gaseous products) अधीच वजन केलेल्या (Previously weighed) यूट्यूबमध्ये शोषले जातात ज्यामधे निर्जल $CaCl_2$ (unhydrous $CaCl_2$) आणि KOH द्रावण असते.
३) या ज्वलनामध्ये तयार झालेली पाण्याची वाफ (H_2O vapours) $CaCl_2$ च्या नळीमध्ये शोषली जाते तर तयार झालेला CO_2 वायू KOH च्या नळीमध्ये शोषला जातो.
४) $CaCl_2$ नळीच्या आणि KOH नळीच्या वाढलेल्या वजनावरून C आणि H ची टक्केवारी काढली जाते.

कार्बनची टक्केवारी काढण्यासाठी :-

1) घेतलेल्या कोळशाचे वजन = a gm
2) KOH नळीच्या वजनातील वाढ ज्वलनमध्ये तयार झालेल्या CO_2 वायूचे वजन = b gm
44 gm CO2 मध्ये = 12 gm कार्बन असतो.

तर b gm CO2 मध्ये = $\frac{12}{44}$ x b gm C अविद्युत घट
त्यामुळे कार्बनची % = $\frac{12}{44} \times \frac{b}{a} \times 100$

H ची टक्केवारी काढण्यासाठी

१. जर घेतलेल्या कोळशाच्या नमुन्याचे वजन = a gm
२. $CaCl_2$ नळीच्या वजनातील वाढ ज्वलनामध्ये तयार झालेल्या पाण्याच्या वाफेचे वजन = C gm
18 gm H2O मध्ये = 2 gm हायड्रोजन असतो.
तर 'C' gm H2O मध्ये = $\frac{2}{18}$ x C gm हायड्रोजन अविद्युत घट.
त्यामुळे हायड्रोजनची % = $\frac{2}{18} \times \frac{c}{a} \times 100$

२. सल्फरची (S) टक्केवारी काढणे (Determination of Percentage of sulfer) S ची टक्केवारी काढण्यासाठी

१) ठराविक वजन असलेला कोळसा ऑक्सिजनच्या उपस्थितीत बॉम्ब उष्मामापी (bomb calorimeter) तापविला जातो.
२) या ठिकाणी S चे ओक्सीडेशन (Oxidation) होऊन त्याचे रुपांतर H_2SO_4 मध्ये होते.
३) तयार झालेल्या H_2SO_4 ची मग $BaCl_2$ बरोबर रासायनिक अभिक्रिया करून $BaSO_4$ चा अवक्षेप (Precipitate) तयार होतो. तो मग गाळून घेतला जातो (filter) वाळवला जातो (dried) आणि त्याचे वजन केले जाते.

S ची टक्केवारी काढण्यासाठी

1) जर घेतलेल्या कोळशाच्या नमुन्याचे वजन = a gm
2) BaSO4 च्या अवक्षेपाचे वजन = b gm
233 gm BaSO4 च्या अवक्षेपामध्ये (ppt) 32 gm S असतो
तर b gm BaSO4 च्या अवक्षेपामध्ये = $\frac{32}{233} \times b$ gm S अविद्युत घट
त्यामुळे सल्फरची % = $\frac{32}{233} \times \frac{b}{a} \times 100$

३.जेल्डाल (Kjeldahl) पद्धतीने नत्राची (nitrogen) टक्केवारी काढणे. (Determination of % nitrogen):

नत्राची टक्केवारी काढण्यासाठी

१) ठराविक वजनाचा कोळसा संहत सल्फुरिक आम्ल (Conc. H_2SO_4) आणि पोट्याशिअम सल्फेट (K_2SO_4) बरोबर CuSO4 च्या सान्निध्यात जेल्डाल नळीमध्ये (Kjeldahl tube) तापविला जातो.
२) तयार झालेले द्रावण मग 50% NaOH बरोबर उकळतात (Boiled).
३) ऊर्ध्वपतित झालेल्या (distilled) अमोनिया (NH_3) मग ठराविक आकारमान (knows volume) असलेल्या

प्रमाणित (standard) 0.1N H_2SO_4 च्या द्रवणामध्ये शोषला जातो.
४) न वापरले गेलेले (unused) आम्ल मग प्रमाणित (standard) NaOH द्रावणासोबत अंनुमापन (titration) करून काढले जाते.
समजा
घेतलेल्या कोळशाच्या नमुन्याचे वजन = a gm
1 लिटर 0.1N H_2SO_4 = 0.1g NH_3 च्या बरोबर आहे = 1.4 g N च्या बरोबर आहे

$$\therefore \quad \text{नत्राचे (N) \%} = \frac{\text{वापरलेल्या आम्लाचे आकारमान नॉरमॉलिटी x 1.4}}{\text{घेतलेल्या कोळश्याचे वजन (a)}}$$

$$= \frac{\text{(volumeofaci * duse * dxnormallty * 14)}}{\text{(Weigh of coal sample taken (a)}}$$

४. ऑक्सिजनची टक्केवारी काढणे (Determination of % of oxygen):

हे अप्रत्यक्षपणे काढले जाते यासाठी % कार्बनची टक्केवारी (%C), हायड्रोजनची टक्केवारी (%H), सल्फरची टक्केवारी (%S) आणि नत्राची टक्केवारी (%N) हे सर्व 100 मधून वजा करतात.
ऑक्सिजनची टक्केवारी (% O)=100 - (% C + % H + % N)

मूलतत्त्वात्मक विश्लेषणाचे महत्त्व (Significance of ultimate analysis):

१) कार्बन : कार्बनमुळे कोळशाचा उष्मांक (Calorific value) वाढतो, कोळशामध्ये कार्बनची टक्केवारी जेवढी जास्त अविद्युत घट तेवढा त्याचा उष्मांक जास्त असतो आणि त्यामुळे अश्या कोळशाची गुणवत्ता आधिक असते.

२) हायड्रोजन आणि ऑक्सिजन :- हायड्रोजन आणि ऑक्सिजन हे कोळशामध्ये आद्रतेच्या स्वरुपात असतात त्यामुळे कोळशापासून मिळणाऱ्या उष्णतेचा काही भाग या आद्रतेचे पाण्याच्या वाफेत रुपांतर करण्यासाठी वापरला जातो. त्यामुळे चांगल्या कोळशात H आणि O कमीत कमी असावे.

३) सल्फर:- कोळशामधील सल्फरमुळे त्याचा उष्मांक वाढतो परंतु त्याचे ओक्सिडेषण झाल्यावर SO_2 आणि SO_2 हे वायू तयार होतात. जे पर्यावरणासाठी हानीकारक असतात व त्याचबरोबर पर्यावरणावर संक्षारक (Corroding) परिणाम करतात. त्यामुळे चांगल्या कोळशामध्ये सल्फरचे प्रमाण कमी असावे.

४) नत्र (नायट्रोजन): कोळशामधील नत्र हा अक्रिय (inert) आणि ज्वलनशील नसलेला (non combustible) भाग आहे कोळशामध्ये नायट्रोजन असणे आवश्यक नाही (undesirable) त्यामुळे चांगल्या कोळशामध्ये नत्राचे प्रमाण कमीत कमी असावे.

६.२.५. बॉम्ब उष्मामापी (Bomb calorimeta):

बॉम्ब उष्मामापी ही घन आणि दव इंधनाचा उष्मांक मोजण्यासाठी वापरली जाते ही स्थिर आकारमान (Constant volume) प्रकारची उष्मामापी आहे जिचा उपयोग विशिष्ठ प्रक्रियेच्या ज्वलनाची उष्णता मोजण्यासाठी केला जातो हि उष्मामापी ज्वलन अथवा दहन प्रक्रियेचा पूर्ण उष्मा (enthalpy) अथवा समग्र उष्णता स्थिर आकरमानला (Constant volume) मोजते.

मूलभूतपणे यामध्ये खलील गोष्टींचा समावेश असतो

१) इंधन ठेवण्यासाठी छोटा प्लॅटिनम मूस (Platinum crucible) जो स्क्रूने बॉम्बला चट्ट बसविलेला असतो.
२) एक खूप मजबूत स्टेनलेस स्टीलचे भांडे आहे ज्याला बॉम्ब म्हणतात.
३) ह्या बॉम्बच्या वरच्या बाजूला ऑक्सिजनसाठी आगम अथावा प्रवेशद्वार (inlet) असते.
४) पाण्याची उष्मामापी (water calarimeter) ज्यामधे विद्युत चलित ढवळनी (stirrer) आणि बेकमन्स तापमापी (Beckmanns thermometer) असते.
५) पाण्याचे आणि हवेचे वेष्टक लावलेला (water and air jacketed) उष्णतारोधक (thermal insulating) डबा अथवा पेटी
६) बॉम्बला जोडलेले प्रज्वलन परिपथ (Ignition circuit)

कार्यप्रणाली (Working):

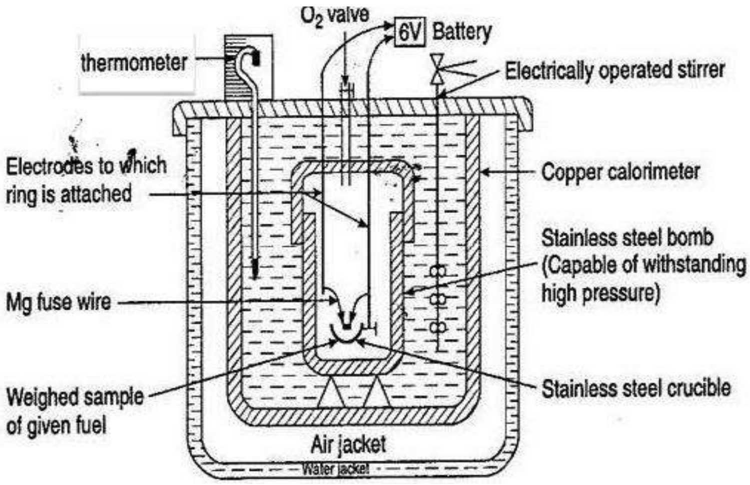
1 ग्रॅम चूर्ण धन (Powdered solid) किंवा द्रव इंधन प्लॅटिनमच्या मुसमध्ये घेतले जाते. इंधनाच्या नमुन्याभोवती

असणारी लोह फ्यूज वायर दोन ईलेक्ट्रोडच्या खालच्या टोकाशी जोडलेली असते. ईलेक्ट्रोडस फ्यूज वायरला विद्युत मंडळाशी (electric circuit) जोडतात हे विद्युत मंडल बंद करून (closing an electric circuit) इंधनाचे ज्वलन अथवा दहन केले जाते.

