महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

थर्मल अभियांत्रिकी

THERMAL ENGINEERING

(313310)

यंत्र अभियांत्रिकी गट

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञान तीसरे व चौथे सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

थर्मल अभियांत्रिकी
Thermal Engineering
(313310)

मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्राज्ञानातील तीसरे व चौथे सत्र पदविका)

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

Mharashtra State Board of Technical education

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.

अनुक्रमाणिका

अ. क्र	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	**थर्मोडायनामिक्सची मूलभूत तत्त्वे** **(Fundamentals of Thermodynamics)**	**1**
2	**आयडियल गॅसेस आणि स्टीमची मूलभूत तत्वे** **(Ideal Gases and Steam Fundamentals)**	**23**
3	**स्टीम पॉवर प्लांट्सचे घटक** **(Components of Steam Power Plants)**	**41**
4	**उष्णता हस्तांतरण आणि उष्णता एक्सचेंजर्स** (Heat Transfer and Heat Exchangers)	**56**
5	**I.C. इंजिन चा परिचय आणि पॉवर सायकल** **(Introduction to I.C. Engine & Power Cycles)**	**69**
	References	**93**

Unit1- Fundamentals of Thermodynamics

थर्मोडायनामिक्सची मूलभूत तत्त्वे

विषय निष्पत्ती: विविध थर्मोडायनामिक प्रणालींमध्ये थर्मोडायनामिक्सच्या मूलभूत संकल्पना लागू करा.(Apply fundamental concepts of thermodynamics to various thermodynamic systems.)

घटक निष्पत्ती

TLO 1.1: विविध थर्मोडायनामिक प्रणाली आणि त्यांचे गुणधर्म योग्य उदाहरणासह स्पष्ट करा.(Explain the various thermodynamic systems & its properties with suitable example.)

TLO 1.2: विविध थर्मोडायनामिक नियमांचा अर्थ समजून घ्या (Interpret various laws of thermodynamics.)

TLO 1.3: विविध थर्मोडायनामिक नियमांचा वापर करून विविध थर्मोडायनामिक उपकरणांची देखभाल करा (Maintain various thermodynamic devices by using laws of thermodynamics.)

थर्मोडायनामिक एकक रूपांतरण

1. तापमान (Temperature)

हा एक इन्टेंसिव्ह (intensive) थर्मोडायनामिक(thermodynamic) गुणधर्म आहे, जो शरीराच्या गरमपणाची डिग्री निर्धारित करतो. तापमान हे थर्मोमीटर आणि थर्मोकपलने मोजले जाते. तापमान मोजण्यासाठी वापरलेले दोन स्केल म्हणजे सेल्सिअस किंवा सेंटीग्रेड (°C) किंवा फारेनहाइट (°F).यापैकी प्रत्येक स्केल ही दोन स्थिर बिंदूंवर आधारित आहे, ते दोन बिंदू म्हणजे पाण्याचा गोठणबिंदू किंवा बर्फ बिंदू आणि पाण्याचा उत्कलन बिंदू किंवा वाफेचा बिंदू असे आहेत.

सेल्सिअस किंवा सेंटीग्रेड (°C)

पाण्याचा गोठणबिंदू 0 म्हणून चिन्हांकित केला आहे आणि उत्कलन बिंदू 100 म्हणून चिन्हांकित केला आहे. या दोन बिंदूंमधील अंतरामध्ये 100 समान विभाग आहेत. प्रत्येक विभाग 1 °C असा दर्शविला जातो.

फॅरेनहाइट (°F)

पाण्याचा गोठणबिंदू 32 आणि उत्कलन बिंदू 212 म्हणून चिन्हांकित केला आहे

. या दोन बिंदूंमधील अंतरामध्ये 180 समान विभाग आहेत.प्रत्येक विभाग 1 °F असा दर्शविला जातो.

फॅरेनहाइट ते सेल्सिअसमधील संबंध

°C = (°F - 32) x (5/9)

उदाहरणार्थ, वरील समीकरण वापरून 5°Cचे फेरेनहाइटमध्ये रूपांतरित करा

5 °C = (°F- 32) x (5/9)

5°C = 41 °F

केल्विन स्केलवर मोजले जाणारे शून्य तापमान म्हणजे परिपूर्ण तापमान. निरपेक्ष शून्य - 273 °C किंवा - 460 °F असे घेतले जाते.

सेल्सिअस ते केल्विनमधील संबंध: T(K)=T(°C)+273

2. दाब (Pressure)

दाब म्हणजे एखाद्या वस्तूवर घातलेली भौतिक शक्ती म्हणून परिभाषित केले जाते. लागू केलेले बल प्रति युनिट क्षेत्रफळाच्या वस्तूंच्या पृष्ठभागावर लंब असते. SI प्रणालीमध्ये दाबाचे एकक N/m^2, N/mm^2 आहे. हे बार(bar) किंवा पास्कलमध्ये(pascal) देखील मोजले जाते.

1 बार = 10^5 N/m^2

1 Pa = 1 N/m^2

1 atm = 760 मिमी Hg = 1.01325 बार = 1.01325 x $10^5 N/m^2$

3. डिस्चार्ज (Discharge)

डिस्चार्ज हे द्रव प्रवाहाचे प्रति वेळेवर असणारे प्रमाण मोजते. डिस्चार्ज हा प्रवाहाचा व्हॉल्यूमेट्रिक प्रवाह दर आहे. डिस्चार्ज हा सरासरी प्रवाह वेग आणि क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र यांचा गुणाकार आहे. ते m^3/sec मध्ये व्यक्त केले जाते.

$Q = Av$

Q = डिस्चार्ज (m^3/sec)

A= क्रॉस सेक्शनल एरिया (m)

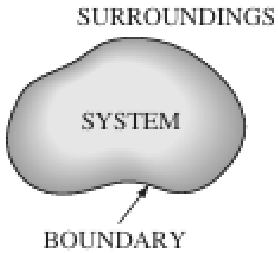
v = सरासरी प्रवाह वेग (m/sec)

1 लिटर = 0.001 m^3

उदाहरणार्थ, 500 लिटरचे क्यूबिक मीटरमध्ये रूपांतरण = 500 x 0.001 = 0.5m^3

1.1 थर्मोडायनामिक प्रणाली (सिस्टिम)

प्रणालीची व्याख्या पदार्थाचे प्रमाण किंवा अभ्यासासाठी निवडलेल्या अवकाशातील प्रदेश म्हणून केली जाते. प्रणालीच्या बाहेरील वस्तुमान किंवा प्रदेशाला परिसर(सराउंडिंग) म्हणतात. वास्तविक किंवा काल्पनिक पृष्ठभाग जो प्रणालीला त्याच्या सभोवतालपासून वेगळे करतो त्याला सीमा(बाउंडरी)म्हणतात. या व्याख्या आकृती 1.1.1 मध्ये स्पष्ट केल्या आहेत. प्रणालीची सीमा निश्चित किंवा हलणारी असू शकते. लक्षात घ्या की सीमा ही प्रणाली आणि परिसर या दोघांद्वारे सामायिक असलेला संपर्क पृष्ठभाग आहे.



सिस्टिम आणि सराउंडिंग

आकृती 1.1.1

उदाहरण: कारमध्ये, इंजिन सिलिंडरच्या आत गॅसोलीन बर्न होते आणि ही थर्मोडायनामिक प्रणाली मानली जाते; रेडिएटर, पिस्टन, एक्झॉस्ट सिस्टम आणि बाहेरील हवा या प्रणालीचे बाहेरील वातावरण तयार करतात. सिलेंडर आणि पिस्टनच्या आतील पृष्ठभागांना सीमा असे मानले जाते.

A. प्रणालीचे प्रकार

1. ओपन सिस्टम्स
2. बंद प्रणाली(क्लोज्ड सिस्टम्स)
3. आयसोल्टेड प्रणाली

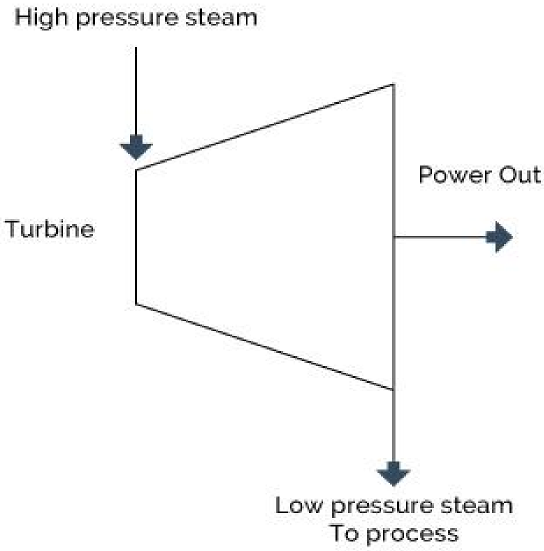
1. **ओपन सिस्टीम**- ओपन सिस्टीम ही अशी थर्मोडायनामिक्स सिस्टीम आहे ज्यामध्ये ऊर्जा आणि पदार्थ या दोन्हीची त्याच्या सभोवतालच्या वातावरणात अदलाबदल होऊ शकते.

   थर्मोडायनामिक्समधील ओपन सिस्टमची उदाहरणे

   i) पाण्याने भरलेला तलाव हे खुल्या प्रणालीचे उदाहरण आहे. पाणी आत जाऊ शकते किंवा बाहेर येऊ शकते.

   ii) ऑटोमोबाईल इंजिन त्याच्या थर्मोडायनामिक चक्रातून(साइकल मधून) जात असते हे थर्मोडायनामिक्समधील खुल्या प्रणालीचे उत्कृष्ट उदाहरण म्हणून ओळखले जाते.

iii) रेफ्रिजरेटर हे थर्मोडायनामिक्समधील खुल्या प्रणालीचे दुसरे उदाहरण आहे. ते आतल्या पदार्था पासून उष्णता घेते (ऊर्जा एक्सचेंज) आणि आत कमी तापमान राखून ती उष्णता खोलीमध्ये बाहेर टाकली जाते (ऊर्जा एक्सचेंज)
iv) कंप्रेसर, स्टीम टर्बाइन किंवा नोजल.



स्टीम टर्बाइन

आकृती 1.1.2

2. बंद प्रणाली(क्लोज्ड सिस्टम्स)-बंद प्रणाली ही एक अशी प्रणाली आहे जी केवळ त्याच्या वातावरणासोबत उर्जेची देवाणघेवाण करू शकते आणि पदार्थ हस्तांतरित करू शकत नाही. बंद थर्मोडायनामिक प्रणालीमध्ये एकूण पदार्थाचे प्रमाण स्थिर असते तर ऊर्जा स्थिर नसते. प्रणालीची सीमा सीलबंद आहे परंतु इन्सुलेटेड नाही. क्लोज्ड सिस्टीम एनर्जी ट्रान्समिशनला परवानगी देत असताना कोणत्याही पदार्थांना येण्यास किंवा बाहेर पडण्यास परवानगी देत नाही.

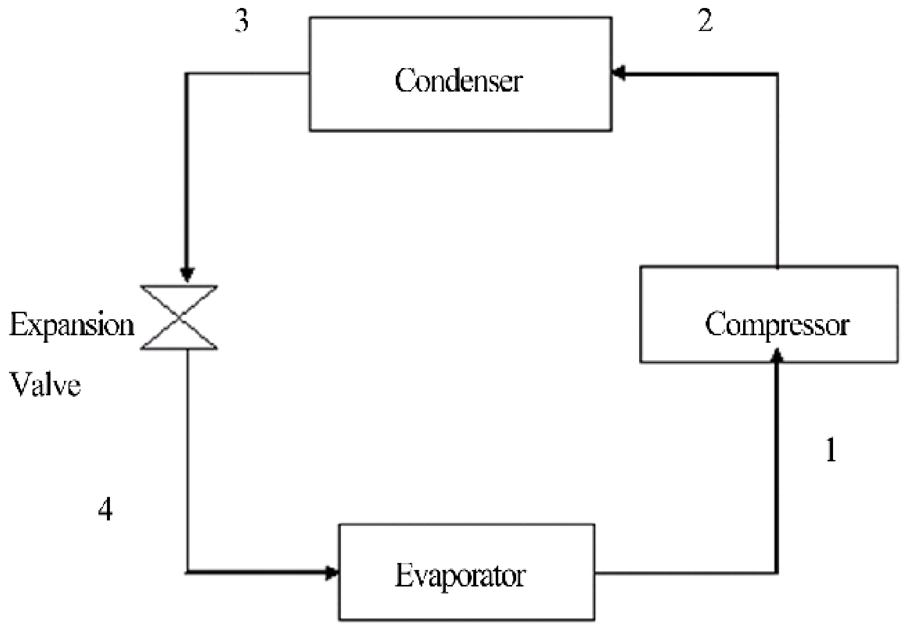
उदाहरणे

i) सिलेंडर, व्हॉल्व्हने बंद ठेवले जातात. सिलिंडर गरम किंवा थंड केले जाऊ शकतात, परंतु ते कधीही वस्तुमान गमावत नाही. त्याच वेळी, जर आपण व्हॉल्व्ह उघडला, तर सिलेंडर ओपन सिस्टमप्रमाणे चालतो.

ii) सीलबंद शीतपेय किंवा पाण्याची बाटली ही बंद प्रणाली आहे. तुम्ही शीतपेयासोबत उष्णतेची देवाणघेवाण करू शकता (उबदार किंवा थंड वातावरणात ठेवून), बाटली ही द्रव आणि सभोवतालच्या वस्तूंमधील पदार्थांची देवाणघेवाण प्रतिबंधित करते.

iii) प्रेशर कुकर ही एक बंद प्रणाली आहे जिथे अन्न शिजवले जाते. कुकरला उष्णता दिली जाते, आणि आतमध्ये दाब वाढतो, ज्यामुळे जलद स्वयंपाक होऊ शकतो. तथापि, ते स्वयंपाक करताना वातावरणाशी वस्तूंची देवाणघेवाण करत नाही.

iv) आकृती 1.1.2 बंद प्रणालीचे उदाहरण म्हणून रेफ्रिजरेशन युनिट दर्शिवते.



बंद प्रणालीचे उदाहरण

आकृती 1.1.3

3. **आयसोल्टेड प्रणाली**- जी प्रणाली आजूबाजूच्या वातावरणाशी पदार्थ किंवा उर्जेची देवाणघेवाण करू शकत नाही तिला आयसोल्टेड प्रणाली म्हणून ओळखले जाते. थर्मोडायनामिक्समधील आयसोल्टेड प्रणालीची उदाहरणे खालीलप्रमाणे -

i) थर्मॉस फ्लास्कमध्ये ठेवलेला गरम चहा हे आयसोल्टेड प्रणालीचे उदाहरण आहे.

ii) विश्व हे सर्वात सामान्य उदाहरण आहे, जिथे ऊर्जा स्थिर राहते.

B. **थर्मोडायनामिक गुणधर्म**- पदार्थाचे कोणतेही वैशिष्ट्य ज्याचे निरीक्षण केले किंवा मोजले जाऊ शकते त्याला पदार्थाचा गुणधर्म म्हणतात. प्रणालीचे मूलभूत गुणधर्म म्हणजे आवाज, दाब, तापमान इ.

थर्मोडायनामिक गुणधर्मांचे दोन प्रकारांमध्ये वर्गीकरण करता येते-

1. इन्टेंसिव्ह (Intensive) गुणधर्म
2. एक्सटेन्सिव्ह (Extensive) गुणधर्म

1. इन्टेंसिव्ह गुणधर्म- कोणत्याही पदार्थाचा इन्टेंसिव्ह गुणधर्म म्हणजे असा भौतिक गुणधर्म ज्यामुळे पदार्थाच्या किंवा प्रणालीच्या वस्तुमानात बदल होत नाही. इन्टेंसिव्ह गुणधर्म हे ओळखण्यायोग्य आहेत आणि पदार्थाचे वर्णन करण्यात मदत करतात. इन्टेंसिव्ह गुणधर्म हे बल्क(bulk) गुणधर्म आहेत, याचा अर्थ ते पदार्थाच्या आकारावर अवलंबून नाहीत.

उदाहरणे- वितळण्याचा बिंदू, उत्कलन बिंदू, चार्ज घनता, रंग, एकाग्रता, ऊर्जा घनता, चुंबकीय परमाबिलिटी(permeability) , विशिष्ट गुरुत्वाकर्षण इ. पदार्थाचे हे गुणधर्म हे पदार्थाच्या आकारमानात बदल करत नाहीत. द्रवाची एकाग्रता त्याच्या प्रमाणापेक्षा स्वतंत्र असते, त्याचप्रमाणे, 500 मिली तेलाची घनता 1 लिटर तेलाच्या घनतेइतकीच असते.

2. एक्सटेन्सिव्ह गुणधर्म- कोणत्याही पदार्थाचा एक्सटेन्सिव्ह गुणधर्म म्हणजे असा भौतिक गुणधर्म ज्यामुळे पदार्थाच्या किंवा प्रणालीच्या वस्तुमानात बदल होतात. हे गुणधर्म प्रणालीच्या आकाराच्या किंवा वस्तुमानाच्या प्रमाणात असतात. एक्सटेन्सिव्ह गुणधर्म ओळखण्यायोग्य नाहीत.

उदाहरणे - वस्तुमान, लांबी, आकारमान, वजन, आकार, अंतर्गत ऊर्जा, इ. गुणधर्म हे पदार्थाच्या प्रमाणात बदलत असतात . उदाहरणार्थ, 500 मिली तेलाचे आकारमान नेहमी 1 लिटर तेलापेक्षा कमी असेल.