हा बॉम्ब तांब्याच्या उष्मामापीमध्ये ठेवला जातो ज्यामधे पाणी व ढवळनी असते. बॉम्ब असलेली ही उष्मामापी मग दुसऱ्या एका उष्णतारोधक डब्यामध्ये (heat insulating container) ठेवली जाते. तापमापीच्या (thermometer) सहाय्याने उष्मामापीतिल पाण्याचे सुरवातीचे तापमान (initial temperature) मोजले जाते.

त्यानंतर ऑक्सिजन सिलिंडर बॉम्बला जोडला जातो व त्यातून ऑक्सिजन गॅस बॉम्बमध्ये भरला जातो मग विद्युत प्रवाहाच्या सहाय्याने बॉम्बमधील इंधन जाळले जाते या ज्वलनामधे निर्माण झालेल्या उष्णतेमुळे उष्मामापीतील पाण्याचे तापमान वाढते. तापमापीच्या (thermometer) सहाय्याने वाढलेल्या कमाल तापमानाची (maximum temperature) नोंद केली जाते.
तापमापीची उष्मा धारकता (heat capacity of thermometer) आणि तापमानमध्ये झालेली वाढ घेऊन ज्वलनामध्ये निर्माण झालेली उष्णता काढता येते.

इंधनाच्या ज्वलनाने निर्माण झालेली उष्णता	+	फ्यूजवायरच्या ज्वलनाने निर्माण झालेली उष्णता	=	पाणी आणि उष्मामापीने शोषलेली उष्णता



६.३ द्रवरूप इंधन: जी इंधने द्रवरूप अवस्थेत असतात त्यास द्रवरूप इंधन म्हणतात.
उदहरणार्थ: क्रूड पेट्रोलिअम, डिझेल, पेट्रोल, अल्कोहोल केरोसीन (रॉकेल) इत्यादि.

फायदे (Advantages):

१) त्यांचा उष्मांक जास्त असतो (high calorific value)
२) ते राख तयार करत नाही (ashless)
३) त्यांची ज्वलन प्रक्रिया सहजपणे नियंत्रित करता येते. (Combustion is easily controllable)
४) ते घनरूप इंधनापेक्षा अधिक संक्षिप्तपने संग्रहीत (compactly stared) करता येतात.
५) ते IC इंजिनमध्ये इंधन म्हणून वापरता येतात.
६) ते पाइपलाइनमधून वितरीत (transparted) करता येतात
७) थोडीशी काळजी घेऊन ते सहजपणे हाताळले जाऊ शकतात.
८) साठवणुकी दरम्यान त्यांचे उत्स्फूर्त दहन (spontaneous combustion) अथता विभाजन (deterioration) होत नाही.
९) ते निळ्या रंगाचा ज्योतीने जळतात
१०) त्यांना ज्वलनासाठी घनरूप इंधनापेक्षा कमी हवा लागते

तोटे (disadvantage):

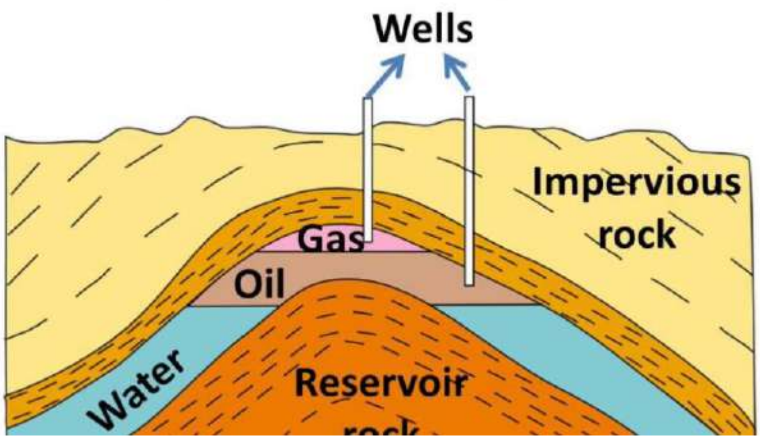
१) ते महाग आहेत
२) त्यांची उत्पादन किंमत (Production cost) जास्त आहे.
३) त्यांचे प्रज्वलन तापमान (ignition temperature) कमी आहे.
४) त्यांच्यामुळे आग लागण्याचा धोका असतो
५) त्यांच्या साठवणुकीसाठी विशेष प्रकारच्या टाक्या (tank) आणि पाइपलाइनची आवश्यकता असते.
६) कोळशाच्या तुलनेमध्ये बहुतेक द्रवरूप इंधनामध्ये सल्फरचे प्रमाण जास्त असते.
७) त्याच्या ज्वलनासाठी विशेष प्रकारचे बर्नर आवश्यक असतात (special type of burners)
८) त्यांना खूप जबरदस्त वास असतो (strong)

- **कूड पेट्रोलिअम (Crude petroleum):**

निसर्गामध्ये सापडणारे क्रूड पेट्रोलिअम ऑइल हे द्रवरूप इंधनाचा मुख्य स्त्रोत आहे (petra दगड oleum - तेल) जगाच्या विविध भागात पृथ्वीच्या भूगर्भात (interior of the earth) आढळणारे हे दगडी तेल (Rocky oil) गडद हिरव्या तपकिरी रंगाचा चिकट द्रव (viscous) पदार्थ आहे. हे मुख्यतः वेगवेगळ्या हायड्रोकार्बनचे उदा. प्याराफिन नॅफथॉलिन (paraffin naphthalene) चे मिश्रण आहे. हायड्रोकार्बनसोबतच त्यामध्ये नायट्रोजन, सल्फर आणि ऑक्सिजन असलेली काही सेंद्रिय संयुग (organic compounds) असतात

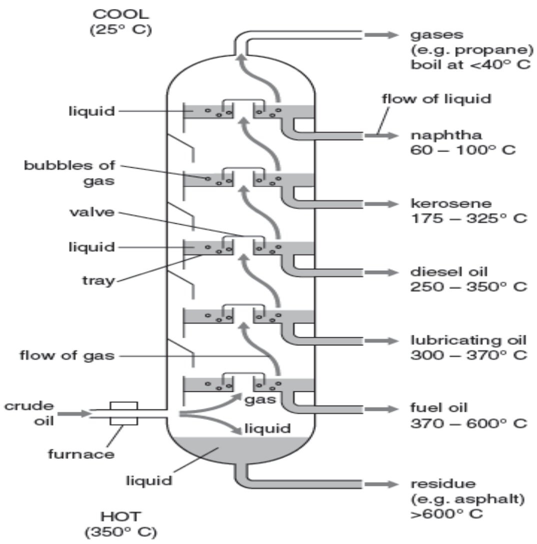
- **पेट्रोलियमचे खाणकाम अथवा पेट्रोलिअम खनन (petroleum mining):**

पेट्रोलिअम तेलाचा साठा असलेल्या भागात वेधन करून छिद्र (drilling hole) केले जाते आणि मग त्या छिद्रातून नळीच्या सहाय्याने पेट्रोलिअम ऑइल जमिनीवर आणले जाते. सामान्यतः पेट्रोलिअम तेलावर जमा झालेल्या नेसर्गिक वायूच्या जलस्थैतिक दाबामुळे (hydrostatic pressure) तेल नळीमधून बाहेर टाकले जाते, जेव्हा नेसर्गिक वायूच्या दबाव पुरेसा नसतो तेव्हा लिफ्ट पंपाद्वारे हवेचा दाब वापरुन विहीरीतून तेल बाहेर काढले जाते.



आकृती ६.३

६.३ . १ पेट्रोलिअम तेलाचे भागशः ऊर्ध्वपातन (fractional distillation of crude petroleum):



आकृती **६.३.१**

एका लोखंडाच्या बकपात्रामध्ये (iron retort) क्रूड पेट्रोलियम तेल 400℃ तापमानपर्यंत तापविले जाते .तयार झालेली वाफ मग एका उंच उभ्या, प्रभाजक स्तंभामधून (fractionating column) पाठविली जाते.

1) या स्तंभामध्ये ठराविक अंतरावर खूप सारी आडवी तबके (horizontal trays) लावलेली असतात. या प्रत्येक तबकामध्ये छोट्या छोट्या चिमण्या अथवा धुराडी असतात ,ज्यांवर सैल झाकण असते (small chimneys with loose caps)

2) या स्तंभामधून वाफ जसजशी वर जाते तस तशी ती थंड होते आणि स्तंभाच्या वेगवेगळ्या उंचीवर त्या वाफेचे प्रभाजी संघटन (Fractional distillation) होते.

3) ज्यांचा उफळ बिंदु अथवा उत्कलन बिंदु (boiling point) जास्त आहे, अश्या भागांचे प्रथम दविकरण (condensation) होते आणि ज्यांचा उत्कलन बिंदु कमी आहे त्यांचे द्रविकरण हळूहळू एका पाठोपाठ एक असे होते (condense turn by turn)

4) 400°c तापमानाला बकपात्रात (iron retart) शिल्लक राहिलेल्या गडद काळ्या रंगाच्या चिकट पदार्थाला (black tarry mass) डांबर (asphalt or pitch) म्हणतात. त्याचा उपयोग रंग बनविण्यासाठी. (manufacturing of point) तसेच लाकूड आणि धातूंना सुरक्षित ठेवण्यासाठी (preserve wood and metals) केला जातो.

६.३.२ पेट्रोलियमचे अल्पांश ,उत्कलन बिंदू आणि घटक (Composition ,Boiling Range of Fractions) :

अ.क्र.	पेट्रोलियमचे अल्पांश	रासायानिक संघटन अथवा रासायनिक घटक (chemical composition	उत्कलन बिंदु (boiling range)	उपयोग (Applications)
१	द्रवीकरण न झालेला वायू (uncondensed Gas)	CH_4 ते C_4H_{10}	30°c च्या खाली (below 30°C)	LPG च्या नावाने घरगुती व औदयोगिक कामासाठी वापरला जातो.
२	पेट्रोलियम इथर (petroleum ether)	C_5H_{12} ते C_7H_{16}	30°C ते 70°C	याचा उपयोग द्रावक (solvent) म्हणून तसेच विमाने आणि हेलिकॉप्टर मध्ये इंधन म्हणून केला जातो.
3	पेट्रोल (petrol or Gasoline)	C_5H_{12} ते C_9H_{20}	40°C ते 120°c	यांचा उपयोग वाहनामध्ये इंधन तसेच द्रावक (solvent) म्हणून आणि कपडे ड्रायक्लीन करण्यासाठी केला जातो.
4	ज्याफ्या अथवा स्पिरीट द्रावक (Naphtha or Spirit solvent)	C_9H_{20} ते $C_{10}H_{22}$	120°c ते 180°C	याचा उपयोग द्रावक म्हणून आणि कपडे ड्रायक्लीन (dry cleaning) करण्यासाठी होतो.
५	रॉकेल (kerosene)	$C_{10}H_{22}$ ते $C_{16}H_{34}$	180°C ते 200°C	याचा उपयोग दीप्तिदायक (illuminant) म्हणून तसेच जेट इंजिन मध्ये इंधन म्हणून व ऑइल गॅस तयार करण्यासाठी केला जातो.
६	डिझेल (Diesel oil)	$C_{15}H_{32}$ ते $C_{18}H_{38}$	250°C ते 320°C	याचा उपयोग डिझेल इंजिन मध्ये इंधन म्हणून केला जातो .

७	जड तेल (Heavy oil) a)वंगणतेल (lubricating oil) b) पेट्रोलियम जेली अथवा वॅसलीन (Petroleum jelly or vaseline) c) ग्रीस (Grease) (d) पॅराफिन व ॅक्स अथवा मेण (Paraffin wax)	$C_{17}H_{36}$ ते $C_{30}H_{62}$	320°C ते 400°C	याचा उपयोग भंजन (Cracking) करून पेट्रोल मिळविण्यासाठी केला जातो अथवा त्यापासून वंगण तेल, पेट्रोलियम जेली, ग्रीस आणि मेण मिळविले जाते. याचा उपयोग वांगणसाठी केला जातो. याचा उपयोग वंगणासाठी औषधांसाठी आणि सौंदर्यप्रसाधने बनवण्यासाठी होतो. याचा उपयोग वंगणासाठी होतो.
८	डांबर (Asphalt)	$C_{30}H_{62}$ आणि वरील हायड्रोकार्बन	400.C पेक्षा जास्त	याचा उपयोग रस्ते बनविण्यासाठी आणि छतांना जलरोधीकारक (water proof) बनवीण्यासाठी होतो

पेट्रोल (gasoline):- हा भाग 40 ते 120°C तापमानाच्या दरम्यान प्राप्त होतो यामध्ये पेन्टेन (C_5H_{12}), हेकझेन (C_8H_{14}), हेप्टेन (C_7H_{16}) आणि ऑक्टेन (C_2H_{18}) अश्या कमी उत्कलन बिंदु (boiling point) असलेल्या हायड्रोकार्बन्सचे मिश्रण (mixture) असते त्याचा उष्मांक 11250 (K.cal / kg) किलो कॅलरी / किलो आहे. त्याचा उपयोग मुख्यतः विमाने आणि विविध वाहनामध्ये असणाऱ्या अंतर्गत ज्वलन इंजिनमध्ये (Internal combustion engine) इंधन म्हणून केला जातो.

रॉकेल (Kerosene) हा अंश (भाग) 180-200°C तापमानाच्या दरम्यान प्राप्त होतो. तो $C_{10}H_{22}$ ते $C_{16}H_{34}$ या मोठ्या हायड्रोकार्बन्सचे (higher hydrocarbons) मिश्रण आहे. त्याचा उष्मांक 11100 किलो कॅलरी / किलो (K.cal / kg) आहे. त्याचे पटकन बाष्पीभवन होत नाही. त्याचा उपयोग मुख्यतः घरामध्ये (domestic) आणि जेट इंजिनमध्ये इंधन म्हणून केला जातो तसेच त्याचा उपयोग दीप्तीदायक (illuminant) म्हणून आणि ऑइल गॅस बनविण्यासाठी केला जातो

डिझेल:- हा अंश 250-300°C तापमांनाच्या दरम्यान प्राप्त होतो. त्यामध्ये $C_{15}H_{32}$ to $C_{18}H_{38}$ या हायड्रोकार्बन्सचे मिश्रण असते. याचा उष्मांक 13500 किलो कॅलरी । किलो (Kcal / kg) आहे. त्याचा उपयोग डिझेल इंजिनमध्ये इंधन म्हणून केला जातो.

६.३ . ३ भंजन (Cracking)

उष्णता अथवा उत्प्रेरकांच्या (catalyst) सहाय्याने जास्त रेणुभार (higher molecular weight) असलेल्या मोठ्या हायड्रोकार्बन्सचे रुपांतर कमी रेणुभार (low molecular weight) असलेल्या पेट्रोल, डिझेल, ओलेफिन्स (olefins) सारख्या पदार्थामध्ये करण्याच्या प्रक्रियेला भंजन म्हणतात.
जेव्हा ही भंजन क्रिया उष्णतेच्या सहाय्याने केली जाते तेव्हा त्याला तापिय भंजन (thermal cracking) म्हणतात
जेव्हा ही भंजन क्रिया उत्प्रेरकांच्या सहाय्याने केला जातो तेव्हा त्याला उत्प्रेरकीय भंजन (Catalytic cracking) म्हणतात.

जास्त रेणुभार असलेले मोठे हायड्रोकार्बन्स ज्यांचा द्रवणांक (melting point) आणि उत्कलन बिंदु (boing point) जास्त आहे.	उष्णता / उत्प्रेरक ⟶	कमी रेणुभार असलेले लहान हायड्रोकार्बन्स ज्यांचा द्रवणांक (M.P.) आणि उत्कलन / उकळण बिंदु (B.P) कमी आहे.

६.३ . ४ नॉकिंग अथवा आघात (Knocking)

अंतज्वलन इंजिनच्या सिलिंडरमध्ये (IC engine cylinder) हवा आणि इंधनाच्या मिश्रणाच्या अकाली अथवा मुदतपूर्व (premature) ज्वलनामुळे जो तीक्ष्ण आवाज निर्माण होतो त्याला नॉकिंग म्हणतात. अंतर्ध्वलन इंजीनच्या सिलिंडरमध्ये हवेचा दाब आचनक वाढल्यामुळे होणारा हा एक प्रकारचा स्फोट (explosion) आहे.
चांगले इंधन (good fuel) ठिणगी लावली असता (on sparking) अंतर्ध्वलन इंजिनच्या सिलिंडरमध्ये योग्य संपीडन गुणोत्तरासह (compression ratio) एक सारखेणाने (steadily) आणि पूर्णपणे जळते. जर संपीडन गुणोत्तर (compression ratio) योग्य सीमेच्या पलीकडे गेले (exceed the limit) तर नॉकिंग होते.

नॉकिंगमध्ये इंधन अनियमितपणे (unevenly) जळल्यामुळे प्रचंड दाब निर्माण होतो ज्यामुळे तीक्ष्ण आवाज तयार होतो व इंजिनच्या सिलिंडरच्या भिंतीचे (cylinder wall) व दट्ट्याचे (piston) मोठ्याप्रमाणात नुकसान होते. त्यामुळे इंजिनच्या शक्तीची हानी होते (Power loss), पेट्रोलमध्ये टेट्रा इथिल लेड (tetra ethyl lead) टाकून नॉकिंगला प्रतिबंध करता येतो. या ठिकाणी टेट्रा इथिल लेड हा आघातरोधी पदार्थ (anti knocking agent) म्हणून काम करतो.

६.३.५ ऑक्टेन नंबर (Octane number):

यालाच आघातरोधी मापन (Antiknocking rating) म्हणतात. इंधन आणि हवेचे मिश्रण जेव्हा अंतर्ध्वलन इंजिनच्या सिलिंडरमध्ये जळते तेव्हा इंधनाच्या नॉकिंगला अथवा आघातला विरोध करण्याच्या प्रवृत्तीचे मापक म्हणजेच त्याचा ऑक्टेन नंबर.
वास्तविकपणे ऑक्टेन नंबर म्हणजे आयसो ऑक्टेन (ISO-Octane) आणि एन - हेप्टेन (N- heptane) च्या मिश्रणामध्ये असलेली आयसो ऑक्टेनची टक्केवारी (% of iso-octane) आहे. इंधनाचा ऑक्टेन नंबर जेवढा जास्त अविद्युत घट तेवढी त्याची नॉकिंगची (आघाताची) प्रवृत्ती कमी असते. टेट्रा इथील लेड (tetra ethyl lead) इंधनामध्ये टाकल्यास त्याचा ऑक्टेन नंबर वाढतो पण त्यामुळे हवेमध्ये शिश्याचे कण (Lead Particles) सोडले जातात जे हवेचे प्रदूषण वाढतात.

६.३ . ६ सिटेन नंबर (Cetane Number):

सिटेन नंबर ही डिझेल इंधनाची महत्त्वाची प्रॉपर्टी आहे जिच्यावर इंधनाची कामगिरी (engine performance) आणि उत्सर्जन (emission) अवलंबून आहे. हे इंधनाच्या प्रज्वलनाच्या विलंबाचे व्यस्त फलन (inverse function) आहे. इंधन प्रज्वलन विलंब म्हणजेच वास्तविक इंधन अंतःक्षेपन (fuel injection) सुरू होणे आणि इंधनाचे वास्तविक दहन (actual combustion) सुरू होणे यातील कालावधी आहे.

खरेतर सिटेन नंबर म्हणजे हेक्झा डेकेन (hexa decane) आणि 2-मिथाईल न्याफ्थलीन (2-methyl naphthalein) यांच्या मिश्रणामध्ये असलेली हेक्झा डेकेनची (hexa decane) टक्केवारी आहे. डिझेल इंजिनमध्ये इंधन प्रज्वलित करण्यासाठी ठिनगीच्या ऐवजी उष्णता व दाब यांचा वापर करतात. त्यामुळे इंधनाचा प्रज्वलन बिंदु (ignition temperature) कमी असायला हवा . जेवढा सिटेन नंबर जास्त असतो तेवढा प्रज्वलन बिन्दु कमी असतो आणि इंधनाची प्रज्वलन क्षमता चांगली असते.
इंजिनच्या कामगिरीचे बरेचशे परामुल्य (parameter) जसे की ज्वलन (combustion), स्थिरता (stability), पांढरा धुर (white smoke), आवाज (noise) आणि CO आणि HC चे उत्सर्जन इत्यादी सिटेन नंबरवर अवलंबून असतात.