तक्ता क्रमांक 1.1.1

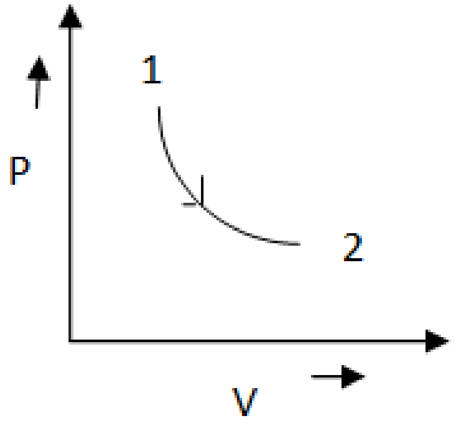
इन्टेंसिव्ह गुणधर्म आणि एक्सटेन्सिव्ह गुणधर्म यांमधील फरक

अनु क्रमांक.	निकष	इन्टेंसिव्ह गुणधर्म	एक्सटेन्सिव्ह गुणधर्म
1	व्याख्या	कोणत्याही पदार्थाचा इन्टेंसिव्ह गुणधर्म म्हणजे असा भौतिक गुणधर्म ज्यामुळे पदार्थाच्या किंवा प्रणालीच्या वस्तुमानात बदल होत नाही.	कोणत्याही पदार्थाचा एक्सटेन्सिव्ह गुणधर्म म्हणजे असा भौतिक गुणधर्म ज्यामुळे पदार्थाच्या किंवा प्रणालीच्या वस्तुमानात बदल होतात.
2	अवलंबित्व	इन्टेंसिव्ह गुणधर्माचे मूल्य हे पदार्थाच्या वस्तुमान किंवा प्रमाणावर अवलंबून नसते	एक्सटेन्सिव्ह गुणधर्माचे मूल्य हे पदार्थाच्या वस्तुमान किंवा प्रमाणावर अवलंबून असते.
3	गणना	इन्टेंसिव्ह गुणधर्माचे मूल्य ठरवता येत नाही.	एक्सटेन्सिव्ह गुणधर्माचे मूल्य निश्चित केले जाऊ शकते.
4	पदार्थाचे गुणधर्म	यामुळे पदार्थाचे अंतर्गत स्वरूप बदलते.	यामुळे पदार्थाचे बाह्य स्वरूप बदलते.
5	ओळख	ओळखण्यायोग्य	ओळखता येत नाही.
6	उदाहरणे	रंग, घनता, गोठणबिंदू , उत्कलन बिंदू, वितळण्याचा बिंदू, विद्राव्यता (solubility) इ.	वस्तुमान, आकारमान, वजन, अंतर्गत ऊर्जा, लांबी, आकार इ.

C. थर्मोडायनामिक प्रक्रिया (Thermodynamic Process)

जेव्हा एखादी प्रणाली तिची स्थिती एका समतोल अवस्थेतून दुसऱ्या स्थितीत बदलते तेव्हा त्यानंतरच्या क्रमिक अवस्थेचा मार्ग ज्यामधून ती प्रणाली गेली आहे त्याला थर्मोडायनामिक प्रक्रिया म्हणतात. या स्थितीबदलांमध्ये तापमान, दाब, आकारमान आणि ऊर्जा यासारख्या प्रणालीच्या गुणधर्मांमधील फरकांचा समावेश होतो.

आकृती 1.1.2 मध्ये प्रक्रिया 1-2 ही थर्मोडायनामिक प्रक्रिया दर्शवते.



थर्मोडायनामिक प्रक्रिया

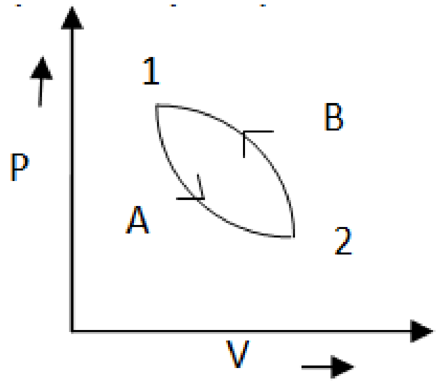
आकृती 1.1.4

थर्मोडायनामिक्स प्रक्रियेच्या प्रकारांमध्ये हे समाविष्ट आहे:

- आयसोबारिक (Isobaric) प्रक्रिया ज्यामध्ये दाब (P) स्थिर ठेवला जातो (P = C).
- आयसोकोरिक(Isochoric) प्रक्रिया ज्यामध्ये आकारमान (V) स्थिर ठेवला जातो (V = C).
- आयसोथर्मल(Isothermal) प्रक्रिया ज्यामध्ये तापमान(T) स्थिर ठेवले जाते (T = C).
- ॲडियाबॅटिक(Adiabatic)प्रक्रिया ज्यामध्ये उष्णता हस्तांतरण शून्य असते(Q = C).

D. थर्मोडायनामिक चक्र (Thermodynamic **Cycle**)

जेव्हा एखादी प्रक्रिया एखाद्या प्रणालीवर अशा प्रकारे केली जाते की अंतिम स्थिती प्रारंभिक स्थितीशी एकसारखी असते, तेव्हा ती थर्मोडायनामिक चक्र किंवा चक्रीय प्रक्रिया म्हणून ओळखली जाते. आकृती 1.1.5 मध्ये 1-A-2 आणि 2-1 ही प्रक्रिया आहेत तर 1-A-2-B-1 ही चक्र किंवा चक्रीय प्रक्रिया आहे.



थर्मोडायनामिक चक्र

आकृती 1.1.5

थर्मोडायनामिक चक्र हे एक बंद चक्र आहे ज्यामध्ये तापमान, दाब आणि आकारमान यांमुळे अनेक बदल होतात, परंतु ज्याचा शेवट आणि प्रारंभिक अवस्था समान असतात. थर्मोडायनामिक साइकल्सचे प्रकार- कारनॉट साइकल (Carnot Cycle), रँकाइन साइकल (Rankine Cycle), ऑटो साइकल (Otto Cycle), डिझेल साइकल (Diesel Cycle), ब्रेटन साइकल (Brayton Cycle).

E. उष्णता (Heat)

पदार्थाच्या उददेश नसताना घडलेल्या गतीने, म्हणजेच रेणूंच्या स्पंदनात्मक(vibratory) आणि रोटरी(Rotary) हालचालींद्वारे तयार होणारी गतिज ऊर्जा म्हणून उष्णता परिभाषित केली जाते . उष्णता जास्त तापमानापासुन कमी तापमानाकडे वाहत असते, ज्यामुळे ती विविध यांत्रिक आणि रासायनिक प्रक्रियांमध्ये उपयुक्त ठरते. उष्णता ही "Q" द्वारे दर्शविली जाते आणि ज्युल(J) किंवा किलो-ज्युल (kJ) मध्ये व्यक्त केली जाते. उष्णता प्रवाहाचे प्रमाण प्रामुख्याने तीन घटकांद्वारे निर्धारित केले जाते:

1. पदार्थाचे वस्तुमान (m)
2. दोन वस्तूंमधील तापमानातील फरक (dT)
3. पदार्थाचे स्वरूप

याच्या आधारे, आपण असा निष्कर्ष काढू शकतो की $Q \propto mdT$ किंवा $Q = cmd T$

येथे, m आहे वस्तुमान (kg)

c ही विशिष्ट उष्णता क्षमता (kJ/kg°K)

dT हा तापमान बदल आहे(°K)

जेव्हा आपण उबदार खोलीत थंड पाण्याची बाटली ठेवतो तेव्हा ते उष्णता हस्तांतरणाचे उदाहरण आहे. उबदार खोली आणि थंड पाण्याची बाटली या दोन्हीं मधील तापमान समान तापमानापर्यंत पोहोचेपर्यंत खोलीतील उष्णता पाण्यात हस्तांतरित होईल.

F. कार्य (Work)

एखाद्या वस्तूवर बल लावून त्या वस्तूचे बलाच्या दिशेने केलेले विस्थापन या क्रियेला कार्य असे म्हणतात. केलेल्या कार्यचे एकक म्हणजे न्यूटन-मीटर (N-m) याला ज्युल (J) असेही म्हणतात. प्रणाली आणि सभोवतालच्या दरम्यान एकूण ऊर्जा देवाणघेवाण म्हणजे झालेले कार्य मानले जाते. झालेल्या कार्यचे प्रमाण विविध घटक जसे की दाब, आकारमान, तापमान इ. यांमुळे प्रभावित होते. कार्य प्रणालीवर आणि प्रणालीद्वारे केले जाऊ शकते, मार्ग आणि प्रणालीची प्रारंभिक आणि अंतिम स्थिती यांवरती झालेले कार्य अवलंबून असते. प्रणालीवर केलेले काम नकारात्मक आहे, तर प्रणालीद्वारे केलेले काम सकारात्मक आहे.

$W = F \times d$

येथे, F = बल न्यूटनमध्ये

d = बलाच्या दिशेने झालेले विस्थापन मीटर मध्ये

H. फ्लो वर्क (फ्लो एनर्जी)

कंट्रोल व्हॉल्यूममध्ये त्यांच्या सीमा ओलांडून वस्तुमानाचा प्रवाह समाविष्ट असतो आणि कंट्रोल व्हॉल्यूममध्ये वस्तुमान आत किंवा बाहेर ढकलण्यासाठी काही कार्य आवश्यक असते. हे कार्य प्रवाह कार्य म्हणून ओळखले जाते. ते kJ मध्ये व्यक्त केले जाते.

फ्लो वर्क(W_{flow}) = $P \times A \times L$

$= P \times V$

येथे , P= द्रव दाब (N/m^2)

V= आकारमान (m^3)

A= क्रॉस सेक्शनल एरिया(m^2)

L = अंतर(मी)

तक्ता क्रमांक 1.1.2

उष्णता आणि कार्य यांमधील फरक

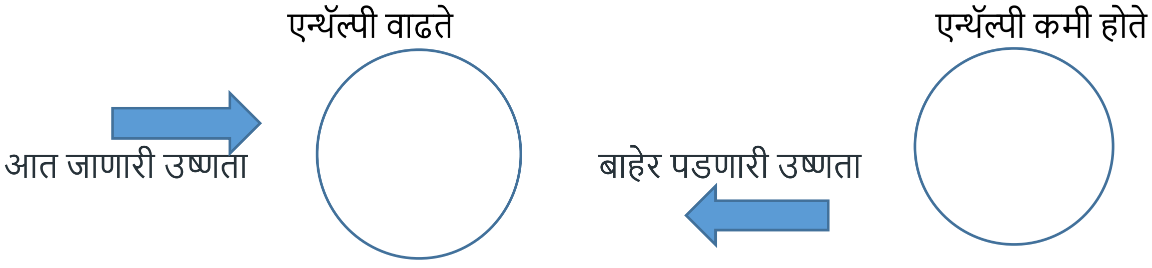
अनु क्रमांक.	निकष	उष्णता	कार्य
1	व्याख्या	उष्णता म्हणजे तापमानातील फरकामुळे दोन प्रणालींमधील ऊर्जेचे हस्तांतरण.	कार्य म्हणजे शक्तीच्या क्रियेद्वारे ऊर्जा हस्तांतरण.
2	ऊर्जेचे स्वरूप	उष्णता हा अणू आणि रेणूंच्या गतीशी संबंधित ऊर्जेचा एक प्रकार आहे.	कार्य हे देखील उर्जेचे एक रूप आहे, परंतु त्यात यांत्रिक हालचालींचा समावेश आहे.
3	दिशा	उष्णता नेहमी गरम वस्तूकडून थंड वस्तूकडे वाहते.	प्रणालीवर केलेले काम नकारात्मक आहे, तर प्रणालीद्वारे केलेले काम सकारात्मक आहे.
4	कारण	उष्णता ही दोन प्रणालींमधील तापमान फरकामुळे निर्माण होते.	कार्य हे वस्तूवर बल लावून निर्माण होते.
5	हस्तांतरण माध्यम	उष्णता एका कोणत्याही माध्यमाद्वारे (घन, द्रव, वायू किंवा रेडिएशन) हस्तांतरित केली जाते.	कार्य यांत्रिक माध्यमांद्वारे हस्तांतरित केले जाते (वस्तू हलविण्यासाठी बल लागू केले जाते).
6	प्रणालीवर प्रभाव	उष्णता हस्तांतरण प्रणालीची अंतर्गत ऊर्जा वाढवते किंवा कमी करते.	झालेल्या कार्यामुळे प्रणालीची गती, स्थिती किंवा बाह्यस्वरुप बदलू शकते.
7	उदाहरणे	उदाहरणांमध्ये स्टोव्हमधून भांड्यात उष्णता हस्तांतरण किंवा सूर्य पृथ्वीला तापवतो.	उदाहरणांमध्ये वजन उचलणे, कार ढकलणे किंवा गॅस दाबणे यांचा समावेश होतो.

I. एन्थॅल्पी

एन्थॅल्पी हा थर्मोडायनामिक्समधील मध्यवर्ती घटक आहे. ही प्रणालीची उष्णता सामग्री आहे. हे प्रणालीची अंतर्गत ऊर्जा आणि प्रणालीचा दाब आणि आकारमान यांचा गुणाकार या दोघांमधील बेरीज म्हणून देखील परिभाषित केले जाऊ शकते. उष्णता ही प्रणालीमध्ये प्रवेश करू शकते किंवा बाहेर पडू शकते. एन्थॅल्पी सामान्यतः "h" चिन्हाद्वारे दर्शविली जाते आणि त्याचे एकक kJ/kg आहे.

उदाहरणार्थ, एक ग्लास गरम पाणी स्वतःच थंड होते, परंतु एक ग्लास थंड पाणी स्वतःच गरम होत नाही. तुम्हाला ते गरम करावे लागेल.

कच्च्या तांदळापेक्षा शिजवलेल्या तांदळात जास्त एन्थॅल्पी असते, कारण कच्चा तांदूळ + पाणी + उष्णता → शिजवलेला भात



एन्थॅल्पीचा उष्णता ऊर्जेशी संबंध
आकृती 1.1.6

जर आपण एन्थॅल्पी h आणि अंतर्गत उर्जा, दाब आणि आकारमान अनुक्रमे u, P आणि V सह दर्शवितो, तर त्यांच्यातील संबंध गणितीयदृष्ट्या असे लिहिता येईल:

$$h = u + PV$$

J. एन्ट्रॉपी

हा प्रणालीचा थर्मोडायनामिक गुणधर्म आहे जो उष्णता दिली कि वाढतो आणि उष्णता काढून घेतली कि कमी होतो. प्रणालीची एन्ट्रॉपी ही प्रणालीमधील विस्कळीतपणा किंवा अनिश्चिततेची पायरी दर्शवते. एन्ट्रॉपी सामान्यतः "S" चिन्हाने दर्शविली जाते. त्याचे एकक kJ/K आहे.

$$dS = dQ/T$$

येथे, dQ= उष्णता शोषली जाते किंवा उष्णता बाहेर टाकली जाते,
T = परिपूर्ण तापमान,
dS = एन्ट्रॉपीमध्ये बदल

आपले विश्व हे नेहमी एन्ट्रॉपी वाढवणाऱ्या प्रक्रियेला अनुकूल असते . उदाहरणार्थ, बर्फ वितळणे ही एक नैसर्गिक घटना आहे आणि ती स्वतःच घडते कारण यामुळे बर्फाच्या एन्ट्रॉपीमध्ये वाढ होते कारण रेणू अधिक विस्कळीत होतात.

1.2 थर्मोडायनामिक्सचे नियम (Laws of Thermodynamics)

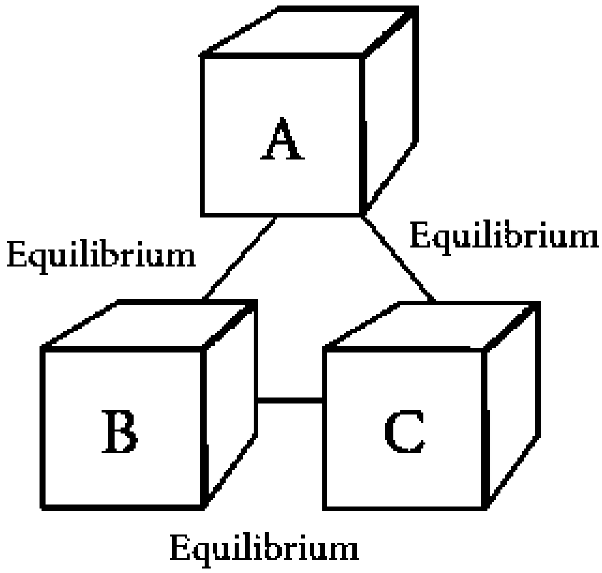
A. थर्मोडायनामिक्सचा झिरोथ नियम (Zeroth Law of Thermodynamics)

थर्मोडायनामिक्सचा झिरोथ नियम असे सांगतो की जेव्हा दोन वस्तू तिसऱ्या वस्तूसोबत थर्मल समतोल स्थितीत असतात तेव्हा दोन्ही वस्तू एकमेकांशी थर्मल समतोल मध्ये असतात.

हा नियम प्रणालींमधील थर्मल समतोल आणि उर्जेच्या देवाणघेवाणीची कमतरता यांचे वर्णन करतो . दोन प्रणालींमधील थर्मल समतोल हा कधीकधी दोन वस्तू मधील तापमानाची समानता दर्शवतो असे संबोधले जाऊ शकते, थर्मोडायनामिक्सचा झिरोथ नियम सांगतो की जर प्रणाली थर्मल समतोलमध्ये असतील तर उष्णता प्रवाह होणार नाही.

थर्मोडायनामिक्सच्या झिरोथ नियमाचे आणखी एक उदाहरण असे कि जेव्हा तुमच्याकडे दोन ग्लास पाणी असते आणि एक ग्लास गरम पाण्याने भरला जाईल, तर दुसरा थंड पाण्याने भरला जाईल. जर आपण त्यांना काही तासांसाठी टेबलवर ठेवले तर ते खोलीच्या तापमानासोबत थर्मल समतोल साधतील.

उदा. अज्ञात थर्मल स्तरावरील शरीराच्या तापमानाची तुलना ज्ञात थर्मल स्तरावरील शरीराच्या तापमानाशी करण्यासाठी थर्मामीटरचा वापर केला जातो.
A, B आणि C या तीन वस्तूंचा विचार केल्यास थर्मोडायनामिक्सचा झिरोथ नियम असे सांगतो की:
जर A हा B बरोबर थर्मल समतोल असेल आणि A जर C बरोबर थर्मल समतोल असेल तर B चा C बरोबर थर्मल समतोल असेल.



थर्मोडायनामिक्सचा झिरोथ नियम

आकृती 1.2.1

B. थर्मोडायनामिक्सचा पहिला नियम (ऊर्जेचे संवर्धन)

थर्मोडायनामिक्सचा पहिला नियम, ज्याला ऊर्जेच्या संवर्धनाचा कायदा म्हणूनही ओळखले जाते, असे नमूद केले आहे की "ऊर्जा तयार केली जाऊ शकत नाही किंवा नष्ट केली जाऊ शकत नाही, परंतु ती एका स्वरूपातून दुसऱ्या स्वरूपात हस्तांतरित केली जाऊ शकते". थर्मोडायनामिक्सच्या पहिल्या नियमाचे हे असे विधान आहे की उर्जेचे हस्तांतरण प्रणाली आणि सभोवतालच्या वातावरणामध्ये उष्णतेच्या हस्तांतरणाद्वारे (Q) किंवा यांत्रिक कार्याच्या कामगिरीद्वारे (w) केले जाऊ शकते. थर्मोडायनामिक्सचा पहिला हा गणितीयदृष्ट्या असा लिहिता येईल :

$dQ = du + dW$

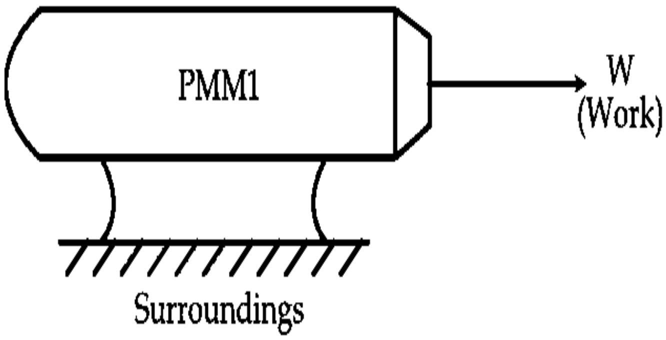
जेथे, du हा प्रणालीच्या अंतर्गत ऊर्जेतील बदल आहे
dW हे प्रणालीद्वारे केलेले कार्य आहे आणि
dQ ही प्रणालीला पुरवलेली उष्णता आहे.

थर्मोडायनामिक्सच्या पहिल्या नियमाच्या मर्यादा

1. हा नियम उष्णता आणि कार्याच्या प्रवाहाची दिशा दर्शवत नाही.
2. कोणत्याही परिस्थितीत ज्या अंतर्गत ऊर्जेचे हस्तांतरण होऊ शकत नाही .
3. जरी यांत्रिक कार्य पूर्णपणे उष्णता उर्जेमध्ये रूपांतरित केले जाऊ शकते, परंतु उष्णता उर्जेचा फक्त एक भाग यांत्रिक कार्यात रूपांतरित केला जाऊ शकतो.

पर्पेच्युअल मोशन मशीन I (PMM-I)

थर्मोडायनामिक्सच्या पहिल्या नियमाचे उल्लंघन करणारे यंत्र PMM I म्हणून ओळखले जाते. इतर स्त्रोतांकडून समतुल्य ऊर्जा न वापरता कार्य ऊर्जा निर्माण करणारे यंत्र म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते. अशी मशीन मिळणे अशक्य आहे.



पर्पेच्युअल मोशन मशीन I
आकृती 1.2.2

ऊर्जा रिझव्र्हॉयर (Energy Reservoir)

थर्मल एनर्जी रिझव्र्हॉयरची व्याख्या अमर्याद उष्णतेचे मोठे भांडार अशी केली जाते थर्मल एनर्जी रिझव्र्हॉयर स्वतःच्या तापमानाला प्रभावित न करता अमर्याद प्रमाणात उष्णता शोषून घेण्यास किंवा बाहेर टाकण्यास सक्षम असते.

i) उष्णता स्त्रोत : उष्णता स्त्रोत ही एक प्रणाली किंवा वस्तू आहे जी त्याच्या सभोवतालच्या वातावरणास उष्णता पुरवते. उष्णता स्त्रोतांचे तापमान त्यांच्या सभोवतालच्या वातावरणापेक्षा जास्त असते आणि ते वहन, संवहन किंवा रेडिएशन यांसारख्या यंत्रणेद्वारे इतर यंत्रणा किंवा वस्तूंमध्ये थर्मल ऊर्जा हस्तांतरित करतात. उदाहरणार्थ, स्टोव्ह बर्नर, सूर्य किंवा भट्टी उष्णता स्त्रोत हे म्हणून कार्य करू शकतात.

ii) हीट सिंक : उष्मा सिंक, एक प्रणाली किंवा वस्तू आहे जी त्याच्या सभोवतालची उष्णता शोषून घेते किंवा विसर्जित करते. हीट सिंकचे तापमान त्यांच्या सभोवतालच्या वातावरणापेक्षा कमी असते आणि ते तापमान कमी राखण्यासाठी किंवा करण्यासाठी इतर यंत्रणा किंवा वस्तूंपासून उष्णता दूर फेकण्यासाठी वापरले जाते. उष्णतेचे सिंक सामान्यतः इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे, इंजिन आणि शीतकरण प्रणालींमध्ये अतिउष्णता टाळण्यासाठी वापरले जातात.

C. थर्मोडायनामिक्सचा दुसरा नियम

थर्मोडायनामिक्सचा दुसरा नियम असे सांगतो की उष्णता ऊर्जा कमी तापमानाच्या वस्तूमधून उच्च तापमानाच्या वस्तूकडे स्थानांतरित होऊ शकत नाही. थर्मोडायनामिक्सच्या दुसऱ्या नियमावर दोन विधाने आहेत आणि ती अशी

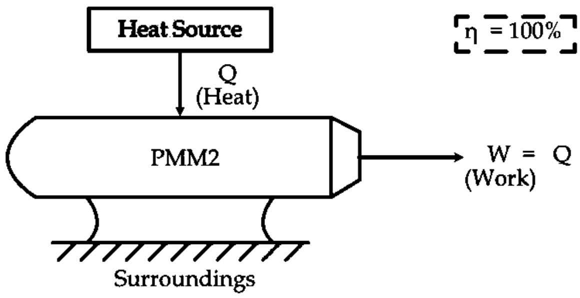
1. केल्विन-प्लँक विधान(Kelvin-Plank Statement) 2. क्लॉशियस विधान(Clausius Statement)

1. केल्विन-प्लँक स्टेटमेंट- चक्रीय प्रक्रियेवर काम करणारे इंजिन तयार करणे अशक्य आहे, ज्याचा एकमेव उद्देश एकाच थर्मल जलाशयातील उष्णता उर्जेचे कार्याच्या समतुल्य प्रमाणात रूपांतर करणे हा आहे. कोणतेही इंजिन उष्णतेचा अपव्यय न करता सर्व उष्णतेचे कार्यामध्ये रूपांतर करू शकत नाही. हे सूचित करते की सतत कार्य मिळविण्यासाठी सिंक आवश्यक आहे. उदाहरण उष्णता इंजिन.

दुस-या शब्दात सांगायचे तर, चक्रीय प्रक्रियेवर काम करणारे कोणतेही वास्तविक उष्णता इंजिन, त्यास पुरवलेल्या संपूर्ण उष्णतेचे यांत्रिक कार्यात रूपांतर करू शकत नाही. याचा अर्थ पुरवठा केलेल्या उष्णतेपासून यांत्रिक कार्य तयार करण्याच्या प्रक्रियेत ऊर्जेचा ऱ्हास होतो.

पर्पेच्युअल मोशन मशीन II (PMM-II)

दुसऱ्या कायद्याचे उल्लंघन करणारे उष्मा इंजिन दुसऱ्या प्रकारचे पर्पेच्युअल मोशन मशीन म्हणून ओळखले जाते. हे संपूर्ण उष्णता उर्जेचे यांत्रिक कार्यात रूपांतर करते. हे 100% कार्यक्षम मशीन आहे जे प्रत्यक्ष व्यवहारात अशक्य आहे.



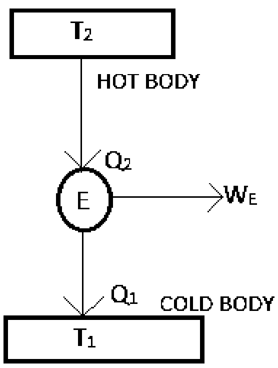
पर्पेच्युअल मोशन मशीन II

आकृती 1.2.3

2. **क्लॉसियस विधान**- बाह्य एजन्सीच्या मदतीशिवाय कमी तापमानाच्या वस्तूमधून उष्णता उच्च तापमान असलेल्या वस्तूमध्ये हस्तांतरित करणे, हे चक्रीय प्रक्रियेत काम करणाऱ्या यंत्रासाठी अशक्य आहे. दुसऱ्या शब्दांत, बाह्य एजन्सीच्या मदतीशिवाय थंड वस्तू मधून गरम वस्तूमध्ये उष्णता प्रसारित करू शकणारे तंत्रज्ञान तयार करणे अशक्य आहे. दुसऱ्या शब्दांत, कंप्रेसरला बाह्य स्त्रोताद्वारे ऊर्जा दिल्याशिवाय रेफ्रिजरेटरचे कार्य होणार नाही. उदाहरण, हीट पंप, रेफ्रिजरेटर

D. उष्णता(Heat) इंजिनची संकल्पना

हे एक असे उपकरण आहे जे चक्रात चालवले जाते ते उच्च तापमानाच्या वस्तूमधून ऊर्जा प्राप्त करते, त्याचा काही भाग कार्यात रूपांतरित करते आणि कमी तापमानाच्या वस्तूकडे पाठवली जाते. उष्णता इंजिनचे प्राथमिक उद्दिष्ट म्हणजे ऊर्जेचे कार्यात रूपांतर करणे. उदा. थर्मल पॉवर प्लांट. जर Q_2 ही इंजिनला पुरवलेली उष्णता आहे आणि Q_1 ही उष्णता इंजिनमधून बाहेर फेकली गेलेली उष्णता आहे, तर इंजिनद्वारे केलेले कार्य $W_E = Q_2 - Q_1$ द्वारे दिले जाते. उष्णता इंजिनची कार्यक्षमता(η_E): उष्णता इंजिनची कार्यक्षमता ही इंजिनद्वारे केलेले कार्य आणि उष्णता म्हणून शोषलेली ऊर्जा यांचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.



उष्णता इंजिन

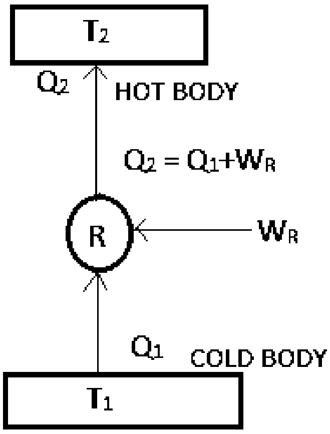
आकृती 1.2.4

$$\eta_E = \frac{Output}{Input} = \frac{W_E}{Q1} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

E. रेफ्रिजरेटरची संकल्पना

रेफ्रिजरेटर हे चक्रीय पद्धतीने चालवले जाणारे उपकरण आहे जे कमी तापमानाच्या वस्तुमधील उष्णता ऊर्जा म्हणून शोषून घेते आणि उच्च तापमानाच्या वस्तूकडे उष्णता ऊर्जा म्हणून पाठवली जाते तेव्हा कार्य होते. वस्तूचे तापमान कमी राखणे हे या उपकरणाचे प्राथमिक उद्दिष्ट आहे.

रेफ्रिजरेटरची कार्यक्षमता कोइफिसिएंट ऑफ परफॉर्मन्स(coefficient of performance) च्या रूपात मोजतात. कोइफिसिएंट ऑफ परफॉर्मन्सची व्याख्या अशी आहे इच्छित परिणाम(desired effect) मिळण्यासाठी आवश्यक असलेले कार्य यांचे गुणोत्तर अशी केली जाते.



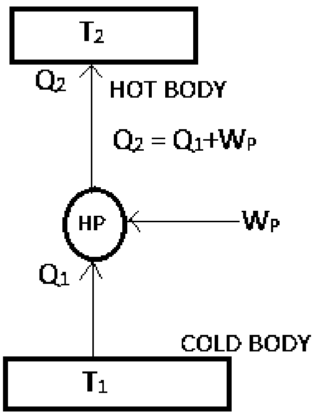
रेफ्रिजरेटर

आकृती 1.2.5

$$COP_R = \frac{Desired\ Effect}{Work\ Required} = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

F. उष्णता पंपाची संकल्पना

उष्णता पंप हे चक्रीय पद्धतीने चालवले जाणारे उपकरण आहे जे कमी तापमानाच्या वस्तूतून उष्णता ऊर्जा शोषून घेते आणि उच्च तापमानाच्या वस्तूकडे ऊर्जा म्हणून उष्णता दिली जाते. उष्मा पंपाचे मुख्य उद्दिष्ट उच्च तापमानाच्या जलाशयात उष्णता म्हणून ऊर्जा देणे.



उष्णता पंप

आकृती 1.2.6

$$COP_H = \frac{Desired\ Effect}{Work\ Required} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

$$= \frac{T_2 - T_1 + T_1}{T_2 - T_1} \text{ (adding and subtracting } T_1\text{)}$$

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

$$= 1 + COP_R$$

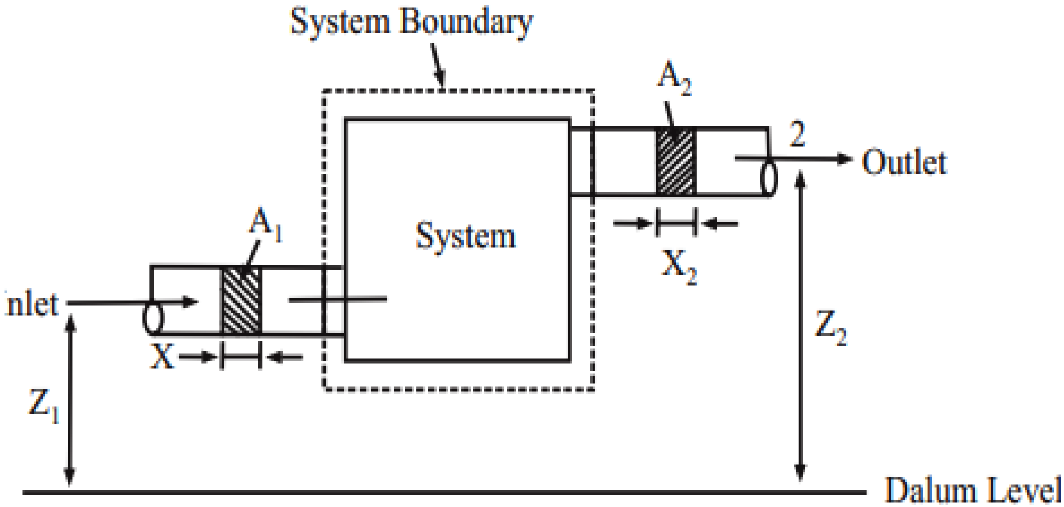
उष्णता पंपाचा COP हे रेफ्रिजरेटरच्या COP पेक्षा जास्त आहे.

तसेच, रेफ्रिजरेटर थंड वस्तूचे तापमान आणि वातावरणीय तापमान (गरम वस्तू) दरम्यान कार्य करते तर उष्णता पंप गरम वस्तूचे तापमान आणि वातावरणीय तापमान (थंड वस्तू) दरम्यान कार्य करते.

1.3 थर्मोडायनामिक्सच्या नियमांचा वापर

A. स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरण (Steady flow energy equation)

यंत्र किंवा उपकरणाच्या एखादया भागातून द्रव वाहण्याचा दर स्थिर असतो. या प्रकारच्या प्रवाहाला स्थिर प्रवाह म्हणतात. द्रव स्थिर स्थितीत प्रवाहित होण्यासाठी, प्रणालीमधील कोणत्याही स्थानावरील वेग, दाब आणि तापमान यांसारखे द्रवाचे गुणधर्म कालांतराने स्थिर असले पाहिजेत. पंप, पाईप्स, नोझल, डिफ्यूझर आणि इतर तत्सम उपकरणे स्थिर-प्रवाह उपकरणांची उदाहरणे आहेत.