६.४ वायूरूप इंधन (gaseous fuel)
जी इंधने वायू अवस्थेत असतात त्यांना वायूरुप इंधन म्हणतात.
उदाहरण - बायोगॅस, वॉटर गॅस, कोल गॅस, प्रोड्यूसर गॅस. LPG, CNG इत्यादी

फायदे (Advantages)
१. घनरूप आणि द्रवरूप इंधनांपेक्षा त्यांचा उष्मांक जास्त असतो.
२. त्यांना प्रज्वलित करणे आणि) सोपे असते.
३. वायू नियामी (gas regulator) वापरुन त्यांचे ज्वलन (combustion) नियंत्रित करता येते.
४. ते धूररहित व राखरहित (smokeless and ashless) असतात.
५. त्यांची औष्णिक कार्यक्षमता (thermal efficiency) खूप जास्त असते.
६. संपूर्ण ज्वलनासाठी त्यांना थोडीशी अतिरिक्त हवा लागते.
७. ते अंतर्ध्वलन (I.C. Engine) इंजिनमध्ये वापरता येतात.
८. पर्यावरणाला प्रदूषित न करता त्यांचे पूर्ण दहन होते.
९. ते पाईपद्वारे सहज पुरविले जाऊ शकतात.
१०. त्यांना विशिष्ठ प्रकारच्या बर्नरची आवश्यकता नसते.

तोटे (disadvantages)
१. ते फारच महाग असतात.
२. त्यांचा उत्पादन खर्च जास्त असतो.
३. ते अत्यंत ज्वलनशील (कमी प्रज्वलन तापमानात) असतात.
४. त्यांच्यामुळे आग लागण्याचा धोका असतो.
५. त्यांच्या साठवणुकीसाठी विशिष्ठ प्रकारच्या टाक्या आणि पाईप लागतात.

६.४.१ द्रवीत पेट्रोलियम वायू (liquified petroleum gas):
यालाच बाटलीबंद वायू (bottled gas) अथवा रिफायनरी गॅस म्हणतात. त्यावर दाब दिल्यास तो सहजपणे द्रवरूप अवस्थेत जातो (liquifies under pressure) परंतु वातावरणीय दाबाला (atmospheric pressure) तो वायरूप अवस्थेत असतो. पेट्रोलियम च्या भागशः उर्ध्वपतनामध्ये किंवा जड तेलाच्या भंजनाच्या वेळी त्याची उपउत्पादन म्हणून निर्मिती होते.

संघटन अथवा घटक प्रमाण (composition)
इथेन - 0.20%
प्रोपेन - 57.3%
ब्युटेन - 41.10%
पेन्टेन - 1.40%

गुणधर्म (properties)
१. तो अत्यंत ज्वलनशील आहे.
२. तो रंगहीन व गंधहीन वायू आहे.
3. त्याचा उष्मांक 27800 कि कॅलरी/मि^{3} (K - Cal / (m ^{3}) आहे.
४. त्याच्यामुळे स्टीलला किंवा तांब्याला गंज लागत नाही.
५. त्याच्या ज्वलनामध्ये कोणतेही हानिकारक उत्पादन तयार होत नाही.
६. त्याचे दिर्घ श्वसन केल्यास तो किंचित विषारी (slightly toxic) आणि किंचित बधिरकारी (anaesthetic) आहे.
७. त्याची उष्णता देण्याची गती (heating rate) आणि कार्यक्षमता (efficiency) अधिक आहे.
८. वापरताना तो स्वच्छ आहे तसेच त्याला सुस्थितीत ठेवण्यासाठी (maintenance) कमी काळजी घ्यावी लागते.

अनुप्रयोग (Applications)
१. एलपीजीचा उपयोग मुख्यतः घरगुती इंधन म्हणून घरगुती वापरासाठी वापरला जातो .
२. तो हवेमध्ये सहजपणे मिसळतो व स्वच्छपणे जळतो त्यामुळे त्याचा उपयोग वाहनामधील इंधनासाठी केला जातो.
३. त्याचा उपयोग एरोसोल (aerosol) उद्योगामध्ये केला जातो (aerosol = दवीभूत वायू)
४. त्याचा उपयोग सुवाह्य ब्लो लॅम्प (portable blow lamp) झाळकाम करण्यासाठी (soldering), पिझाळणकाम करण्यासाठी (brazing). वितळजोडकाम करण्यासाठी (welding) आणि कर्तन करण्यासाठी (cutting) केला जातो.

६.४ . २ संपीडीत नैसर्गिक वायू (compressed natural gas) (CNG):

हा तयार करण्यासाठी नैसर्गिक वायूचे संपीडन (compression) त्याच्या मानक वातावरणीय दाबाला (standard atmospheric pressure) असलेल्या आकरमानाच्या 1% पेक्षा कमी आकारमानाला केले जाते. तो सिलेंडर मध्ये साठवला जातो व वितरित केला जातो. त्याच्या ज्वलनामध्ये ग्रीन हाऊस गॅसेस तयार होतात परंतु तो पेट्रोल आणि डीझेल पेक्षा वातावरणासाठी अधिक स्वच्छ आहे.

संघटन अथवा घटक प्रमाण (Composition)

मिथेन (CH_4) - 88.5%
इथेन ($C_2 H_6$) - 5.5%
प्रोपेन ($C_3 H_8$) - 3.7%
ब्युटेन ($C_4 H_{10}$) - 1.8%
H_2 , CO_2 आणि H_2S

गुणधर्म (properties)

१. हा पेट्रोल आणि डिझेल पेक्षा स्वस्त आहे.
२. त्याचे प्रज्वलन तापमान 540°C आहे.
३. तो वासहीन व रंगहीन आहे.
४. तो वजनाने हलका असलेला वायू आहे.
५. त्याचे उष्मांक 8000 ते 14000 किलो कॅलरी / (मीटर)^3 Kg-Cal/m^3 आहे.
६. तो शिसे (lead) आणि सल्फर (sulfur) पासून मुक्त असल्याने त्याचा वापर हानिकारक इंजिन उत्सर्जन (engine emission) मोठ्या प्रमाणात कमी करते.
७. गळतीच्या बाबतीत (leakage) तो इतर इंधनांपेक्षाअधिक सुरक्षित आहे कारण तो हवेपेक्षा हलका आहे आणि सोडल्यास लगेच पसरतो.

उपयोग (Applications)

१. याचा उपयोग पारंपरिक पेट्रोल इंजिन कार मध्ये केला जातो.
२. त्याचा उपयोग गतियंत्र जनरेटर मध्ये (locomotive generators) रेल्वेच्या मोटर्स (Train motors) चालवणारी वीजनिर्मिती करण्यासाठी केला जातो.

६.४ . ३ बायोगॅस

विनॉक्सी जिवाणूद्वारे (anaerobic bacteria) जैविक पदार्थाचे (biological matter) मुक्त ऑक्सिजनच्या अनुपस्थित जैविक अपघन (biological degradation) केल्याने हा तयार होतो.

उदाहरण

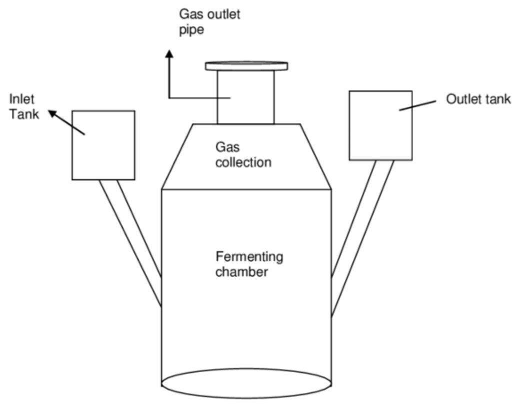
१. नैसर्गिक वायू - हे बायोगॅसचे सर्वात सामान्य उदाहरण आहे. जमिनीखाली गडल्या गेलेल्या वनस्पती आणि प्राण्यांच्या कुजण्यामुळे (decay) तयार होतो.
२. गोबर गॅस हा गाईच्या शेणाच्या वातनिरपेक्ष किण्वन (anaerobic fermentation) मध्ये तयार होतो.
३. बायोगॅस हा मलजल कचरा (sewage waste) आणि जैविक कचरा (organic waste) पासून तयार होतो.

संघटन अथवा घटक प्रमाण (composition)

CH_4 – मिथेन = 50 - 60%
CO_2 - कार्बन डायऑक्साइड = 30-40%
H 2 - हायड्रोजन = 5 - 10%
N2 - नायट्रोजन = 2-6%
H_2S - हायड्रोजन सल्फाईड = अत्यल्प प्रमाणात (trace)

गुणधर्म (properties)
१. शेण किंवा लाकूड जाळून मिळणाऱ्या उष्णतेपेक्षा जास्त उष्णता बायोगॅसच्या ज्वलनामध्ये निर्माण होतो.
२. तो धूररहित व राखरहित जळतो.
३. तो स्वस्त, वापरात स्वच्छ आणि सोयीस्कर इंधन आहे.
४. तो वातावरण प्रदुषित करत नाही.
५. यात कोणतीही साठवण समस्या नाही.
६. बायोगॅस उत्पादन खूप किफायतशीर आहे.
७. त्याचा उष्मांक 3400Kcal / K g आहे.
८. त्याच्या निर्मितीबरोबरच चांगल्या दर्जाचे भरपूर खत निर्माण होते.

उपयोग (Application)
१. हे कार्यक्षम इंधन म्हणून वापरले जाते.
२. याचा उपयोग अन्न शिजविण्यासाठी केला जातो.
३. खेड्यामध्ये याचा उपयोग दीप्तिदायक (illuminent) म्हणून केला जातो.
४. जनरेटर, पाण्याचे पंप, कडबा कुट्टी मशीन यासारखी यंत्र चालविण्यासाठी त्याचा उपयोग केला जातो.



आकृती ६.४.३

६.४.४ वायूरूप इंधनाच्या ज्वलनाचे रासायनिक समीकरण (combustion equation of gaseous fuel):
बायोगॅस, सीएनजी, एलपीजी (biogas, CNG, LPG) सारख्या वायूरूप इंधनामध्ये वेगवेगळ्या हायड्रोकार्बन्सचे मिश्रण असते. वायूरूप इंधनाच्या ज्वलन प्रक्रियेमधे त्यातील कार्बन, हायड्रोजन आणि सल्फर यांची ऑक्सिजन बरोबर रासायनिक अभिक्रिया होते. या अभिक्रिया उष्मादायी अभिक्रिया (exothermic) आहेत, त्यामुळे त्यात उष्णता निर्माण होते. वायूरूप इंधनांचा उष्मांक (calorific value) त्यातील कार्बन आणि हायड्रोजनच्या प्रमाणावर अवलंबून असते.

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + 94Kcal$$
$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 68.5Kcal$$
$$S + O_2 \longrightarrow SO_2 + 71\ Kcal$$

वायूरूप इंधनाच्या ज्वलन प्रक्रियेमधे त्याचे ऑक्सिडाईझर सोबत होणाऱ्या रासायनिक अभिक्रियेचे सर्व सामान्य समीकरण खालील प्रमाणे दर्शवता येईल.

$$\mathbf{C_xH_y + Z\ (O_2 + 3.76\ N_2) \longrightarrow aCO_2 + bH_2O + cN_2 + dO_2}$$

➢ **घनरूप, द्रवरूप आणि वायूरूप इंधनामधील फरकः**

अ.क्र.	घनरूप इंधन	द्रवरूप इंधन	वायूरूप इंधन
१	सर्वात कमी उष्मांक	जास्त उष्मांक	सर्वात जास्त उष्मांक
२	सर्वात जास्त प्रज्वलन तापमान	मध्यम तापमान प्रज्वलन	सर्वात कमी प्रज्वलन तापमान
३	सर्वात जास्त राखेचे प्रमाण	राखेचे प्रमाण अत्यल्प	राख रहित
४	बाष्पनशील पदार्थ आणि आद्रतेचे प्रमाण अत्यंत जास्त	बाष्पनशील पदार्थ आणि आद्रतेचे प्रमाण अत्यंत कमी	आद्रता रहित
५	ज्वलन प्रकिया पटकन नियंत्रित करता येत नाही	ज्वलन प्रकिया पटकन नियंत्रित करता येते	ज्वलन प्रकिया पटकन नियंत्रित करता येते
६	साठवणुकीसाठी जास्त जागा लागते पण सुरक्षित आहे (आग लागण्याचा धोका नसतो)	साठवणुकीसाठी कमी जागा लागते परंतु आग लागण्याचा धोका असतो	साठवणुकीसाठी खूप मोठ्या मोठ्या टाक्या लागतात आणि आग लागण्याचा धोकाही असतो
७	औष्णिक कार्यक्षमता कमी आहे	औष्णिक कार्यक्षमता जास्त आहे	औष्णिक कार्यक्षमता खूपच जास्त आहे
८	जळताना जास्त धूर तयार करतो	जळताना कमी धूर तयार करतो	धूर रहित असतात
९	अंतज्वलन इंजिनमध्ये वापरता येत नाही	अंतज्वलन इंजिनमध्ये वापरता येते	अंतज्वलन इंजिनमध्ये वापरता येतात
१०	त्याचे परिवहन करणे खूप त्रासदायक आहे परंतु त्यात काही धोका नाही.	त्याचे परिवहन पाईपच्या सहाय्याने करता येते परंतु ते थोडे धोकादायक असते	त्याचे परिवहन पाईप च्या सहाय्याने करता येते परंतु ते थोडे धोकादायक असते
११	ते स्वस्त असतात	ते थोडेसे महाग असतात	ते खूपच महाग असतात

६.५ ग्रीन हायड्रोजन (Green Hydrogen):

नूतनीकरणक्षम ऊर्जेद्वारे (renewable energy) तयार केलेल्या विजेसह पाण्याचे इलेक्ट्रोलिसिस वापरून ते तयार केले जाते. कार्बनची तीव्रता (carbon intesity) शेवटी विजेच्या स्त्रोताच्या कार्बन तटस्थतेवर (carbon neutrality) अवलंबून असते (म्हणजे, विजेच्या इंधन मिश्रणात जितकी अधिक नूतनीकरणक्षम ऊर्जा (renewable) असते, तितका "ग्रीन" हायड्रोजन तयार होतो.

याला अक्षय हायड्रोजन असेही म्हणतात, ग्रीन हायड्रोजन पाण्याचे इलेक्ट्रोलिसिस ने मिळवले जाते. सर्वात महत्त्वाची गोष्ट म्हणजे ही प्रक्रिया पूर्णपणे अक्षय ऊर्जेद्वारे (renewable energy) चालविली जाते, त्यामुळे ती वातावरणात कोणतेही प्रदूषित उत्सर्जन निर्माण करत नाही, आणि सर्वात स्वच्छ आणि टिकाऊ हायड्रोजन आहे.

६.५.१. नवीकरणीय स्त्रोतांकडून इलेक्ट्रोलिसिसद्वारे ग्रीन हायड्रोजनचे उत्पादन

अक्षय (renewable) आणि आण्विक संसाधनांमधून (Nuclear resources) कार्बन मुक्त हायड्रोजन उत्पादनासाठी इलेक्ट्रोलिसिस हा एक आशादायक (Promising) पर्याय आहे. इलेक्ट्रोलिसिस ही वीज वापरून पाण्याचे हायड्रोजन आणि ऑक्सिजनमध्ये विभाजन करण्याची प्रक्रिया आहे. ही अभिक्रिया इलेक्ट्रोलायझर (electrolyzer) नावाच्या युनिटमध्ये घडते. इलेक्ट्रोलायझरचा आकार लहान आकाराच्या उपकरणांपासून ते मोठ्या प्रमाणात वितरित हायड्रोजन उत्पादनासाठी योग्य असलेल्या मध्यवर्ती उत्पादन सुविधांपर्यंत असू शकतो. ज्या थेट नूतनीकरणक्षम (renewable) किंवा इतर गैर-ग्रीनहाऊस-वायू-उत्सर्जक (Non-greenhouse- gas-emitting) प्रकारांशी जोडले जाऊ शकतात.

कार्यरत (Working): इंधन विद्युत घट (Fual cell) प्रमाणे, इलेक्ट्रोलायझरमध्ये (electrolyzer) इलेक्ट्रोलाइटद्वारे विभक्त कॅथोड(cathode) आणि ॲनोड (anode) असतात. विविध इलेक्ट्रोलायझर वेगवेगळ्या प्रकारे कार्य करतात, मुख्यत्वे विविध प्रकारच्या इलेक्ट्रोलाइट सामग्रीमुळे (electrolyte material involved) आणि ते निर्माण केलेल्या आयनिक प्रजातींमुळे (ionic species).

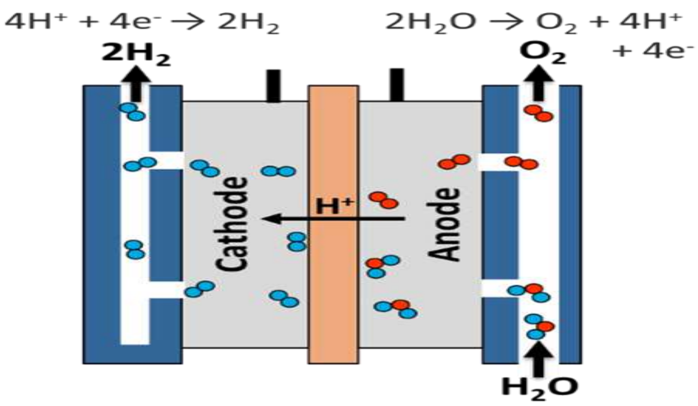
पॉलिमर इलेक्ट्रोलाइट मेम्ब्रेन इलेक्ट्रोलायझर (polymer electrolyte membrane electrolyzer):

इलेक्ट्रोलायझरमध्ये पॉलिमर इलेक्ट्रोलाइट मेम्ब्रेन (पीईएम) ही एक प्लास्टिक सामग्री आहे.

- पाणी ऑक्सिजन आणि धनप्रभारित हायड्रोजन आयन (प्रोटॉन) तयार करण्यासाठी एनोडवर अभिक्रिया (reaction) देते. इलेक्ट्रॉन बाह्य सर्किटमधून वाहतात आणि हायड्रोजन आयन (proton) निवडकपणे पीईएम ओलांडून कॅथोडकडे जातात.
- कॅथोडवर, हायड्रोजन आयन बाहेरील सर्किटमधील इलेक्ट्रॉन्ससह एकत्रित होऊन हायड्रोजन वायू तयार होतो.

ॲनोड अभिक्रिया (Anode Reaction) : $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

कॅथोड अभिक्रिया (cathode Reaction) : $4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2$



आकृती 6.5.1

इलेक्ट्रोलिसिसद्वारे ग्रीन हायड्रोजनचे उत्पादन

ग्रीन हायड्रोजनचे फायदे आणि तोटे:

बहुतेक उर्जा स्त्रोतांप्रमाणेच, ग्रीन हायड्रोजनचे फायदे आणि तोटे दोन्ही आहेत.

तोटे(Disadvantages):

1) जरी ते 100% शाश्वत (Sustainable) आणि बहुमुखी (versetile) असले तरी, ग्रीन हायड्रोजन तयार करणे महाग आहे.

2) पायाभूत सुविधांचा अभाव (Lack of infrastructure) आणि उच्च खर्चामुळे, हायड्रोजन ऊर्जा सध्याच्या स्थितीत व्यवहार्य नाही.

फायदे (Advantages):

1. 100% टिकाऊ**:** ग्रीन हायड्रोजन ज्वलनाच्या वेळी किंवा उत्पादनादरम्यान प्रदूषित वायू उत्सर्जित करत नाही.

2. साठवण्यायोग्य**:** हायड्रोजन संचयित करणे सोपे आहे, ज्यामुळे ते नंतर इतर कारणांसाठी आणि उत्पादनानंतर लगेचच वापरता येऊ शकते.