स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरण

आकृती 1.2.7

Let; A_1, A_2 = Cross sectional Area at inlet and outlet

ρ_1, ρ_2 = Density of fluid at inlet and outlet

m_1, m_2 = Mass flow rate at inlet and outlet

u_1, u_2 = I.E. of fluid at inlet and outlet

v_1, v_2 = velocity of fluid at enter and exit respectively,

P_1, P_2 = Pressure of mass at inlet and outlet

V_1, V_2 = Velocity of fluid at inlet and outlet

Z_1, Z_2 = Height at which the mass enter and leave

Q = Heat transfer rate

W = Work transfer rate

खुली प्रणाली (open system)अशी आहे ज्यामध्ये वस्तुमान आणि ऊर्जा दोन्ही सीमा ओलांडू शकतात.

ऊर्जेचे प्रकार

ऊर्जेची व्याख्या पदार्थाची कार्य करण्याची क्षमता म्हणून केली जाते. म्हणून वर्गीकृत आहे

a. **स्थितीज ऊर्जा** (Potential Energy)

ही एखाद्या प्रणालीच्या उंचीमुळे असलेली ऊर्जा आहे.

P.E= m x g x z

येथे, m= प्रणालीचे वस्तुमान (Kg)

g= गुरुत्व (m/s^2)

z= डेटामची उंची m मध्ये

b. **गतिज ऊर्जा** (Kinetic Energy)

ती त्याच्या गतीच्या गुणवत्तेद्वारे प्रणालीकडे असलेली ऊर्जा म्हणून परिभाषित केली जाते.

K.E= $\frac{mv^2}{2}$

येथे, v = वेग m/s मध्ये

c. **अंतर्गत ऊर्जा** (Internal Energy)

सुपरिभाषित (well -defined) सीमा असलेली वस्तू म्हणजे गतीज ऊर्जा-रेणूंच्या गतीमुळे आणि स्थितिज ऊर्जा-रेणूंमधील अणूंच्या कंपन गती आणि विद्युत ऊर्जा. अंतर्गत ऊर्जा u या चिन्हाने दर्शविली जाते आणि मापनाचे एकक ज्यूल (J) आहे.

खुल्या प्रणालीमध्ये ऊर्जेची विस्तृत अदलाबदल होऊ शकते. स्वयंचलित इंजिन मध्ये पहिला स्टेट पॉइंट इनलेट मॅनिफोल्ड आणि दुसरा पॉइंट म्हणून एक्झॉस्ट पाईप आहे. इंधनातील रासायनिक ऊर्जेची देवाणघेवाण, हलत्या कणांची गतीज ऊर्जा, वायूची अंतर्गत ऊर्जा आणि उष्णता हस्तांतरण करणे आणि शाफ्टचे कार्य हे सर्व प्रणालीमध्ये घडते . आकृती 1.2.5 वरून हे स्पष्ट आहे की जर प्रणालीच्या सीमा ओलांडून वस्तुमान किंवा उर्जेच्या प्रवाहात फरक नसेल तर तो स्थिर प्रवाह असा प्रचलित होईल. परिणामी, प्रणालीमध्ये प्रवेश करणारे वस्तुमान हे बाहेर पडणाऱ्या वस्तुमान इतक असत, तसेच प्रणालीमध्ये प्रवेश करणारी ऊर्जा ही बाहेर पडणाऱ्या ऊर्जेइतकी असते.

प्रवेश करणारी एकूण ऊर्जा= $P.E_1 + K.E_1 + F.E_1 + U_1 + Q$

$$= gz_1 + \frac{{v_1}^2}{2} + P_1V_1 + U_1 + Q$$

बाहेर पडणारी एकूण ऊर्जा= $P.E_2 + K.E_2 + F.E_2 + U_2 + W$

$$= gz_2 + \frac{{v_2}^2}{2} + P_2V_2 + U_2 + W$$

थर्मोडायनामिक्सच्या पहिल्या नियमानुसार

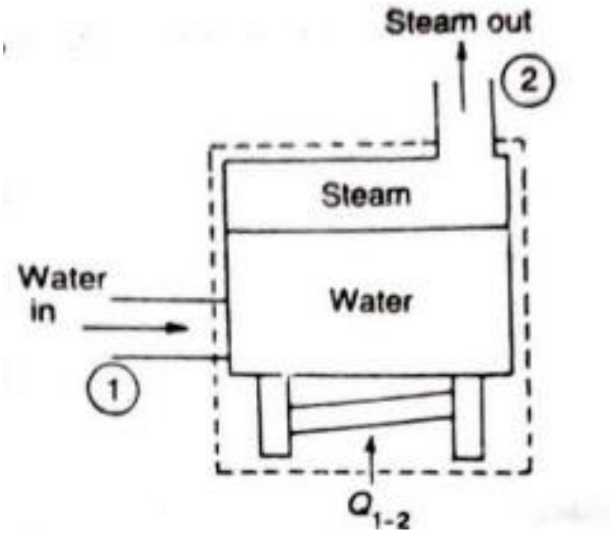
प्रवेश करणारी एकूण ऊर्जा = बाहेर पडणारी एकूण ऊर्जा

$$gz_1 + \frac{{v_1}^2}{2} + P_1V_1 + U_1 + Q = gz_2 + \frac{{v_2}^2}{2} + P_2V_2 + U_2 + W \qquad [h= PV + U]$$

$$gz_1 + \frac{{v_1}^2}{2} + h_1 + Q = gz_2 + \frac{{v_2}^2}{2} + h_2 + W$$

वरील समीकरण स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरण [स्टेडी फ्लो एनर्जी इक्वेशन (SFEE)] आहे.

B. बॉयलरला SFEE चा नियम



बॉयलर

आकृती 1.2.7

बॉयलर हे असे उपकरण आहे जे पाण्याला उष्णता पुरवते आणि उच्च दाबाची वाफ निर्माण करण्यासाठी वापरले जाते. या प्रणालीमध्ये, उष्णता ऊर्जा वाफेमध्ये साठवली जाते.

i) KE आणि PE मध्ये कोणताही बदल नाही.

ii) कोणतेही कार्य केले नाही.

स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरणात वरील अट लागू करा,

$$gz_1 + \frac{v_1^2}{2} + h_1 + Q = gz_2 + \frac{v_2^2}{2} + h_2 + W$$

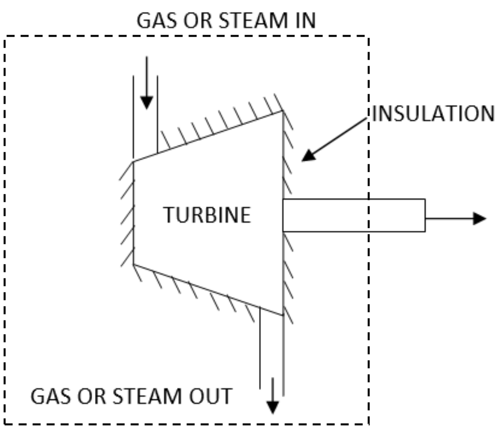
अशा प्रकारे, बॉयलरसाठी स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरण असे लिहिले आहे,

$$h_1 + Q = h_2$$

$$Q = h_2 - h_1$$

वरील समीकरण दर्शविते की, बॉयलरला पुरविलेल्या उष्णतेमुळे प्रणालीची एन्थाल्पी वाढते.

D. टर्बाइनला SFEE चा नियम



टर्बाइन

Figure 1.2.8

टर्बाइन हे असे उपकरण आहे जे स्थितिज उर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करते. टर्बाइन उष्णतारोधक आवरण आहे त्यामुळे उष्णता हस्तांतरण होत नाही.

i) उष्णता हस्तांतरण नाही

ii) KE आणि PE मध्ये कोणताही बदल नाही

स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरणात वरील अट लागू करा,

$$gz_1 + \frac{v_1^2}{2} + h_1 + Q = gz_2 + \frac{v_2^2}{2} + h_2 + W$$

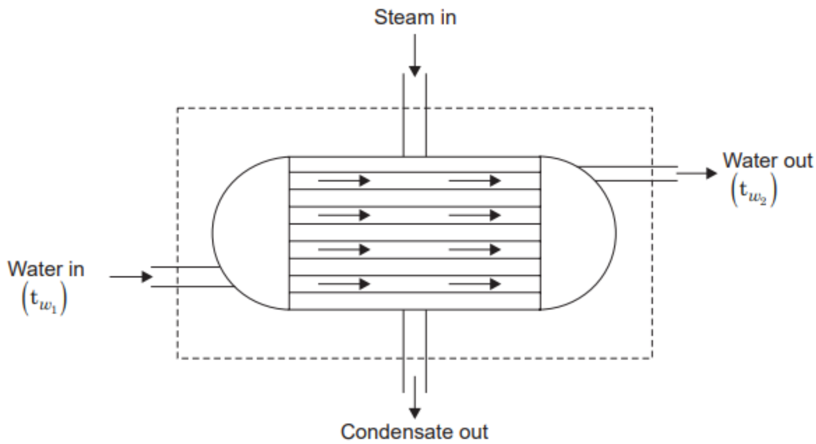
अशा प्रकारे, टर्बाइनसाठी स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरण असे लिहिले आहे,

$$h_1 = h_2 + W$$

$$W = h_1 - h_2$$

वरील समीकरण हे दर्शविते की कार्यरत द्रवपदार्थाच्या एन्थॅल्पीमध्ये घट झाल्यामुळे प्रणालीवर कार्य केले जाते.

E. कंडेन्सरला SFEE चा नियम



कंडेन्सर

Figure 1.2.9

कंडेन्सर हे एक साधन आहे जे स्टीम पॉवर प्लांटमध्ये वाफेचे घनीकरण करण्यासाठी पाणी शीतलक माध्यम म्हणून वापरले जाते तर रेफ्रिजरेशन सिस्टममध्ये वाष्प घनतेसाठी हवा शीतलक माध्यम म्हणून वापरली जाते.

i) KE आणि PE मध्ये कोणताही बदल नाही.

ii) कोणतेही कार्य केले नाही.

स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरणात वरील अट लागू करा,

$$gz_1 + \frac{v_1^2}{2} + h_1 + Q = gz_2 + \frac{v_2^2}{2} + h_2 + W$$

अशा प्रकारे, कंडेन्सरसाठी स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरण असे लिहिले आहे,

$h_1 - Q = h_2$

(Q सोबत नकारात्मक चिन्ह (-) घेतले जाते कारण कंडेन्सरमधून जाणाऱ्या वाफेने उष्णता शोषली आहे.)

$$Q = h_1 - h_2$$

Exercise:

TLO 1.1 Explain the various thermodynamic systems & its properties with suitable example.

1. State the different types of thermodynamic system with suitable examples. (R)
2. State extensive property and intensive property with two examples of each. (R)
3. Differentiate between heat and work on following basis:-

i) Form of Energy
ii) Direction
iii)Cause
iv) Effect on System . (U/A)

4. Explain the following terms as related to thermodynamics: System, Property, Process and Cycle. (U)
5. Define terms i) Enthalpy ii) Entropy and state its unit. (R)

TLO 1.2 Interpret various laws of thermodynamics.

1. Explain Zeroth law of thermodynamics. Give one example. (U)
2. State First law of Thermodynamics. (R)
3. State clausius statement of second law of thermodynamics. (R)
4. State Kelvin-Plank statement of second law of thermodynamics. (R)

TLO 1.3: Maintain various thermodynamic devices by using laws of thermodynamics.

1. Write the steady flow energy equation with meaning of terms involved. (R)
2. Apply steady state equation to Steam Turbine and Steam Boiler. (A)
3. Apply steady state equation to condenser. (A)

Unit 2 Ideal Gases and Steam Fundamentals

आयडियल गॅसेस आणि स्टीमची मूलभूत तत्वे

विषय निष्पत्ती - स्टीम टेबल वापरून स्टीमचे विविध गुणधर्म निश्चित करा (Determine various properties of steam using steam table)

घटक निष्पत्ती-

TLO 2.1 आयडियल वायू प्रक्रियांचे **P-V** आणि **T-S** आकृतीवर स्पष्टीकरण द्या. (Illustrate Ideal gas processes on P-V & T-S diagram.)

TLO 2.2 आयडियल वायूचे वर्क डन, हीट ट्रान्स्फर ,इंटर्नल एनर्जी , एंथाल्पी मोजा (Determine work done, heat transfer, internal energy, enthalpy change for various Ideal gas processes.)

TLO 2.3 स्टीम टेबल वापरून स्टीमचे वेगवेगळे गुणधर्म मोजा Calculate different properties of steam using steam table.)

2.1 आयडियल गॅसचा परिचय- (Ideal Gas Introduction)

- एक गॅस जो सर्व प्रेशर व टेम्परेचर (तापमान) ला बॉयलचा नियम आणि चार्लचा नियम पाळतो आणि ज्याचे समीकरण PV = mRT हे आहे त्याला आयडियल गॅस म्हणतात.
- हा काल्पनिक (Imaginary) वायू आहे, अस्तित्वात नाही.
- परंतु ऑक्सिजन, नायट्रोजन, हवा इत्यादी यांना आपण आयडियल गॅस मानतो.

2.2 आयडियल गॅससाठी काही गृहीतक (Assumptions)

- विशिष्ट आकारमानाच्या (Volume) गॅसमध्ये मोठ्या प्रमाणात रेणू असतात.
- गॅसच्या रेणूंमध्ये तसेच रेणू आणि कंटेनरची भिंत यांच्यात टक्कर झाल्यास ती लवचिक असते.
- जोपर्यंत रेणू एकमेकांवर आदळत नाही तोपर्यंत ते एकमेकांवर फोर्स लावत नाही.
- वायूचे रेणू सतत याद्दच्छिक गतीमध्ये असतात. (Random Motion). रेणू नेहमी सरळ रेषेत पुढे जात असतात जोपर्यंत दुसऱ्या रेणूसोबत टक्कर होत नाही.

2.3 आयडियल गॅसचे नियम

2.3.1 बॉयलचा नियम (Boyle's Law)

जेव्हा एकक वस्तुमान असलेल्या गॅसला स्थिर तापमानामध्ये (Temperature) ठेवले जाते, तेव्हा त्या गॅसचा प्रेशर (Pressure) त्याच्या आकारमानाच्या (Volume) व्यस्त प्रमाणात (Inversely) असतो. जेव्हा **T** स्थिर असेल (Constant)

$$P \ \alpha \ \frac{1}{V}$$

$$\therefore \quad PV = \text{Constant}$$

$$\therefore \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

2.3.2 चार्ल चा नियम (Charle's Law)

जेव्हा एकक वस्तुमान असलेल्या गॅसला स्थिर प्रेशर (Pressure) मध्ये ठेवले जाते, तेव्हा त्या गॅसचे आकारमान (Volume) त्याच्या तापमानाच्या (Temperature) सम प्रमाणात (Directly) असते.

जेव्हा **P** स्थिर असेल (Constant)

$$V \ \alpha \ T$$

$$\therefore \quad \frac{V}{T} = Constant$$

$$\therefore \qquad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

2.3.3 गे लुसॅक चा नियम (Gay Lussac Law)

जेव्हा एकक वस्तुमान असलेल्या गॅसला स्थिर आकारमानामध्ये (Volume) ठेवले जाते, तेव्हा त्या गॅसचा प्रेशर (Pressure) त्याच्या तापमानाच्या (Temperature) सम प्रमाणात (Directly) असते.

जेव्हा V स्थिर असेल (Constant)

$$P \propto T$$

$$\therefore \qquad \frac{P}{T} = Constant$$

$$\therefore \qquad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P}{T_2}$$

2.4 गॅसचे वैशिष्ट्यपूर्ण समीकरण (Characteristic Equation for Gas)

- आयडियल गॅसचे समीकरण हे प्रेशर, आकारमान आणि तापमान यांच्यातील सहसंबंध दाखविते.

$$\therefore \qquad \frac{PV}{T} = Constant$$

स्थिरांक (Constant) 'R' म्हणून लिहिला जातो

त्यामुळे $PV = RT$ जर 'm' किलो गॅस असेल तर

$$PV = mRT$$

हे गॅसचे वैशिष्ट्यपूर्ण समीकरण आहे (Characteristic Equation for Gas) येथे

P = प्रेशर kN/m^2

V = वस्तुमान m^3

m = गॅस चे वस्तुमान kg

R = गॅस चा स्थिरांक kJ / kg K

T = तापमान ^0K

2.4.1 युनिव्हर्सल गॅस स्थिरांक (कॉन्स्टंट) (Universal Gas Constant)

- युनिव्हर्सल गॅस स्थिरांक हा गॅस आणि थर्मोडायनामिक्सच्या अभ्यासातील एक प्रमुख मापदंड आहे.
- विविध परिस्थितींमध्ये गॅस च्या वर्तनामध्ये काय काय बदल होतात त्यांची गणना करण्यासाठी याचा वापर केला जातो.
- हे Ru द्वारे दर्शविले जाते
- हा गॅस स्थिरांक व गॅसचे आण्विक वस्तुमान (Molecular mass) यांचा गुणाकार असतो

$\therefore$ Ru = M ×R

जेथे Ru = युनिव्हर्सल गॅस स्थिरांक

M = वायूचे आण्विक वस्तुमान

R = गॅस स्थिरांक

- Ru चे मूल्य सर्व गॅस साठी समान आहे आणि ते 8.314 kJ/kg mol ^0K आहे

2.4.2 वैशिष्ट्यपूर्ण गॅस स्थिरांक (Characteristic Gas Constant)

- जेव्हा आपण सामान्य गॅस ना (वास्तविक गॅस Real Gas) आयडियल गॅस चे समीकरण लागू करतो, तेव्हा समीकरणात काही बदल केले जातात.