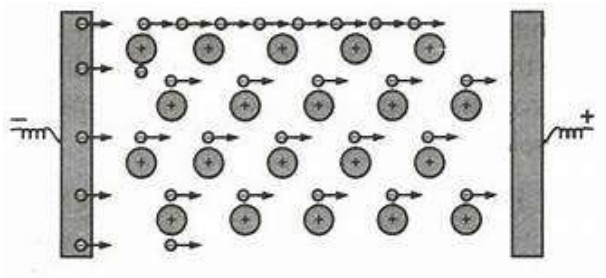
६.६ विद्युत वाहकता (Electrical Conductance) :

६.६.१. धातूंमधील विद्‌युत वाहकता (Electrical Conductance in Metal):

मोबाईल व्हॅलेन्स इलेक्ट्रॉनच्या उपस्थितीमुळे (due to presence of Free / Mobile elctrons) धातूची विद्‌युत वाहकता असते. जेव्हा संपूर्ण धातूवर संभाव्य फरक (potential difference) लागू केला जातो, तेव्हा मुक्त मोबाइल इलेक्ट्रॉन सहजपणे धनप्रभारित इलेक्ट्रोडकडे जातात. हे इलेक्ट्रॉन एकाच वेळी ऋण प्रभारित इलेक्ट्रोडमधून येणाऱ्या इलेक्ट्रॉन्सने बदलले.

यात विद्‌युत वाहकता तयार होते.

धातूंचे विद्‌युत वाहकता



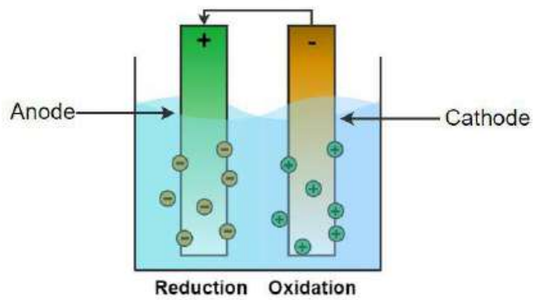
Electrical conductivity in metal crystals

आकृती 6.6.1

६.६.२. इलेक्ट्रोलाइट्समध्ये विद्‌युत वाहकता (Electrical Conductance in Electrolyte):

इलेक्ट्रोलाइट द्रावणाच्या (Electrolyte Solution) विद्‌युत् संचलनाच्या सामर्थ्याला (Power to conduct Electricity) इलेक्ट्रोलाइटिक विद्‌युत वाहकता (Elctrical Conductance) म्हणतात. इलेक्ट्रोलाइट सोल्युशनमध्ये बुडवलेल्या इलेक्ट्रोड्सवर व्होल्टेज लावला जातो तेव्हा विद्‌युत प्रवाह इलेक्ट्रोलाइट द्रावणात होतो आणि इलेक्ट्रोलाइटचे आयन उलट चार्ज केलेल्या इलेक्ट्रोड्सकडे जातात.

उदा. फ्यूज्ड NaCl मध्ये विद्‌युत वाहकता



ॲनोड (+) इलेक्ट्रोडवर : ऑक्सिडेशन अभिक्रिया (oxidation reaction) : $Cl^- \rightarrow \frac{1}{2} Cl_2 + e^-$

इलेक्ट्रॉन बाह्य सर्किटद्वारे एनोडपासून कॅथोडकडे जातात.

कॅथोड (-) इलेक्ट्रोड येथे: रिडक्शन अभिक्रिया (Reduction reaction) : $Na^+ + e^- \rightarrow Na$

जेव्हा संमिश्रित NaCl (Fused NaCl) मध्ये व्होल्टेज लागू केले जाते, तेव्हा इलेक्ट्रोलाइटचे आयन म्हणजे Na^+ आयन कॅथोडकडे जातात आणि Cl^- आयन एनोडमध्ये जातात. आणि द्रावणामध्ये विद्‌युत प्रवाहाचा प्रवाह होतो याला इलेक्ट्रोलाइटिक कंडक्टन्स म्हणतात

६.६.३ विशिष्ट वाहकता (k) (Specific Conductance):

विशिष्ट वाहकता हे विशिष्ट विद्युत विरोधाचे (Specific Resistance) वृतक्रम (reciprocal) आहे:
विशिष्ट विद्युत विरोध (Specific Resistance) (p)
p = $R.\frac{a}{l}$
विशिष्ट वाहकता (Specific Conductance) (K) आहे = $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R}.\frac{l}{a}$

जर $l = 1\text{cm}$ आणि a=1 cm^2

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R}$$
$$K = \frac{1}{R}$$

किंवा विशिष्ट वाहकता (Specific Conductance) म्हणजे पदार्थाच्या एक सेंटीमीटर घनाची वाहकता.

६ . ६ . ४ समतुल्य वाहकता (Equivalent Conductance) :

दोन इलेक्ट्रोडमधील अंतर 1 सेमी असते आणि इलेक्ट्रोडचे क्षेत्रफळ (area of the electrode) इतके मोठे असते की संपूर्ण द्रावणाच्या व्हीसीसी (VCC) मध्ये विरघळलेल्या एका ग्राम समतुल्य (1gm Equivalent of electrolyte) इलेक्ट्रोलाइटच्या विघटनाने उत्पादित केलेल्या सर्व आयनांचे वाहकता याला इलेक्ट्रोलाइटचे समतुल्य वाहकता (Equivalent Conductance) म्हणून परिभाषित केले जाते. समतुल्य वाहकता (Equivalent Conductance) ^ किंवा **λ'** द्वारे दर्शविले जाते.

$$\lambda = k \times V$$

K-विशिष्ट वाहकता (Specific Conductance)
V- इलेक्ट्रोलाइट (Volume of Electrolyte)

$$\lambda = k \times V$$

म्हणून, समतुल्य वाहकतेचे (Units of Equivalent Conductance is) एकक $ohm^{-1}\ cm^2\ eqvt^{-1}$ किंवा $ohm^{-1}\ cm^2\ eq^{-1}$ किंवा $mho\ cm^2\ eq^{-1}$ आहे.

६.६.५ विद्युत घट स्थिरांक (Cell Constant) :

हे दोन इलेक्ट्रोडमधील अंतर (Distance between two electrode) आणि इलेक्ट्रोडचे क्षेत्रफळ (Area of electrode) यांचे गुणोत्तर आहे.

विद्युत घट स्थिरांक (Cell Constant) = $\frac{\text{दोन इलेक्ट्रोड मधील अंतर}}{\text{इलेक्ट्रोडचे क्षेत्रफळ}}$

विद्युत घट स्थिरांक = $\frac{l}{a}$

k = $\frac{1}{R}.\frac{l}{a}$
k = $\frac{1}{R} X$ विद्युत घट स्थिरांक (Cell Constant)
k = $\frac{\text{विद्युत घटस्थिरांक}}{R}$
विद्युत घट स्थिरांक = K × R
विद्युत घट स्थिरांक =विशिष्ट वाहकता x रेझिस्टन्स

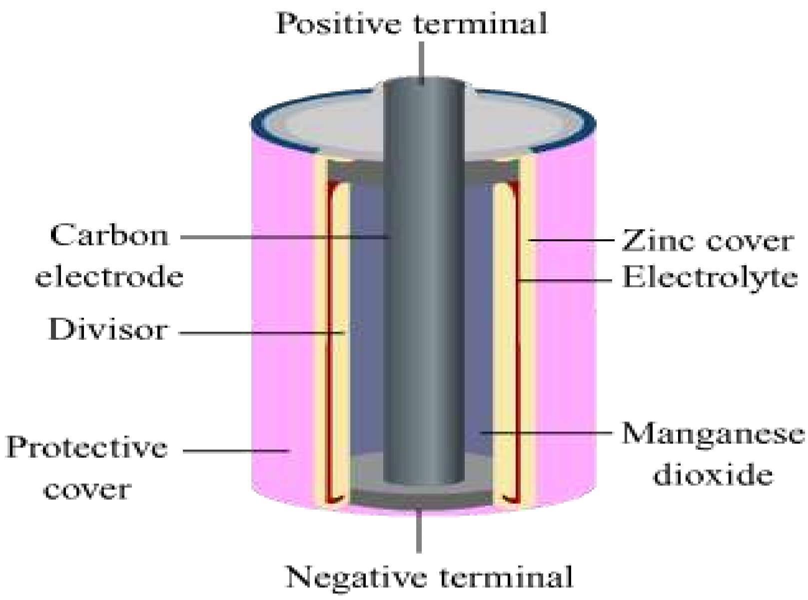
६ . ७ विद्युत घट आणि विद्युत घटमाला (Cell And Battery):

६.७.१ शुष्क विद्युत घट रचना आणि कार्य (**Construction & working of Dry Cell**):

शुष्क विध्युत घट हे नॉन-रिचार्जेबल विद्युत घट आहे. त्यात कोणतेही द्रव नसल्यामुळे त्याला शुष्क घट म्हणतात.

रचना (Construction) : शुष्क विद्युत घट मध्ये झिंक चा बनलेला एक दंडगोलाकार कंटेनर असतो जो ऋण इलेक्ट्रोड (Negative Electrode) म्हणून कार्य करतो म्हणजे ॲनोड. झिंक कंटेनरच्या मध्यभागी कार्बन रॉड ठेवला जातो जो धन इलेक्ट्रोड (Positive Electrode) म्हणजेच कॅथोड म्हणून कार्य करतो. इलेक्ट्रोलाइट ही अमोनियम क्लोराईड (NH_4Cl) आणि झिंक क्लोराईड ($ZnCl_2$) ची पेस्ट आहे जी कार्बन रॉड आणि झिंक कंटेनरमध्ये भरलेली असते. पेस्ट ओली ठेवण्यासाठी अमोनियम क्लोराईडमध्ये झिंक क्लोराईड मिसळले जाते. उर्वरित भाग विद्युत घट MnO_2 आणि कार्बनच्या दुसऱ्या पेस्टने भरला जातो. येथे मँगनीज डायऑक्साइड (MnO_2) आणि कार्बन यांचे मिश्रण डिपोलाराइझर म्हणून कार्य करते, ज्यामुळे हायड्रोजन वायूचे फुगे तयार होण्यास प्रतिबंध होतो. डिपोलायझर (Depolarizer) हा नेहमीच ऑक्सिडायझिंग एजंट असतो. विद्युत घटचा सर्वात वरचा भाग सॉ डस्ट (saw dust) आणि पिच कंपाऊंडने (Pitch Compound) झाकलेला आहे.

➤ **कार्य** (**working**):



आकृती 6.7.1 ड्राय विद्युत घट

ॲनोड येथे: **(ऑक्सिडेशन)**

Anode: $Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

Cathode: $2MnO_2(s) + 2NH_4^+(aq) + 2e^- \rightarrow Mn_2O_3(s) + 2NH_3(g) + H_2O(l)$

Cell: $2MnO_2(s) + 2NH_4^+(aq) + Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Mn_2O_3(s) + 2NH_3(g) + H_2O(l)$

या शुष्क घटाचे आयुष्य खूपच कमी असते आणि विद्युत घट वापरात नसतानाही क्षरण (Discharge) होऊ शकते कारण NH_4Cl हे आम्लीय असते जे झिंक कंटेनरला गंजवते.

. शुष्क घटाचे उत्पादित ईएमएफ 1.5 व्होल्ट आहे.

अनुप्रयोग (**Application**): शुष्क घटाचा वापर आपल्या दैनंदिन जीवनात टॉर्च, टीव्ही रिमोट, घड्याळ, खेळणी, टेप रेकॉर्डर, ट्रान्झिस्टर इत्यादींमध्ये मोठ्या प्रमाणावर केला जातो.

६.७.२ लीड ॲसिड स्टोरेज विद्युत घटची रचना आणि कार्य (Construction & working of Lead acid storage cell):

रचना (**Construction**) : लीड-ॲसिड स्टोरेज विद्युत घटमालामध्ये अनेक पर्यायी व्यवस्था केलेल्या लीड(Pb) आणि लीड ऑक्साईड(PbO) प्लेट्स असतात ज्या सल्फ्यूरिक ॲसिडच्या द्रावणात बुडवल्या जातात. प्लेट्समध्ये सक्रिय सामग्रीसह ग्रिड भरलेले असते. ॲनोड **(ऋण)** प्लेटमध्ये सक्रिय सामग्री म्हणून शुद्ध लीड (Pure Lead) (Pb) असते.

• कॅथोड **(पॉझिटिव्ह)** प्लेटमध्ये लीड डायऑक्साइड (PbO2) सक्रिय पदार्थ म्हणून असतो. या प्लेट्स इन्सुलेट सामग्रीद्वारे विभक्त केल्या जातात आणि 20% पातळ H_2SO_4 आणि 60% H_2O मध्ये बुडवल्या जातात.

कार्य (**working**) :
डिस्चार्जिंग: विद्युत घट वापरात असताना ते बाह्य सर्किटद्वारे वीज पुरवठा करते.

$$Pb_{(s)} \rightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^- \qquad \text{(oxidation)}$$
$$Pb^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)} \rightarrow PbSO_{4(s)} \qquad \text{(precipitation)}$$
$$Pb_{(s)} + SO^{2-}_{4(aq)} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2e^- \qquad \text{(overall oxidation at anode)}$$

Reduction at the +ve electrode or cathode :

$$PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} \qquad \text{(reduction)}$$
$$Pb^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)} \rightarrow PbSO_{4(s)} \qquad \text{(precipitation)}$$
$$PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)} + 2e^- \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)} \qquad \text{(overall reduction at cathode)}$$

डिस्चार्ज प्रक्रियेदरम्यान (**During process of discharging**):

i) $PbSO_4$ (लीड सल्फेट) चा अवक्षेप (precipitate) ॲनोड आणि कॅथोडवर तयार होतो.
ii) सल्फ्यूरिक ॲसिड (H_2SO_4) चे प्रमाण कमी होते.
त्यामुळे विद्युत घटाचे कार्य थांबते आणि ते बाह्य सर्किटद्वारे वीज पुरवठा करत नाही.

चार्जिंग (Charging): जेव्हा दोन्ही इलेक्ट्रोडवर $PbSO_4$ चा अवक्षेप (precipitate) तयार होतो आणि H_2SO_4 ची संहिता (Concentration) कमी होते, तेव्हा विद्युत घट रिचार्ज करणे आवश्यक असते. बाहेरून वीज पुरवठा करून विद्युत घट रिचार्ज केला जातो आणि सर्व रासायनिक अभिक्रिया उलटल्या जातात.

The cell reaction is:

At Anode:

$$PbSO_4(s) + 2e^- \rightarrow Pb(s) + SO_4^{2-}(aq)$$

At Cathode:

$$PbO_2(s) + 2H_2O(l) \rightarrow PbSO_4 + SO_4^{2-}$$

overall net reaction

$$2PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Pb(s) + PbO_2(s) + 4H^+(aq) + 2SO_4^{2-}$$

चार्जिंग प्रक्रियेला वेळेस (**During Process of charging**) :

i) ॲनोडवर तयार झालेल्या लीड सल्फेटचे (PbSO4) शुद्ध लीड (Pure Lead) मध्ये रूपांतर होते.

ii) कॅथोडवर तयार झालेले लीड सल्फेट PbO2 मध्ये रूपांतरित होते

iii) H_2SO_4 ची संहती (Concentration) वाढते.

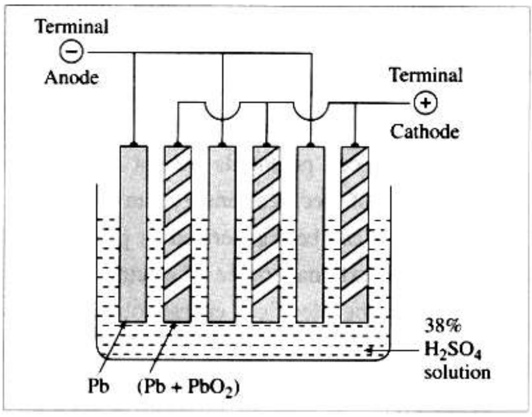


Fig : Lead accumulator

आकृती 6.7.2

अनुप्रयोग (**Application**): इन्व्हर्टर, ऑटोमोबाईल, बॅकअप पॉवर सिस्टम, पॉवर स्टेशन, टेलिफोन एक्सचेंज, गॅस इंजिन इग्निशन, हॉस्पिटल, रेल्वे खाणी इत्यादींमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

फायदे(**Advantages**):

1) त्यांचे जीवनचक्र प्रदीर्घ **(Long last life cycle)** असते.

२) हे रीचार्ज करण्यायोग्य, पोर्टेबल आहे आणि ते तुलनेने स्थिर क्षमता प्रदान करते.

3) हे सर्व आकार आणि आकारात उपलब्ध आहे.

4) कमी देखभाल आवश्यक.

5) मोठा पर्यावरणीय फायदा.

तोटे(**Dis-Advantages**):

1) त्याचे आयुष्य वाढवण्यासाठी (Prolong) योग्य काळजी आणि देखभाल आवश्यक आहे.

2) Conc H2SO4 चा वापर धोकादायक आहे.

3) चार्जिंग दरम्यान जास्त गरम होण्याचा धोका.

६.७.३ निकेल-कॅडमियम विद्युत घटमाला (Ni-Cd विद्युत घटमाला) (Nickel -Cadmium Battery)

रचना (**Construction**): ही दुय्यम रिचार्ज (Secondary rechargeable) करण्यायोग्य विद्युत घटमाला आहे. यात ऋणपट्टिका म्हणजे ॲनोड, हे मऊ कॅडमियम (Cd) आणि धनपट्टिका म्हणजे कॅथोड हा हायड्रेटेड निकेल ऑक्साईड (NiO(OH)) असलेल्या धातूच्या ग्रिडपासून बनलेला असतो. इलेक्ट्रोलाइट हे डिस्टिल्ड वॉटरमध्ये पोटॅशियम हायड्रॉक्साइड (KOH) चे ३० % द्रावण आहे.

कार्य (**Working**):

डिस्चार्जिंग (Discharging):
ॲनोड(at anode): ऑक्सिडेशन अभिक्रिया
ॲनोडमध्ये कॅडमियम इलेक्ट्रॉन गमावतो आणि हायड्रॉक्साईड आयनसह कॅडमियम हायड्रॉक्साईड तयार करतो.

$$Cd_{(s)} + 2OH^-(aq) \rightarrow Cd(OH)_2 + 2e^-$$

कॅथोड (At Cathode) : रिडक्शन अभिक्रिया
कॅथोड हायड्रेटेड निकेल ऑक्साईड पाण्यावर अभिक्रिया देऊन निकेल हायड्रॉक्साईड आणि (OH^-) आयन बनवते.

$$2NiO(OH) + 2H_2O + 2e^- \rightarrow 2Ni(OH)_2 + 2OH^-$$

संयुक्त अभिक्रिया

$$2NiO(OH) + Cd + 2H_2O \rightarrow 2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$$

चार्जिंग (**Charging**):
चार्जिंग दरम्यान सर्व रासायनिक अभिक्रिया उलट होतात
ॲनोड (at anode): ऑक्सिडेशन अभिक्रिया

$$Cd(OH)_2 + 2e^- \longrightarrow Cds + 2OH^-(aq)$$

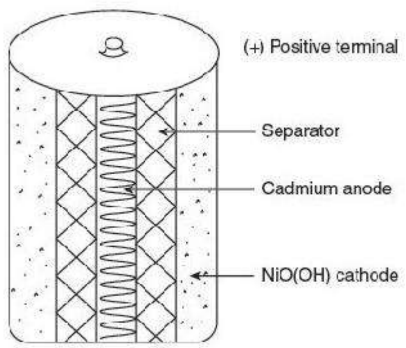
कॅथोड (At Cathode) : रिडक्शन अभिक्रिया

$$2Ni(OH)_2 + 2OH^- \longrightarrow 2NIO(OH) + 2H_2O + 2e^-$$

संयुक्त अभिक्रिया,

$$2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2 \longrightarrow 2NiO(OH) + Cd + 2H_2O$$

Ni-Cd विद्युत घटमालाचा ईएमफ 1.2 व्होल्ट प्रति विद्युत घट आहे.



अनुप्रयोग (**Application**):
1. Ni-Cd विद्युत घटमाला कॉर्डलेस आणि वायरलेस टेलिफोन, आपत्कालीन प्रकाशात वापरल्या जातात.
2. पोर्टेबल इलेक्ट्रॉनिक्स आणि खेळण्यांमध्ये.
3. इलेक्ट्रॉनिक घड्याळे आणि कॅल्क्युलेटरमध्ये.