- कारण कोणताही वास्तविक गॅस हा आयडियल गॅस सारखा वागत नाही.
- वास्तविक गॅसचे गुणधर्म आयडियल गॅसपेक्षा वेगळे असतात.

  म्हणून

$$\text{वैशिष्ट्यपूर्ण गॅस स्थिरांक} = \frac{\text{युनिव्हर्सल गॅस स्थिरांक}}{\text{वायूचे आण्विक वस्तुमान}}$$

$$\therefore \quad R = \frac{R_u}{M}$$

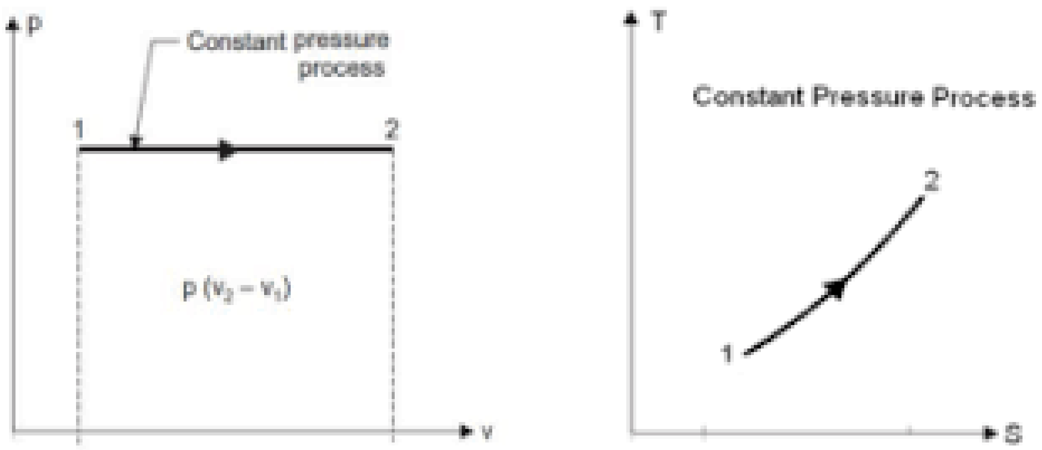
हवेसाठी गॅस स्थिरांक R चे मूल्य 0.287 kJ/kg ^{0}K आहे

2.5 आयडियल गॅस प्रक्रिया (Ideal Gas Processes)

- आपल्याला वेगवेगळ्या आयडियल गॅस प्रक्रियांचा अभ्यास करावा लागतो.
- प्रत्येक प्रक्रियेत एक पॅरामीटर स्थिर असतो आणि इतर पॅरामीटरच्या बदलांचा अभ्यास केला जातो.

2.5.1 आयसोबारिक प्रक्रिया (स्थिर प्रेशर प्रक्रिया)

Isobaric Process (Constant pressure process)



आयसोबॅरिक प्रक्रिया

Figure 2.2

- Figure 2.2 मध्ये आयसोबॅरिक प्रक्रिया पीव्ही आणि टीएस (PV and TS) Figureवर काढून दाखविली आहे.
- प्रेशर (P) स्थिर असल्याने, आपण खालील प्रमाणे समीकरण लिहू शकतो

$$\therefore \quad \frac{V_1}{T1} = \frac{V_2}{T2}$$

1. इंटर्नल एनर्जी मध्ये होणारा बदल (The change in Internal energy given as)

   $\Delta U = mC_v\,(T_2 - T_1)$
2. एंथाल्पी मध्ये होणार बदल (The change in Enthalpy is given as)

   $\Delta H = mC_p\,(T_2 - T_1)$
3. वर्क डन (झालेले कार्य) (The work done is given by)

$$W = \int_{v1}^{v2} pdv = p\,(v_2 - v_1)$$

Also $W = m\,R\,(T_2 - T_1)$ (PV=mRT)

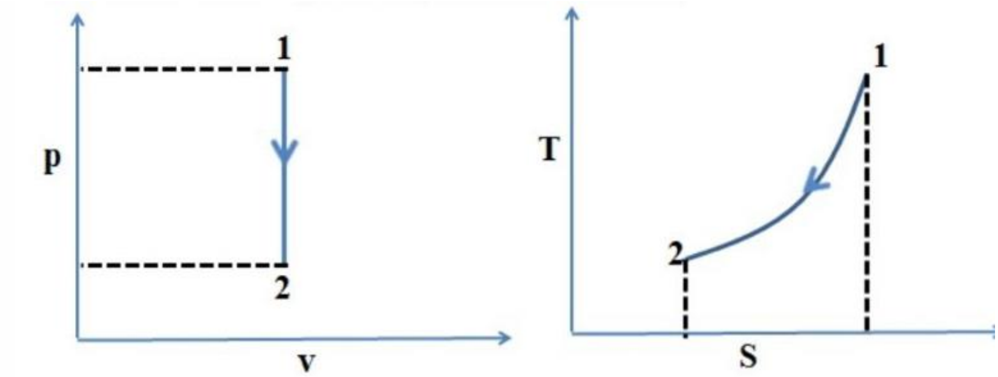
4. गॅसला दिलेली किंवा गॅसने बाहेर टाकलेली हिट (उष्णता) (हिट ट्रान्स्फर) Heat Supplied or Heat Transferred

$Q = \Delta H$

$Q = mC_p\,(T_2 - T_1)$

2.5.2 आयसोकोरीक प्रक्रिया (स्थिर आकारमान प्रक्रिया)

Isochoric Process (Constant Volume process)



आयसोकोरीक प्रक्रिया

Figure 2.3

- Figure 2.3 मध्ये आयसोकोरीक प्रक्रिया पीव्ही आणि टीएस (PV and TS) Figureवर काढून दाखविली आहे.
- आकारमान (V) स्थिर असल्याने, आपण खालील प्रमाणे समीकरण लिहू शकतो

$\therefore \quad \frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$

1. इंटर्नल एनर्जी मध्ये होणारा बदल

   $\Delta U = mC_v\,(T_2 - T_1)$

2. एंथाल्पी मध्ये होणार बदल

   $\Delta H = mC_p\,(T_2 - T_1)$

3. वर्क डन (झालेले कार्य)

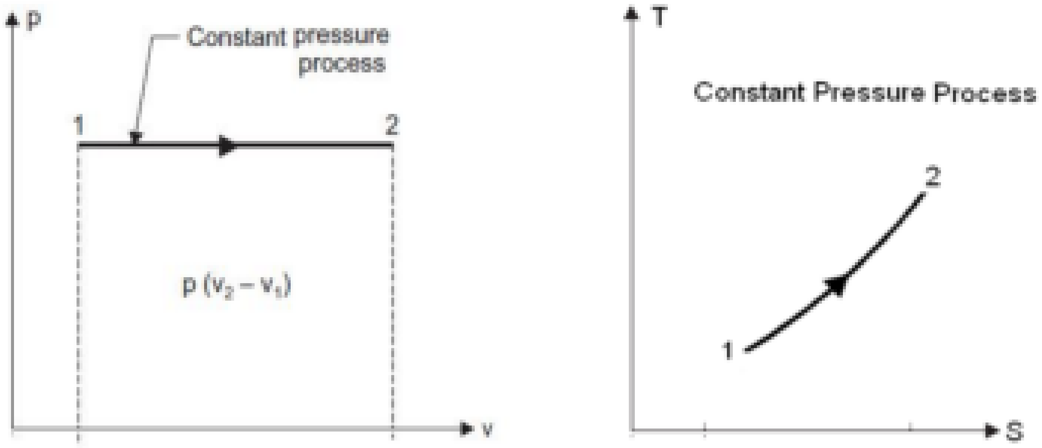
   $W = \int_{v1}^{v2} pdv = p\,(v_2 - v_1)$

   $W = 0$ (Work done Zero in Isochoric process)

4. गॅसला दिलेली किंवा गॅसने बाहेर टाकलेली हिट (उष्णता) (हिट ट्रान्स्फर)

   $Q = mC_v\,(T_2 - T_1)$

2.5.3 आयसोथर्मल प्रक्रिया (स्थिर तापमान प्रक्रिया)
Isothermal Process (Constant Temperature process)



आयसोथर्मल प्रक्रिया

Figure 2.4

- Figure 2.4 मध्ये आयसोथर्मल प्रक्रिया पीव्ही आणि टीएस (PV and TS) Figureवर काढून दाखविली आहे.
- तापमान (T) स्थिर असल्याने, आपण खालील प्रमाणे समीकरण लिहू शकतो.

$\therefore \quad P_1V_1 = P_2V_2$

1. इंटर्नल एनर्जी मध्ये होणारा बदल

   $\Delta U = mC_v (T_2 - T_1) = 0$ (कारण T1 = T2)
2. एंथाल्पी मध्ये होणार बदल

   $\Delta H = mC_p (T_2 - T_1) = 0$
3. वर्क डन (झालेले कार्य)

   $W = \int_{v1}^{v2} pdv$

   $W = P_1 V_1 \log_e (\frac{V_2}{V_1})$ or $W = P_1 V_1 \log_e (\frac{P_1}{P_2})$

   Or $W = R T_1 \log_e (\frac{P_1}{P_2})$ (कारण PV=mRT)
4. गॅसला दिलेली किंवा गॅसने बाहेर टाकलेली हिट (उष्णता) (हिट ट्रान्स्फर)

   $Q = W$

   $Q = P_1 V_1 \log_e (\frac{V_2}{V_1})$ or $Q = P_1 V_1 \log_e (\frac{P_1}{P_2})$

Or $Q = m R T_1 \log_e (\frac{P_1}{P_2})$ (कारण PV=mRT)

2.5.4 आइसेंट्रोपिक प्रक्रिया (स्थिर एंट्रोपी प्रक्रिया) (रिव्हर्सिबल अडायबेटिक प्रक्रिया)
Isentropic Process (Constant Entropy process) (Reversible Adiabatic Process)

- Figure 2.5 मध्ये आइसेंट्रोपिक प्रक्रिया पीव्ही आणि टीएस (PV and TS) Figureवर काढून दाखविली आहे.

- ह्या प्रक्रियेमध्ये एंट्रोपी स्थिर राहते याचाच अर्थ गॅस मधे उष्णता जात नाही तसेच गॅस मधून उष्णता बाहेर देखील पडत नाही.
- जरी उष्णता मधे जात नाही किंवा बाहेर पडत नाही तरीही गॅसचे तापमान वाढते. हे तापमान गॅस वर झालेल्या वर्क (Work) मुळे वाढते.
- हि प्रक्रिया $PV^{\gamma} = Constant$ ह्या समीकरणाद्वारे दाखविली जाते

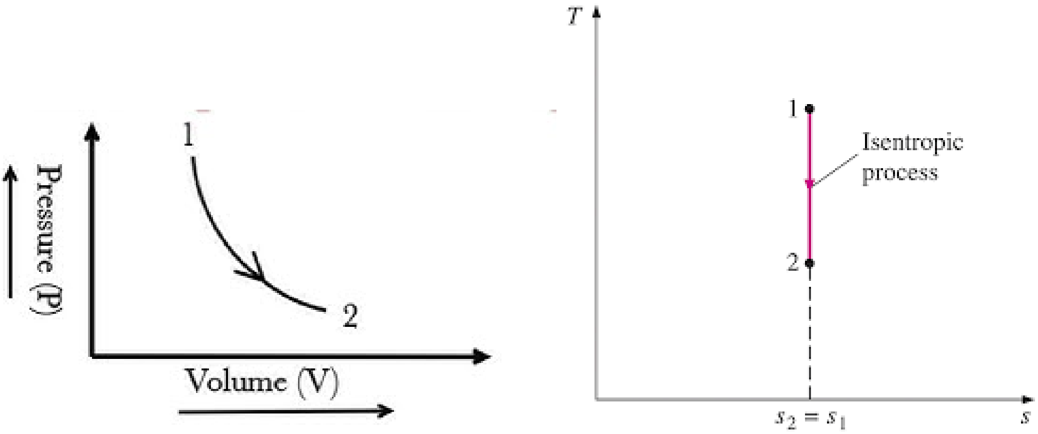


Figure 2.5

1. इंटर्नल एनर्जी मध्ये होणारा बदल

   $\Delta U = mC_v (T_2 - T_1)$
2. एंथाल्पी मध्ये होणार बदल

   $\Delta H = mC_p (T_2 - T_1)$
3. वर्क डन (झालेले कार्य)

   $W = m C_v (T_1 - T_2)$ (ह्या प्रक्रियेसाठी $W = - \Delta U$)

4. गॅसला दिलेली किंवा गॅसने बाहेर टाकलेली हिट (उष्णता) (हिट ट्रान्स्फर)

   $Q = 0$

(गॅस मधे उष्णता जात नाही तसेच गॅस मधून उष्णता बाहेर देखील पडत नाही.)

*आइसेंट्रोपिक प्रक्रियेसाठी P, V, T यांचा सहसंबंध

*Relation of P, V, T for isentropic process

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{(\gamma-1)}$$

उदाहरणे सोडवण्यासाठी वरील सूत्र लक्षात ठेवा

2.5.4 पॉलीट्रॉपिक प्रक्रिया (Polytropic Process)

- पॉलीट्रॉपिक प्रक्रिया पीव्ही आणि टीएस (PV and TS) Figureवर काढून दाखविली आहे.
- ही प्रक्रिया PV^n = Constant ह्या समीकरणाद्वारे दाखविली जाते.
- ईथे 'n' हा पॉलीट्रॉपिक इंडेक्स किंवा कॉम्प्रेशन किंवा एक्सपान्शन चा निर्देशांक आहे
- निर्देशांक n चे मूल्य 0 ते ∞ पर्यंत बदलू शकते.
- n चे मूल्य γ पेक्षा जास्त किंवा कमी असू शकते.

- सर्व प्रक्रियांचे वर्णन पॉलिट्रॉपिक प्रक्रियेद्वारे केले जाऊ शकते.

$PV^n = C$

1. $n = 0$ लिहिल्यास
   $PV^0 = C$ i.e. $P = C$ Isobaric Process
2. $n = 1$ लिहिल्यास
   $PV^1 = C$ i.e. $PV = C$ Isothermal Process
3. $n = \infty$ लिहिल्यास
   $PV^\infty = C$ i.e. $V = C$ Isochoric Process
4. $n = \gamma$ लिहिल्यास
   $PV^\gamma = C$ i.e. $PV^\gamma = C$ Isentropic Process
5. $\eta = \eta$ लिहिल्यास
   $PV^n = C$ i.e. $PV^\eta = C$ Polytropic Process

1. इंटर्नल एनर्जी मध्ये होणारा बदल
   $\Delta U = mC_v (T_2 - T_1)$
2. एंथाल्पी मध्ये होणार बदल
   $\Delta H = mC_v (T_2 - T_1)$
3. वर्क डन (झालेले कार्य) Work Done
   $$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\eta - 1} = \frac{m\,R\,(T_1 - T_2)}{\eta - 1}$$
4. गॅसला दिलेली किंवा गॅसने बाहेर टाकलेली हिट (उष्णता) (हिट ट्रान्स्फर)
   $$Q = m\,C_v\left(\frac{\eta - \gamma}{\eta - 1}\right)(T_2 - T_1)$$

* **पॉलीट्रॉपिक** प्रक्रियेसाठी P, V, T यांचा सहसंबंध

*****Relation of P, V, T for Polytropic process

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{\eta-1}{\eta}\right)} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{(\eta-1)}$$

उदाहरणे सोडवण्यासाठी वरील सूत्र लक्षात ठेवा.

2.5 स्टीम ची मूलभूत तत्वे (Steam Fundamentals)

- स्टीम म्हणजेच वाफ हि पदार्थाची वायू अवस्था आहे,
- स्टीममध्ये उच्च प्रेशर आणि तापमान असते, त्यामुळे स्टीम चा वापर इंजिनियरिंगच्या अनेक घटकांमध्ये केला जातो.

2.5.1 स्टीम चे उपयोग (Applications of Steam)

- विद्युत निर्मितीसाठी स्टीम टर्बाइनमध्ये.
- अन्न प्रक्रिया उद्योगांमध्ये.
- व्यावसायिक स्तरावर स्वयंपाकासाठी स्टीम वापरली जाते.
- कापड कारखान्यामध्ये धाग्यांच्या साफसफाईच्या कामासाठी स्टीम वापरली जाते.
- रिफायनरीजमध्ये, तसेच केमिकल कंपन्यांमध्ये सुद्धा स्टीम चा वापर होतो.

2.6. स्टीम निर्मिती- स्थिर प्रेशर प्रक्रियेद्वारे (Generation of Steam at constant pressure)

अभ्यासक्रमानुसार, तुम्हाला T – H आणि T- S Figure वापरून स्टीम निर्मिती शिकावे लागेल.