➤ फायदे (Advantages):

1. त्यांचा अंतर्गत प्रतिकार कमी आहे.
2. ते वेगाने चार्ज होते.
3. कमी देखभाल खर्च.
4. दीर्घायुष्य.

➤ तोटे(Dis- Advantages):

1. लीड-ऍसिड विद्युत घटमालापेक्षा ती महाग आहे.
2. कॅडमियमच्या वापरामुळे गंभीर पर्यावरणीय प्रदूषण होते.

६.७.४ H_2-O_2 इंधन विद्युत घट (H_2-O_2 Fuel Cell) :

इंधन विद्युत घट(Fuel Cell) एक इलेक्ट्रोकेमिकल विद्युत घट (Electrochemical Cell) आहे. ज्यामध्ये रासायनिक उर्जेचे (Chemical Energy) विद्युत उर्जेमध्ये (Electrical Energy) रूपांतर होते. ऑक्सिजनसह हायड्रोजनच्या इलेक्ट्रोकेमिकल अभिक्रियाने रासायनिक उर्जेचे विद्युत उर्जेमध्ये रूपांतर होते. जोपर्यंत हायड्रोजन आणि ऑक्सिजन वायू पुरवला जातो तोपर्यंत इंधन विद्युत घट सतत वीज निर्माण करू शकतात.

➤ रचना (Construction):

यात अल्कली प्रतिरोधक सामग्रीचा (Alkali resistance material) बनलेला एक दंडगोलाकार कंटेनर असतो. हे तीन कप्प्यांमध्ये विभागलेले आहे. मधल्या कंपार्टमेंटमध्ये KOH चे गरम संहत (Concentrated) द्रावण असते. शुद्ध आणि ड्राय H_2 वायू एका बाजूने ॲनोडिक कंपार्टमेंटमध्ये प्रवेश करतो. शुद्ध आणि ड्राय O_2 वायू दुसऱ्या बाजूने कॅथोड कंपार्टमेंटमध्ये प्रवेश करतो.

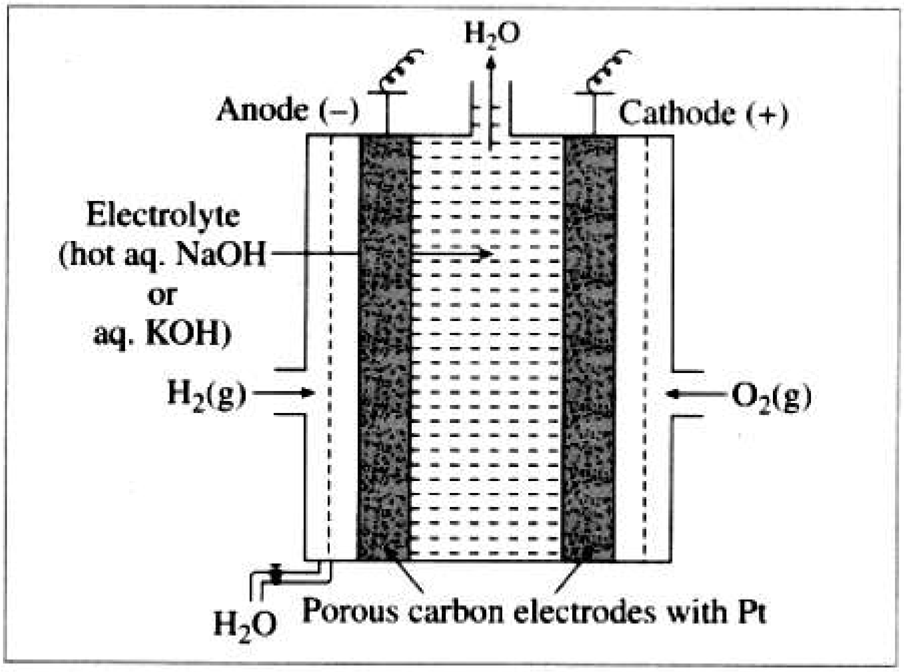


Fig : Hydrogen-oxygen (H_2–O_2) fuel cell

➤ कार्य (Working):

ॲनोड अभिक्रिया (Anode Reaction):

उच्च दाबाखाली असलेला H_2 वायू C- ॲनोड द्वारे विखुरला (Diffused) जातो, तो H-अणूमध्ये विलग (Dissociate) होतो आणि उत्प्रेरकावर शोषला जातो(Adsorbed on the catalyst) आणि नंतर इलेक्ट्रोलाइटच्या OH^- आयनांसह अभिक्रिया देतो.

$$2H_2 + 2OH^- \longrightarrow 4H_2O + 4e^-$$

कॅथोड अभिक्रिया (cathode Reaction):
ॲनोडवर निर्माण झालेले इलेक्ट्रॉन कॅथोडपर्यंत पोहोचतात आणि कॅथोडच्या पृष्ठभागावर शोषलेला ऑक्सिजन कमी होऊन OH^- आयन बनतात.

$O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$

विद्युत घटाद्वारे उत्पादित ईएमएफ 0.8 ते 1.0 व्होल्ट आहे

> इंधन विद्युत घटचे फायदे:(**Advantages of fuel cell**)
1) ऑपरेटिंग वेळ विद्युत घटमालापेक्षा जास्त आहे.
२) देखभालीचा खर्च खूपच कमी आहे.
3) प्रदूषण कमी करते.
4) उच्च कार्यक्षमता.
5) उप-उत्पादन (By- product)पाणी जे पिण्याचे पाणी म्हणून वापरले जाऊ शकते.
6) हे जीवाश्म इंधन (fossil fuel) वाचवते.
7) खूप कमी ध्वनी प्रदूषण.
8) हायड्रोजन हा अक्षय इंधन (renewable fuel) स्त्रोत आहे.
9) हायड्रोजनमध्ये सर्वाधिक ऊर्जा सामग्री (energy content) असते.

➤ तोटे:(**Dis-Advantages of fuel cell**):

1) हायड्रोजन वायू तयार करणे, हाताळणे आणि साठवणे खूप कठीण आहे.
२) मेटल हायड्राइड (Metal Hydride) किंवा कार्बन शोषक (Carbon Absorber) असलेल्या टाकीमध्ये मध्यम तापमान आणि दाबावर हायड्रोजन साठवणे फार कठीण आहे कारण ते खूप महाग आहेत.

स्वाध्याय

१. वायूरूप इंधनांच्या ज्वलन प्रक्रियामध्ये हवेच्या कमतरतेमुळे
a. ज्योत लांब होते
b. ज्योत लहान होते
c. ज्योतीचे तापमान वाढते
d. ज्योतीच्या लांबीवर काही परिणाम होत नाही
(उत्तर a)

२. लॅबोरेटरी गॅस हा .... च्या भंजनामध्ये तयार होते.
a. पेट्रोल
b. डिझेल
c. रॉकेल
d. इंधन तेल
(उत्तर a)

३. खालील पैकी कोण टारच्या ऊर्ध्वपतनामध्ये तयार होत नाही
a. फिनॉल आणि नॅफथॉलिन
b. बेन्झॉइल आणि पिच
c. ॲन्थ्रासिन आणि क्रिओसोट रॉकेल
d. वरीलपैकी काहीही नाही
(उत्तर d)

४. इंधनाचा ढोबळ (gross) आणि निव्वल (net) उष्मांक जर सारखा अविद्‌युत घट

a. जर त्यातील राखेचे प्रमाण शून्य अविद्‌युत घट
b. जर त्यातील हायड्रोजन आणि हायड्रोजन संयुगाचे प्रमाण शून्य अविद्‌युत घट
c. जर त्यातील कार्बनचे प्रमाण अत्यंत कमी अविद्‌युत घट
d. वरीलपैकी काहीच नाही
(उत्तर b)

५. मेटालर्जीकल कोक तयार करताना त्यामध्ये राखेचे प्रमाण जास्त असणे म्हणजे

a. लोखंडाला दिसुल बनवते
b. कोकचे काठिण्य कमी करते
C. कोकची घर्षणामुळे होणारी झीज कमी करते
d. वरीलपैकी काहीही नाही
(उत्तर d)

References use for learning manual

Website

www.chemistryteaching.com
www.chem1.com
www.chemcollective.org
https://archive.nptel.ac.in./courses/103/105/103105110
https://www.iberdrola.com/sustainabilitygreen-hydrogen

References books

Engineering Chemistry by Jain and Jain ISBN: 8174505660
Engineering Chemistry by Dara S.S. ISBN: 8174506314
Chemistry for Engineers by Agnihotri Rajesh ISBN: 9788126550784
Engineering Chemistry by Vairam S. ISBN: 9788786543342
Applied Chemistry with Lab Manual by Anju Rawlley, Devdatta V. Saraf ISBN: -978-93-91505-44-8
Textbook of Applied chemistry,Technical Publication By Dr.Kashmiri A.Khamkar, V.M.Gokhale, C.S.Raut, ISBN : 9789333217255

HEAD OFFICE

Secretary,
Maharashtra State Board of Technical Education
49, Kherwadi, Bandra (East), Mumbai - 400 051
Maharashtra (INDIA)
Tel: (022)26471255 (5 -lines)
Fax: 022 - 26473980
Email: -secretary@msbte.com

Web -www.msbte.org.in

REGIONAL OFFICES:

MUMBAI

Deputy Secretary (T),
Mumbai Sub-region,
2nd Floor, Govt. Polytechnic Building,
49, Kherwadi, Bandra (East)
Mumbai - 400 051
Phone: 022-26473253 / 54
Email: rbtemumbai@msbte.com

PUNE

Deputy Secretary (T),
M.S. Board of Technical Education,
Regional Office,
412-E, Bahirat Patil Chowk,
Shivaji Nagar, Pune
Phone: 020-25656994 / 25660319
Fax: 020-25656994
Email: rbtepn@msbte.com

NAGPUR

Deputy Secretary (T),
M.S. Board of Technical Education
Regional Office,
Mangalwari Bazar, Sadar, Nagpur - 440 001
Phone: 0712-2564836 / 2562223
Fax: 0712-2560350
Email: rbteng@msbte.com

AURANGABAD

Deputy Secretary (T),
M.S. Board of Technical Education,
Regional Office,
Osmanpura, Aurangabad -431 001.
Phone: 0240-2334025 / 2331273
Fax: 0240-2349669
Email: rbteau@msbte.com