2.6.1 T-H (टेम्परेचर – एंथाल्पी) Figureचा वापर करून वाफेची निर्मिती **(Generation of Steam using T-H (Temperature – Enthalpy) diagram)**

- T-H (टेम्परेचर – एंथाल्पी) Figureचा वापर करून वाफेची निर्मिती कशी होते हे Figure 2.7 मध्ये दाखविलेले आहे.
- समजा कि, आपल्याकडे 1 किलो बर्फ आहे ज्याचे तापमान - 5 ^{0}C आहे व प्रेशर वातावरणाचा (Atmospheric) आहे.
- **प्रक्रिया a-b:** जसेजसे आपण बर्फाला उष्णता देतो तसतसे बर्फाचे तापमान 0 °C पर्यंत वाढू लागते.
- या प्रक्रियेदरम्यान, फक्त तापमानात वाढ होते परंतु बर्फाच्या अवस्थेमध्ये कोणताही बदल होत नाही. (म्हणजे बर्फ हा बर्फच असतो (स्थायू))
- **प्रक्रिया b-c:** जसजसे आपण उष्णता देणे सुरू ठेवतो, बर्फ वितळू लागतो आणि त्याचे पाण्यात रूपांतरित होतो. येथे तापमानात कोणतीही वाढ होत नाही परंतु अवस्थेमध्ये बदल होतो, म्हणजे बर्फाचे पाणी होते. ह्यावेळेस जी उष्णता दिलेली आहे त्याला लॅटेंट हिट (Latent Heat) असे म्हणतात.
- **प्रक्रिया c-d:** जसजशी उष्णता अजून दिली जाते, तसतसे पाण्याचे तापमान 100 °C पर्यंत वाढते.
- **प्रक्रिया d-e:** जसजशी उष्णता अजून दिली जाते, तसतसे पाणी स्टीममध्ये बदलू लागते. म्हणजे अवस्था बदलते. (द्रव ते वायू अवस्था). ह्या ठिकाणी दिलेल्या उष्णतेला बाष्पीकरणाची लॅटेंट हिट (Latent Heat of Vaporisation) म्हणतात.
- **प्रक्रिया e-f:** अजून उष्णता देणे सुरु ठेवल्यास स्टीम चे तापमान खूप वाढते त्या स्टीम ला अतिउष्ण स्टीम म्हणतात.
- S – स्थायू अवस्था L – द्रव अवस्था V- वायू अवस्था

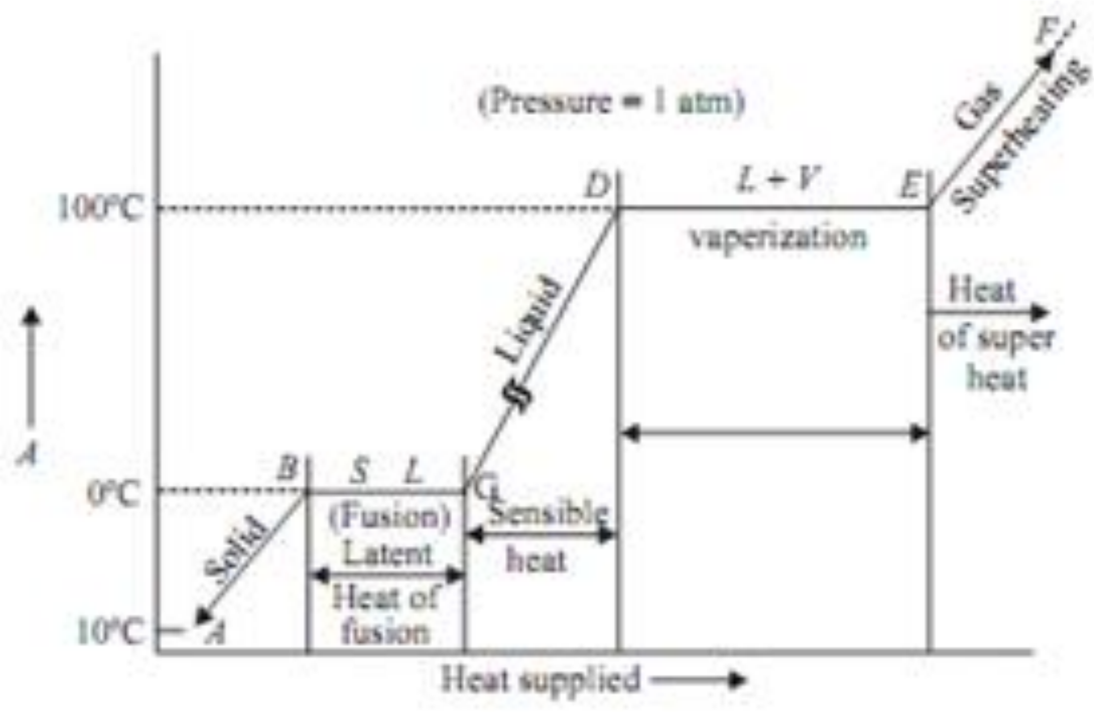


Figure 2.7

T-H diagram for steam generation

2.6.2 T - S (टेम्परेचर – एंट्रोपी) Figureचा वापर करून वाफेची निर्मिती

(Generation of Steam using T-S (Temperature – Entropy) diagram)

- T-S (टेम्परेचर – एंट्रोपी) Figureचा वापर करून वाफेची निर्मिती कशी होते हे Figure 2.8 मध्ये दाखविलेले आहे.
- स्टीम ची एंट्रॉपी शोधण्यासाठी T-S Figure वापरली जाते.

  T-S Figure ही स्टीम निर्मितीमध्ये जी थर्मोडायनामिक प्रक्रिया असते त्याचे ग्राफिकल व्हिज्युअलायझेशन देखील आहे.
- समजा कि, 1 किलो पाणी सामान्य वातावरणाच्या प्रेशरला गरम केले जाते, तेव्हा पाण्याला जी उष्णता दिली जाते त्यामुळे त्याची एंट्रोपी वाढते. जर आपण तापमान आणि एंट्रॉपी दरम्यान आलेख काढला तर आपल्याला एक वक्र रेषा AB मिळेल. या ठिकाणी जी एंट्रोपी वाढते ती Figure 2.8 मध्ये S_f द्वारे दाखविली आहे.
- आणखी उष्णता दिल्यावर, पाण्याचे बाष्पीभवन सुरू होते, त्यावेळेस जी एंट्रोपी वाढते ती S_{fg} ने दाखविली आहे.
- Figureमधील AB रेषेला सॅच्युरेटेड वॉटर लाइन (Saturated Water Line) आणि बिंदू C असलेल्या रेषेला सॅच्युरेटेड व्हेपर लाइन (Saturated Vapour Line) असे म्हणतात.
- ज्या बिंदूमध्ये सॅच्युरेटेड वॉटर लाइन आणि सॅच्युरेटेड व्हेपर लाइन एकत्र येतात, त्या बिंदूला (P) क्रिटिकल बिंदू (Critical Point) असे म्हणतात.

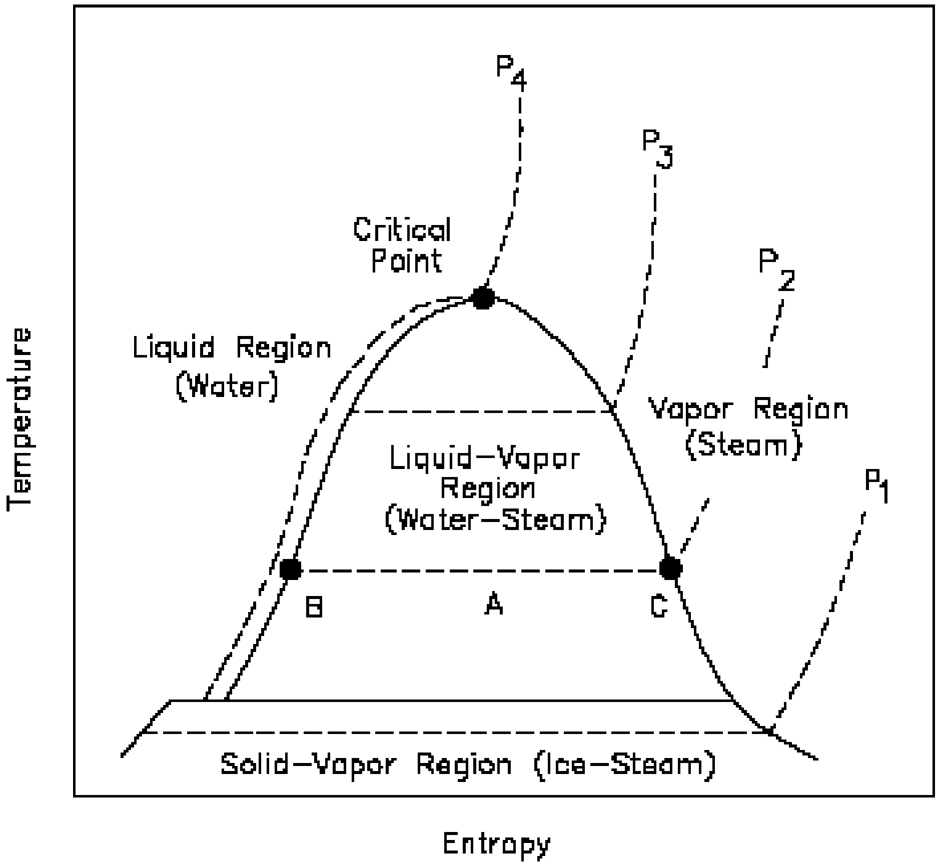


Figure 2.8

T-S diagram for steam generation

2.6.3 स्टीम चे प्रकार (Types of Steam)

- **ओली स्टीम (Wet Steam)** : जेव्हा वाफेमध्ये पाण्याचे काही कण किंवा आर्द्रता असते तेव्हा त्याला ओली स्टीम म्हणतात.
- **ड्राय स्टीम (सॅच्युरेटेड स्टीम) (Dry Steam) :** जेव्हा वाफेमध्ये पाण्याचे कण किंवा आर्द्रता नसते तेव्हा त्याला ड्राय स्टीम म्हणतात.
- **सुपरहिटेड स्टीम (**Superheated Steam**):** जर ड्राय स्टीम अजून गरम केली तर त्याचे तापमान वाढू लागते, या उच्च तापमानाच्या स्टीम ला सुपरहिटेड स्टीम म्हणतात.

2.6.4 स्टीमशी संबंधित महत्त्वाच्या संज्ञा

- **स्टिमची सुपरहीट डिग्री (Degree of Superheat) -** सुपरहीट तापमान आणि सॅच्युरेटेड तापमान यातील फरकाला सुपरहीटची डिग्री म्हणतात. (T_{sup} - T_{sat})
- **स्टीमचा ड्रायनेस फ्रॅक्शन (Dryness Fraction):** हा वाफेचा कोरडेपणा दर्शविणारा नंबर आहे. 'x' ने ड्रायनेस दाखविला जातो.

$$x = \frac{M_s}{M_s + M_w}$$

M_s = वाफेचे वस्तुमान

M_w = पाण्याचे वस्तुमान

- **सेन्सिबल हिट (Sensible Heat):** जी उष्णता थर्मामीटरने मोजता येते.

याचा अर्थ पदार्थाच्या तापमानात बदल होतो परंतु त्याची अवस्थेमध्ये बदल होत नाही.

- **लॅटेंट हिट (Latent Heat):** 1 किलो उकळत्या पाण्याचे समान तापमान आणि प्रेशरने स्टिममध्ये रूपांतर करण्यासाठी जी उष्णता दिली जाते त्याला लॅटेंट हिट असे म्हणतात. हि 'L' ने दर्शविली जाते
- **स्टिमची एकूण उष्णता (Total Heat of Steam)**

(स्टीम ची एंथाल्पी) (Enthalpy of Steam):

एकूण उष्णता म्हणजे, द्रव (पाणी) आणि वायू (वाफ) यासारख्या विविध टप्प्यांवर असणाऱ्या एंथाल्पीची बेरीज होय.

एक किलोग्रॅम पाण्याला 0 °C पासून स्टीम मध्ये रूपांतरित करण्यासाठी जी उष्णता दिली जाते त्याला स्टिमची एकूण उष्णता म्हणतात.

- **स्टिमचे विशिष्ट आकारमान (Specific Volume of Steam):**

कोणत्याही प्रेशरला 1 किलो स्टिमचे आकारमान म्हणजेच स्टिमचे विशिष्ट आकारमान.

V_g द्वारे दर्शविले.

जर आपल्याकडे 1 किलो पाणी आहे आणि त्याचे आकारमान एक लिटर आहे. आपण त्याचे स्टीममध्ये रूपांतर केले. तर स्टीम हि वस्तुमानाने 1 किलो असेल परंतु स्टीमचा प्रेशर बदलला तर स्टिमचे आकारमान बदलेल.

2.6.5 स्टीम टेबलचा वापर (Use of Steam Table)

- विविध तापमान आणि प्रेशरला पाणी आणि स्टीम चे गुणधर्म ठरवण्यासाठी स्टीम टेबल्स चा वापर केला जातो.
- ह्या टेबल मध्ये एंथाल्पी, एन्ट्रॉपी, विशिष्ट आकारमान इत्यादीबद्दल तपशीलवार माहिती प्रदिलेली असते.
- स्टीम टेबल वापरण्यासाठी स्टेप्स

1. तुम्हाला उदाहरणामध्ये दिलेले गुणधर्म जसे कि प्रेशर, तापमान ई. शोधा
2. जर हे गुणधर्म बॉइलिंग पॉईंट ला असतील तर सॅच्युरेटेड स्टीम टेबल चा वापर करा.
3. जर हे गुणधर्म बॉइलिंग पॉईंट पेक्षा जास्त असतील तर सुपरहीटेड स्टीम टेबल चा वापर करा.
4. रो व कॉलम ची योग्य जुळणी करून तुम्हाला हवे ते गुणधर्म व त्यांची किंमत शोधा.

2.7 रँकाईन चक्र (सायकल) (Rankine Cycle)

- हे थर्मल पॉवर प्लांटसाठी एक ऑपरेटिंग चक्र आहे.
- यामध्ये, एक द्रव पदार्थ सतत बाष्पीभवन होऊन वायू अवस्थेत जातो व लगेच थंड होऊन पुन्हा द्रव अवस्थेत येतो. हे चक्र सुरूच असते.
- यात चार घटक असतात 1. बॉयलर 2. टर्बाइन 3. कंडेनसर 4. पंप
- रँकाईन चक्र हे Figure 2.9 मध्ये दाखविलेले आहे.

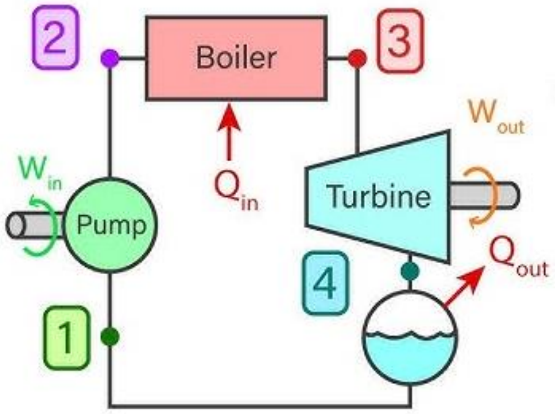


Figure. 2.9

Rankine Cycle

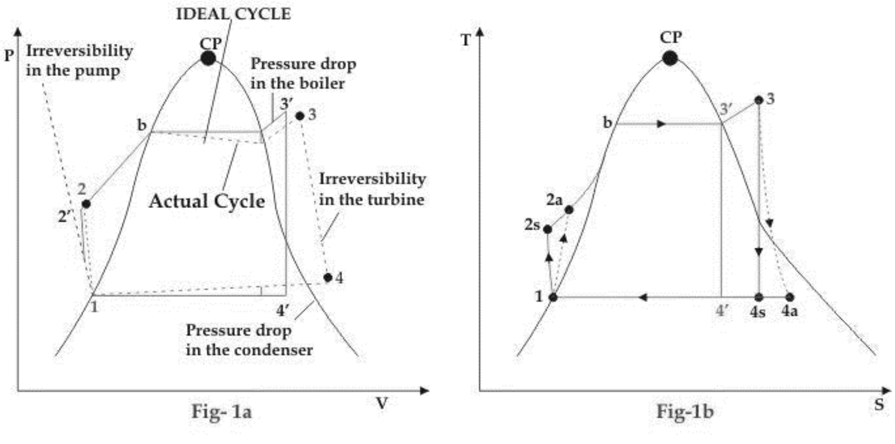


Figure 2.10

PV – TS Diagram of Rankine Cycle

प्रक्रिया 2-3 आइसेंट्रोपिक एक्सपान्शन

प्रक्रिया 3-4 कंडेन्सरमध्ये स्थिर प्रेशरने उष्णता हस्तांतरणाची प्रक्रिया

प्रक्रिया 4-1 आइसेंट्रोपिक कॉम्प्रेशन

प्रक्रिया 1-2 बॉयलरमध्ये स्थिर प्रेशरने उष्णता हस्तांतरणाची प्रक्रिया

वर दिलेल्या T-S Figureनुसार, आयडियल Rankine सायकलमध्ये चार प्रक्रिया असतात.

प्रक्रिया 2-3 आइसेंट्रोपिक एक्सपान्शन

1. टर्बाइनमध्ये स्टीमचे एक्सपान्शन (विस्तार) केले जाते; ह्यावेळेस स्टीम ची एन्ट्रॉपी स्थिर असते.
2. येथे टर्बाइनद्वारे वर्क (W) केले जाते.

प्रक्रिया 3-4 स्थिर प्रेशर

1. कंडेन्सरमध्ये स्टीम ची उष्णता बाहेर काढली जाते.
2. वाफ थंड होऊन पाण्यात रूपांतर होते.

प्रक्रिया 4-1 आइसेंट्रोपिक कॉम्प्रेशन

1. द्रवपदार्थ (पाणी) पंप चा वापर करून कमी प्रेशरपासून जास्त प्रेशरपर्यंत आणले जाते.
2. या प्रक्रियेत एन्ट्रॉपी स्थिर असते.

प्रक्रिया 1-2 स्थिर प्रेशर

1. स्थिर प्रेशरने पाण्याला उष्णता देऊन स्टीम तयार केले जाते.
2. पाण्यामध्ये उष्णता मिसळते आणि तिचे स्टीम मध्ये रूपांतर होते.

उदाहरणे

1. 5 m^3 of a gas at 8 bar and 180 °C is **heated at constant pressure** till volume is doubled.If C_p = 1 kJ/kgK and C_v= 0.715 kJ/kgK. Determine a) Change in internal energy b) Work transferred c) Heat transferred.

   Given:

   $V_1 = 2.5\ m^3$, $T_1 = 180°C = 180+273 = 453$ K, $P_1 = P_2 = 8$ bar $= 8*10^5\ N/m^2$

   $V_2 = 2V_1$, $C_p = 1$ kJ/kgK, $C_v = 0.715$ kJ/kgK

   Find: du, Q, W

   Solution:

   The process given in numerical is Isobaric process

   $$\frac{V_1}{T_1} = \frac{T_1}{T_2} \qquad (P_1 = P_2\ general\ gas\ equation$$

   $$\frac{V_1}{453} = \frac{2V_1}{T_2} \qquad (P_1 = P_2\ general\ gas\ equation$$

   $T_2 = 906$ K

   $R = C_p - C_v$

   R = 1-0.715 =0.285 kJ/kgK

   $P_1 V_1 = mRT_1$

   $m = \frac{P_1V_1}{RT_1}$ =......................(general gas equation)

   $$m = \frac{8\times10^5 \times 2.5}{0.285\times10^3 \times 453} = 15.49\ kg$$

   $\Delta u = mC_v(T_2-T_1) = 15.49*715*(906 - 453)$

   Δu = 5017.13 kJ

   $Q = mC_p(T_2-T_1)$

   $= 15.49*1*10^3(906 - 453)$

= 7016.97 kJ

PV= mRT

W = $mR(T_2-T_1)$

= 15.49*285*(906 - 453)

W **= 1999.84 kJ**

2. 1 kg of air occupies 0.084 m^3 at 12.5 bar and 537 °C. It is expanded at **constant temperature** to a final volume of 0.336 m^3. Calculate pressure at the end of expansion, work done, heat absorbed.

Given:

m =1 kg, V_1 = 0.084 m^3, $T_2 = T_1$ = 537°C = 537+273 = 810 K, P_1 = 12.5 bar= 12.5*10^5 N/m^2

V_2 = 0.336 m^3, R=287 J/kgK

Find: P_2, W, Q

Solution:

$P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{12.5\times10^5\times0.084}{0.336}$$

P_2 =312.5 kN/m^2

$$W_{1-2} = P_1V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 12.5*10^5*0.084*\ln\left(\frac{0.336}{0.084}\right)$$

= 145.561 kJ

Q=W

Q = 145.561 kJ

1.5 m^3 of air at a pressure of 1.1 MN/m^2 absolute pressure and the temperature of 80 °C is expanded isothermally until its volume is 8.5 m^3. Determine the final pressure and work done by air during expansion.

Given:

V_1 = 1.5 m^3, $T_2 = T_1$ = 80°C = 80+273 = 353 K, P_1 = 1.1 MN/m^2= 1.1*10^6 N/m^2

V_2 = 8.5 m^3

Find: P_2, W

Solution:

The process given in numerical is Isothermal process

$P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{1.1\times10^6\times1.5}{8.5}$$

P_2 =194.12 kN/m^2

$$W = P_1V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 1.1*10^6*1.5*\ln\left(\frac{8.5}{1.5}\right)$$

= 2862.09 kJ

W = 2862.09 kJ

3. A quantity of gas is expanded isothermally from initial condition of 0.1 m^3 and 735 kPato a final pressure of 118 kPa. Find a) final volume b) work done.

Given:

V_1 = 0.1 m^3, T_2= T_1, P_1 = 735 kPa = 735*10^3 N/m^2

P_2 = 118 kPa = 118*10^3 N/m^2

Find: V_2, W

Solution:

$P_1 V_1 = P_2 V_2$

$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} =$ …………….(general gas equation)

$V_2 = \frac{735\times10^3\times0.1}{118\times10^3}$ = 0.623 m^3

$W = P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 735*10^3*0.1*\ln\left(\frac{0.623}{0.1}\right)$

= 134.46 kJ

4. The initial volume of 0.18 kg of a certain gas was 0.15 m^3 at a temperature of 15°C and a pressure of 1 bar. After adiabatic compression to 0.056 m^3, the pressure was found to be4 bar. Find a) gas constant b) change in internal energy.

Given:

m= 0.18 kg, V_1 = 0.15 m^3, T_1 = 15°C = 15+273 = 288 K, P_1 = 1 bar= 1*10^5 N/m^2

V_2 = 0.056 m^3, P_2 = 4 bar= 4*10^5 N/m^2

Find: R, Δu

Solution:

The process given in numerical is Isentropic process

$P_1 V_1 = mRT_1$ ....(general gas equation)

$P_1 V_1 = mRT_1$…………….(general gas equation)

$R = \frac{P_1 V_1}{mT_1} = \frac{10^5\times0.15}{0.18\times288}$

R= 289.35 J/kgK

$M = \frac{R_u}{R} = \frac{8314}{289.35}$

M= 28.73 kg

$\Upsilon = \frac{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{4}{1}\right)}{\ln\left(\frac{0.15}{0.056}\right)} = 1.407$

$\Upsilon = 1 + \frac{R}{C_V}$

$$1.407 = 1 + \frac{289.35}{C_V}$$

C_v = 710.93 J/kgK

$C_p - C_v = R$

C_p = 289.35+710.93 =1000.28 J/kgK

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{288}{T_2} = \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{1.407-1}{1.407}}$$

T_2= 430.49 K

$\Delta u = mC_v(T_2-T_1)$

= 0.18* 710.93*(430.49-288)

= 18.23 kJ

5. 0.3 kg of air is compressed reversibly and adiabatically from 70 kPa and 60 °C to 0.4 MPa. Find out the final temperature and work done on the system. Take R= 0.287 kJ/kgK, ϒ=1.4.

Given:

m= 0.3 kg, T_1 = 60°C = 60+273 = 333 K, P_1 = 70 kPa= 70*10^3 N/m^2

P_2 = 0.4 MPa= 0.4*10^6 N/m^2, R= 0.287 kJ/kgK, ϒ=1.4

Find: T_2, W

Solution:

The process given in numerical is Isentropic process

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{333}{T_2} = \left(\frac{70\times10^3}{0.4\times10^6}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

T_2 = 548.60 K

$$W = \frac{mR(T_2 - T_1)}{(1-\gamma)} = \frac{0.3\times287\times(548.60-333)}{(1-1.4)}$$

= - 46.41 kJ (compression)

6. One kg of air at an initial condition of 350 kPa and 450 K expands adiabatically to a final condition of 130 kPa. Calculate amount of work done and change in internal energy of gas during expansion. ϒ=1.4 and R=0.287 kJ/kgK.

Given:

m= 1 kg, T_1 = 450 K, P_1 = 350 kPa= 350*10^3 N/m^2

P_2 = 130 kPa= 130*10^3 N/m^2, R= 0.287 kJ/kgK, ϒ=1.4

Find: W, Δu

Solution:

The process given in numerical is Isentropic process

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{450}{T_2} = \left(\frac{350\times10^3}{130\times10^3}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

T_2 = 339.11 K

$$W = \frac{mR(T_2 - T_1)}{(1-\gamma)} = \frac{1\times 287\times(339.11-450)}{(1-1.4)}$$

= 79.56 kJ

$$\Upsilon = 1 + \frac{R}{C_V}$$

$$1.4 = 1 + \frac{287}{C_V}$$

C_v = 717.5 J/kgK

$\Delta u = mC_v(T_2-T_1)$

= 1* 717.5*(339.11-450)

= -79.56 kJ (W=du as Q=0)

7. Determine the state of steam if:
   1. P= 10 bar and specific volume = 0.185 m^3/kg,
   2. P= 12 bar and T= 200

°CGiven:

1. P= 10 bar, v_{fg} = 0.185 m^3/kg

$$x = \frac{v_{fg}}{v_g} = \frac{0.185}{0.19430}$$ v_g = 0.19430 (from steam table)

x= 0.9521

Steam is wet.

2. P= 12 bar and T= 200 °C

T_{sat} = 188 °C (from steam table)

Steam is superheated.

T_{sup}- T_{sat} = 200 – 188

= 12°C

8. Determine the amount of heat which should be supplied to 2 kg of water at 25 °C to convert it into steam at 5 bars and 0.9 dry. (C_p for water = 4.187 kJ/kgK) From Steam table 5 bar h_f = 640.1 KJ/kgK, h_{fg}= 2107.4 KJ/kgK

Given:

m_w= 2 kg, T_w = 25 °C, C_p for water = 4.187 kJ/kgK

At 5 bar x=0.9, h_f = 640.1 KJ/kgK, h_{fg}= 2107.4 KJ/kgK

Find:

Amount of heat added, Q

Solution:

Heat in water= $m_w C_{pw} \Delta T$ = 2*4.187*25

= 209.35 kJ

$h_{steam} = h_f + xh_{fg}$

= 640.1+0.9*2107.4

= 2536.76 kJ/kg

For 2 kg heat required = 2* 2536.76

= 5073.52 kJ

Amount of heat supplied = 5073.52 – 209.35

= 4864.17 kJ

9. The pressure of steam is 2.5 bars. Its temperature is 130 °C. State the quality of steam with reason. Also calculate degree of superheat and its volume. From steam table at 2.5 bar, T_s=127.4 °C, Θ_g= 0.71844 m^3/kg.

Given:

At P= 2.5 bar,
Temperature of steam= 130°C
T_s=127.4 °C,
v_g, Θ_g= 0.71844 m^3/kg.
Find:
Degree of superheat, volume.
Solution:
As temperature of steam is 130°C is greater than saturation temperature, hence it is in superheated condition.
Degree of superheat = T_{sup}- T_{sat} = 130 – 127.4

$$\frac{v_{sup}}{T_{sup}} = \frac{v_g}{T_{sat}}$$ Since pressure is constant

$$\text{or} \quad v_{sup} = \frac{v_g \times T_{sup}}{T_{sat}} = \frac{0.71844 \times 130}{127.4}$$

= 0.7331 m^3/kg

EXERCISE-
TLO 2.1 Illustrate Ideal gas processes on P-V & T-S diagram.

1. Represent following processes on P-V and T-S diagram a) Isochoric b) Isobaric c) Isothermal d) Isentropic (A)
2. Define Ideal gases. (R)
3. State the meaning of each term and it’s unit in gas equation PV = mRT (U)

TLO 2.2 Determine work done, heat transfer, internal energy, enthalpy change for various ideal gas processes.

1. Define isentropic process. (R)
2. State the equations used to find change in Enthalpy and change in internal energy for isochoric process. (U)
3. State the equations used to find work done and change in enthalpy for isobaric process. (U)
4. Simple numerical to be asked in exam. In the exam, only two unknown values should

be asked to find out.

TLO 2.3 Calculate different properties of steam using steam table.

1. Define a) Wet steam b) Dry steam c) Superheated steam (R)
2. Represent the steam generation process using T-S diagram at constant pressure.
3. Explain the steam generation process using P-H diagram at constant pressure. (A)
4. State the various applications of steam. (R)
5. Represent Rankine cycle on PV and TS diagram.(A)

Unit 3 Components of Steam Power Plants
स्टीम पॉवर प्लांट्सचे घटक

विषय निष्पत्ती- स्टीम बॉयलर, स्टीम टर्बाइन, स्टीम कंडेन्सर आणि कूलिंग टॉवर्सची कार्यक्षमतेने देखभाल करण्यासाठी योग्य धोरणे वापरा. **(**Use suitable strategies to maintain steam boiler, steam turbine, steam condenser & cooling towers efficiently)

घटक निष्पत्ती

TLO 3.1 स्टीम पॉवर प्लांटचा लेआउट काढा **(**Draw layout of steam power plant)

TLO 3.2 स्टीम टर्बाइनची रचना आणि कार्य स्पष्ट करा **(**Explain construction and working of steam turbine)

TLO 3.3 दिलेल्या परिस्थितीसाठी योग्य कारणांसह कंडेन्सर निवडा**.**(Select condensers for the given situation with justification)

TLO 3.4 स्टीम बॉयलर, स्टीम टर्बाइन, स्टीम कंडेन्सर आणि कूलिंग टॉवरची प्रभावी देखभाल प्रक्रिया स्पष्ट करा.**(** Explain effective maintenance procedure of steam boiler, steam turbine, steam condenser and cooling tower)

3.1 स्टीम पॉवर प्लांटचा परिचय

औष्णिक ऊर्जा हा भारतातील वीज निर्मितीचा प्रमुख स्त्रोत आहे. भारतातील 60% पेक्षा जास्त विद्युत उर्जेचे उत्पादन स्टीम पॉवर प्लांटद्वारे केले जाते. भारतात कोळशाचा मोठा साठा (सुमारे 170 अब्ज टन) आहे, जो जगातील 5व्या क्रमांकावर आहे. स्टीम पॉवर प्लांट्समध्ये, जीवाश्म इंधनाच्या ज्वलनाची उष्णता बॉयलरद्वारे उच्च दाब आणि तापमानात वाफ वाढवण्यासाठी वापरली जाते. अशा प्रकारे उत्पादित केलेल्या वाफेचा वापर स्टीम टर्बाइन किंवा काहीवेळा वाफेच्या इंजिनद्वारे जनरेटरवर चालविण्यास आणि अशा प्रकारे विद्युत ऊर्जा निर्माण करण्यासाठी केला जातो. स्टीम टर्बाइन किंवा स्टीम पॉवर प्लांट्समध्ये वापरलेली स्टीम इंजिने केवळ प्राइम मूव्हर्स म्हणून काम करत नाहीत तर पंप, पंखे इत्यादी सहाय्यक उपकरणांसाठी ड्राइव्ह म्हणूनही काम करतात.

स्टीम पॉवर प्लांट एकतर फक्त विद्युत ऊर्जा निर्माण करण्यासाठी किंवा वाफेच्या निर्मितीसह विद्युत ऊर्जा निर्माण करण्यासाठी स्थापित केले जाऊ शकतात जसे की कागदाच्या गिरण्या, कापड गिरण्या, साखर गिरण्या आणि रिफायनरी, रासायनिक कामे, प्लास्टिक उत्पादन, अन्न उत्पादन इत्यादी औद्योगिक कारणांसाठीसुध्दा स्टीम पॉवर प्लांटचा उपयोग केला जातो टर्बाइनच्या एका विशिष्ट भागातून प्रक्रियेच्या उद्देशाने स्टीम काढली जाते आणि उर्वरित स्टीमला (वाफेला)टर्बाइनमध्ये विस्तारित करण्याची परवानगी दिली जाते. वैकल्पिकरित्या एक्झॉस्ट स्टीम ,वेगवेगळ्या प्रक्रियेकरीता वापरली जाऊ शकते.

थर्मल पॉवर प्लांट हा एक विद्युत निर्मिती करणारा ऊर्जा प्रकल्प आहे ज्यामध्ये पाण्यापासून वाफ निर्माण करण्यासाठी इंधनाच्या उष्णतेचा वापर केला जातो आणि पुढे ह्या वाफेचा वापर टर्बाइन फिरवण्यासाठी आणि पर्यायाने वीज निर्मितीसाठी केला जातो

स्टीम पॉवर प्लांटचे घटक आणि आराखडा(लेआउट)

थर्मल पॉवर प्लांटचे प्रमुख घटक

(i) कोळसा हाताळणी प्रकलप

(ii) पल्व्हरायझिंग प्लांट

(iii) ड्राफ्ट किंवा ड्रॉट फॅन

(iv) बॉयलर

(v) राख हाताळणी प्रकलप (Ash handling plant)

(vi) टर्बाइन आणि जनरेटर

vii) कंडेनसर
(viii) कूलिंग टॉवर आणि तलाव
(ix) फीड वॉटर हीटर
(x) इकॉनॉमायझर सुपर हीटर आणि एअर प्री हीटर

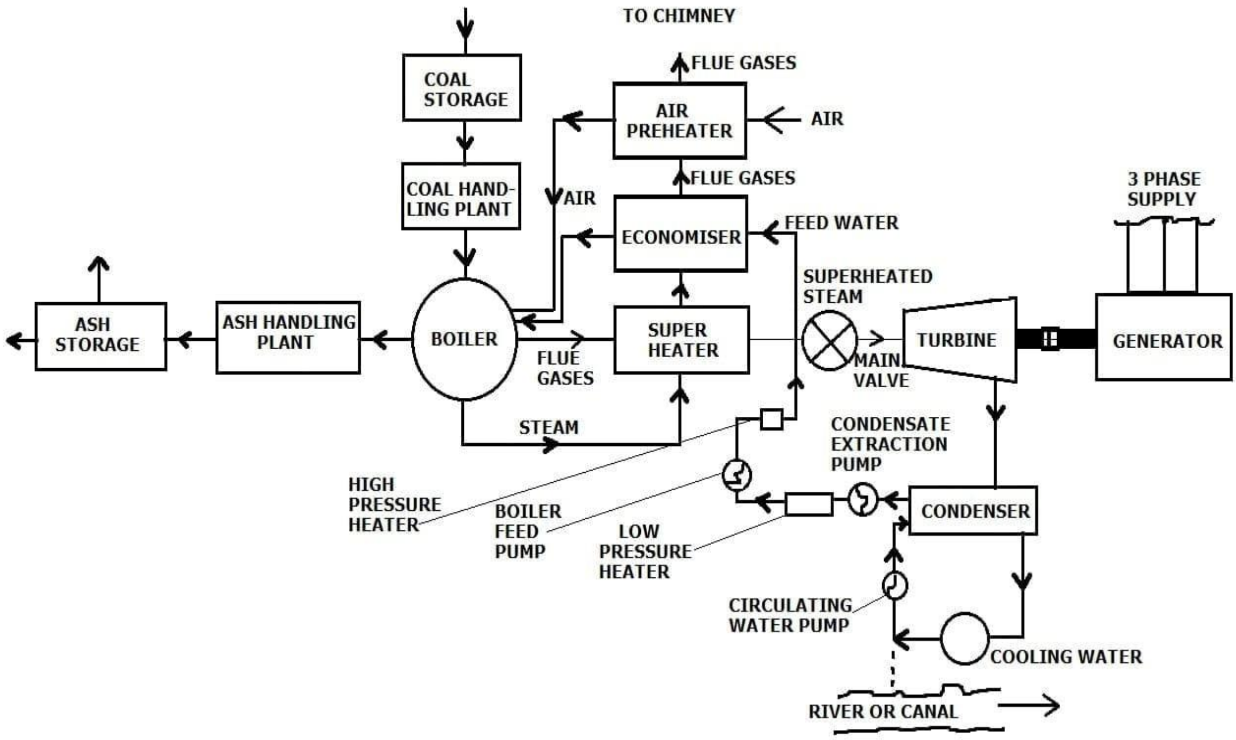


Fig 3.1
स्टीम पॉवर प्लांटचे घटक आणि आराखडा

3.1.1 स्टीम बॉयलर

स्टीम जनरेटर किंवा बॉयलर हे सहसा स्टीलचे बनलेले बंद भांडे असते. त्याचे कार्य इंधनाच्या (घन, द्रव किंवा वायू) ज्वलनामुळे निर्माण होणारी उष्णता पाण्यात हस्तांतरित करणे आणि शेवटी वाफ निर्माण करणे हे आहे. उत्पादित वाफेचा पुरवठा बाह्य ज्वलन इंजिनला म्हणजेच स्टीम इंजिन आणि टर्बाइनलाकेला जातो ..तसेच उत्पादित वाफ, कमी दाबाने कापूस गिरण्या, साखर कारखाने इत्यादींमध्ये औद्योगिक प्रक्रियेच्या कामासाठी आणि गरम पाण्याच्या उत्पादनासाठी वापरली जाऊ शकते ज्याचा वापर कमी दाबाने गरम प्रतिष्ठापनांसाठी केला जाऊ शकतो.

BR नुसार, बॉयलर म्हणजे 22.75 लीटर पेक्षा जास्त क्षमतेचे कोणतेही बंद भांडे(closed vessel) जे दाबाखाली वाफ निर्माण करण्यासाठी स्पष्टपणे वापरले जाते आणि अशा भांड्यासी जोडलेले कोणतेही माउंटिंग किंवा इतर फिटिंग समाविष्ट असते, जे स्टीम बंद असताना पूर्ण किंवा अंशतः दाबाखाली असते

स्टीम बॉयलर हे स्टीलचे बनलेले एक बंद भांडे आहे ज्याचे कार्य इंधनाच्या ज्वलनामुळे तयार होणारी उष्णता पाण्यात स्थानांतरित करणे व त्यापासून वाफ तयार करणे हे आहे.

बॉयलरचे वर्गीकरण

1.बॉयलर शेलच्या अक्षानुसार (Axis)

(i) व्हर्टीकल ऍक्सिस बॉयलर
(ii) हॉरिझॉन्टल ऍक्सिस बॉयलर
(iii) इनक्लाइन ऍक्सिस बॉयलर
2) पाणी आणि वाफेच्या अभिसरण पद्धतीनुसार
(i) नैसर्गिक अभिसरण(Natural circulation)
(ii) सक्तीचे अभिसरण(Forced circulation)
3) ट्यूबमधील सामग्रीनुसार
(i) वॉटर ट्यूब बॉयलर
(ii) फायर ट्यूब बॉयलर
4) भट्टीच्या स्थितीनुसार
(i) अंतर्गत किंवा आतून प्रज्वलन केलेले बॉयलर
(ii) बाहेरून प्रज्वलन केलेले बॉयलर
(5) उपयोगांनुसार
(i) स्थिर बॉयलर
(ii) पोर्टेबल बॉयलर
(6) नळ्यांच्या संख्येनुसार
(i) सिंगल ट्यूब बॉयलर
(ii) एकाधिक ट्यूब बॉयलर

3.1.2 उच्च दाब बॉयलरचा परिचय :

उच्च-दाब बॉयलर हा एक विशेष प्रकारचा बॉयलर आहे जो 80 बार पेक्षा जास्त दाबांवर चालतो आणि सामान्यत: औष्णिक उर्जा प्रकल्पांमध्ये वीज निर्मितीसाठी वापरला जातो, उच्चदाब आणि उच्चतापमानातील वाफ निर्माण करण्याच्या क्षमतेसाठी हे बॉयलर ओळखले जातात आणि त्या अनुषंगाने विविध औद्योगिक प्रक्रिया आणि वीज निर्मिती मध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावतात . मजबूत बांधकाम आणि वैशिष्ट्यीकृतअत्याधुनिक नियंत्रण प्रणालींद्वारे , उच्च-दाब बॉयलर अत्यंत प्रतिकुल परिस्थितीला तोंड देण्यासाठी सक्षम असतात .तसेच कार्यक्षम उष्णता हस्तांतरण आणि ऊर्जा रूपांतरण सुनिश्चित करण्यासाठी ह्या बॉयलरची विशेष यंत्रणा कार्यान्वित केलेली असते

1. लेमोन्ट बॉयलर (Lamont Boiler):

या प्रकारचे बॉयलर 1925 मध्ये वैज्ञानिक लेमोन्ट (Lamont) ने आणले होते. FIGURE 3.1.1 मध्ये दाखावल्याप्रमाणे ह्या बॉयलर ची कार्य व कार्यप्रणालीं काम करते

हे एक आधुनिक उच्च दाब, पाणी ट्यूब बॉयलर (water tube boiler)आहे जे सक्तीच्या अभिसरणावर (Forced circulation)काम करते. बॉयलरमधून वाफेचा वापर करून, स्टीम टर्बाइनद्वारे चालविलेल्या सेंट्रीफ्यूगल पंपद्वारे अभिसरण राखले जाते. गरम विहिरीतून फीड वॉटर इकॉनॉमायझरला पुरवले जाते आणि त्यानंतर ते सेप्रेटिंग व स्टोरिंग ड्रम कडे अनुक्रमे वेगळे करण्यसाठी व साठवण्यासाठी दिले जाते. सेप्रेटिंग व स्टोरिंग ड्रम पासून पाणी , गुरुत्वाकर्षणाने अभिसरणपंपा (circulating pump)कडे वाहते. अभिसरण करणारा पंप (संवहनी बाष्पीभवक) कॉन्वेक्टिव्ह इव्हॅपोरेटोर (Convective evaporator) आणि नंतर तेजस्वी बाष्पीभवक/रॅडिएंट इव्हॅपोरेटोर (Radient evaporator) म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या नळ्यांच्या सेटमध्ये पाणी फिरवतो. पाणी जेंव्हा रॅडिएंट इव्हॅपोरेटोरमधून बाहेर येते , तेव्हा ते वाफेमध्ये

रूपांतरित होते. ही वाफ स्टोरेज आणि सेपरेटर ड्रममधून जाते. सेप्रेटिंग व स्टोरेज ड्रम पासून स्टीम सुपरहीट करण्यासाठी सुपरहीटर कडे दिले जाते. नंतर हीच सुपरहीटेड स्टीम मुख्य प्रवाहात आणून आवश्यक त्या उपयोगासाठी पुरवली जाते.

या बॉयलरचा तोटा म्हणजे ट्यूबच्या आतील पृष्ठभागावर बुडबुडे तयार होतात ज्यामुळे उष्णता हस्तांतरण (Heat transfer)आणि वाफेचा निर्मिती दर(steam generation rate) कमी होतो

ला माउंट बॉयलरची वैशिष्ट्ये :

अ) हे बॉयलर 120 बारच्या दाबाने आणि 500 °C तापमानावर 45000 ते 50000 Kg/hr वेगाने सुपरहिटेड स्टीम तयार करण्यासाठी तयार केले गेले आहेत.

ब) हेबॉयलर लवचिक, संक्षिप्त आहे आणि या बॉयलरमध्ये विभक्त ड्रमचा आकार लहान असतो .

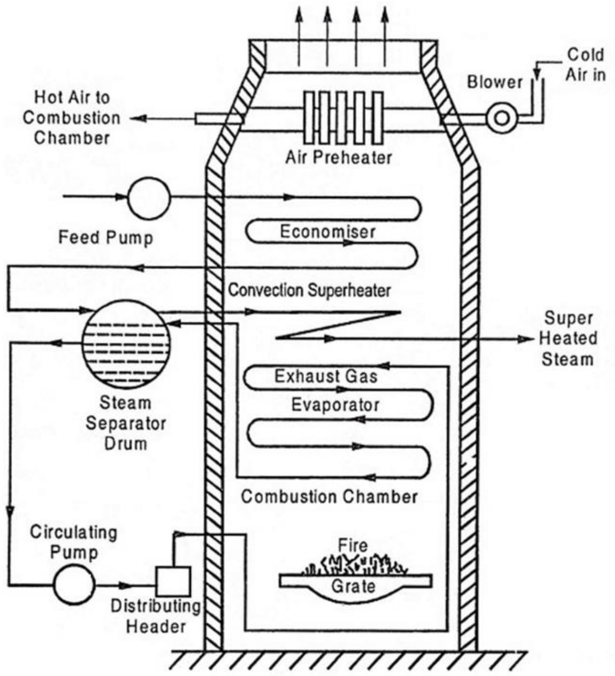


Fig 3.1.1 लेमोन्ट बॉयलर

2. **बेन्सन बॉयलर(Benson Boiler)** :

बेन्सन बॉयलर हा हाय प्रेशर , ड्रमलेस , सुपरक्रिटिकल, सक्तीचे अभिसरण असलेला वॉटर ट्यूब स्टीम बॉयलर आहे

बॉयलरचा शोध मार्क बेन्सन यांनी 1922 मध्ये लावला होता हा बॉयलर एक सुपरक्रिटिकल बॉयलर आहे ज्यामध्ये पुरवलेले पाणी (feed water)अतिउच्च (सुपरक्रिटिकल)दाबाने संकुचित(compress) केले जाते आणि यामुळे पाण्याच्या नळीच्या पृष्ठभागावर बुडबुडे (bubbles)तयार होण्यास प्रतिबंध होतो. बुडबुडे तयार होत नाहीत कारण सुपरक्रिटिकल दाबाने पाणी आणि वाफेची घनता सारखीच होते. बॉयलरमध्ये पाणी गरम करण्यापूर्वी ,ते सुपरक्रिटिकल दाबाने कॉम्प्रेस करण्याची कल्पना सर्वप्रथम मार्क बेन्सन यांनी मांडली आणि त्यामुळे पाण्याची सुप्त उष्णता (latent heat)शून्यावर येते. पाण्याची सुप्त उष्णता शून्यावर आल्याने बुडबुडे तयार न होता पाणी थेट वाफेत बदलते.

बेन्सन बॉयलर मध्ये , फीड पंप पाण्याचा दाब सुपरक्रिटिकल दाबापर्यंत वाढवतो आणि नंतर ते पाणी इकॉनॉमायझरमध्ये प्रवेश करतेइकॉनॉमिझरमधून, पाणी रेडियंट हीटरकडे जाते. येथे पाणी रॅडिएशन द्वारे उष्णता प्राप्त करते आणि अंशतः वाफेमध्ये रूपांतरित होते. तापमान जवळजवळ सुपरक्रिटिकल तापमानापर्यंत वाढते. त्यानंतर वाफेचे आणि पाण्याचे मिश्रण कॉन्वेक्टिव्ह इव्हॅपोरेटोर मध्ये प्रवेश करते

जेथे ते पूर्णपणे वाफेमध्ये रूपांतरित होते आणि काही प्रमाणात गरम होऊ शकते. शेवटी ते सुपर हीटरमधून इच्छित सुपरहीटेड वाफ मिळवण्यासाठी जाते.

हे या तत्त्वावर कार्य करते की पाण्याचा दाब सुपरक्रिटिकल दाबापर्यंत (म्हणजे 225bar च्या गंभीर दाबापेक्षा जास्त) वाढतो .जेव्हा पाण्याचा दाब सुपरक्रिटिकल पातळीपर्यंत वाढवला जातो तेव्हा पाण्याची सुप्त उष्णता शून्य होते आणि परिणामी , ते न उकळता थेट वाफेमध्ये बदलते आणि यामुळे ट्यूबच्या पृष्ठभागावर फुगे तयार होण्यास प्रतिबंध होतो.

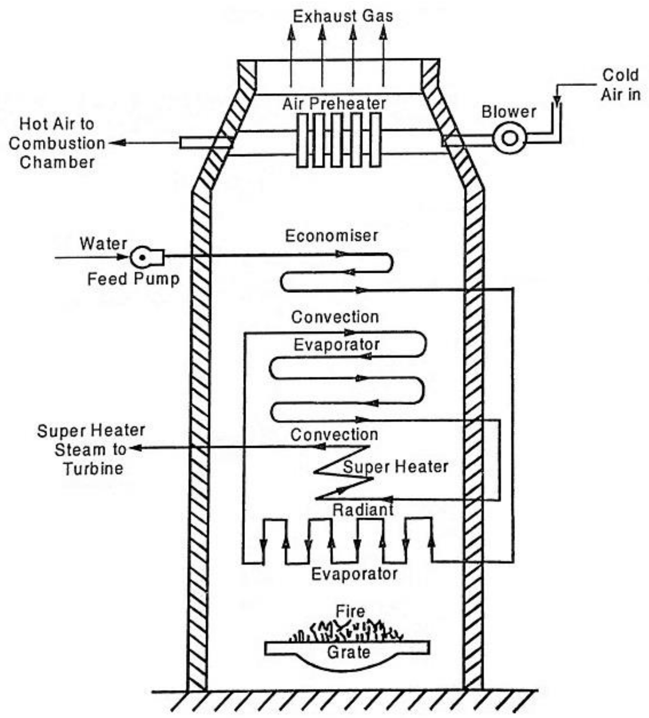


Fig 3.1.2 बेन्सन बॉयलर

3.2 स्टीम नोजल आणि स्टीम टर्बाइन

स्टीम नोजलची व्याख्या वेगवेगळ्या क्रॉस-सेक्शनचा पॅसेज म्हणून केली जाऊ शकते, जो वाफेच्या उष्णता ऊर्जेला (Heat energy)गतीज उर्जेमध्ये (kinetic energy)रूपांतरित करतो . नोजलच्या पहिल्या भागादरम्यान, वाफेचा वेग वाढतो. परंतु त्याच्या नंतरच्या भागात, वाफेचे वस्तुमान हे वाफेच्या वेगापेक्षा जास्त होते. वाफेचे वस्तुमान , नोझलच्या कोणत्याही भागातून जाताणा वाफेचे वस्तुमान हे स्थिर राहिल्याने, नोजलमधील वाफेच्या दाबाची भिन्नता वाफेचा वेग, विशिष्ट आकारमान आणि कोरडेपणा अंशां (dryness fraction)वर अवलंबून असते .एक चांगली रचना केलेली नोझल किमान ऊर्जा.नुकसानासह वाफेच्या उष्णता उर्जेचे गतीजउर्जे मध्ये रूपांतर करते.

स्टीम टर्बाइनमध्ये स्टीम नोजलचा मुख्य वापर, उच्च वेगासह वाफेचे जेट तयार करणे आहे. नोजलच्या सर्वात लहान भागाला थ्रोट (throat)म्हणतात.

स्टीम नोजलचे अनुप्रयोग किंवा उपयोग (Applications)

(i) स्टीम आणि गॅस टर्बाइन

(ii) जेट इंजिन आणि रॉकेट मोटर्स

(iii) याचा उपयोग द्रवपदार्थाचा स्त्राव मोजण्यासाठी केला जातो. उदा. व्हेंच्युरिमीटर

(iv) बॉयलरला फीड वॉटर पंप करण्यासाठी इंजेक्टर करिता

(v) स्टीम जेट रेफ्रिजरेशन सिस्टम आणि स्प्रे पेंटिंग

नोजलचे प्रकार

a) कॉन्व्हेर्जेंट नोजल--- प्रवेशद्वारापासून बाहेर पडण्यासाठी क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र सतत कमी केले जाते

b) डायव्हर्जंट नोजल - क्रॉस-सेक्शनल एरिया प्रवेशद्वारापासून बाहेर पडण्यापर्यंत सतत वाढत आहे.

c) -कॉन्व्हेर्जेंट डायव्हर्जंट नोजल - नोजलचे क्रॉस-सेक्शनल क्षेत्र प्रथम सतत कमी होते आणि नंतर प्रवेशद्वारापर्यंत वाढते

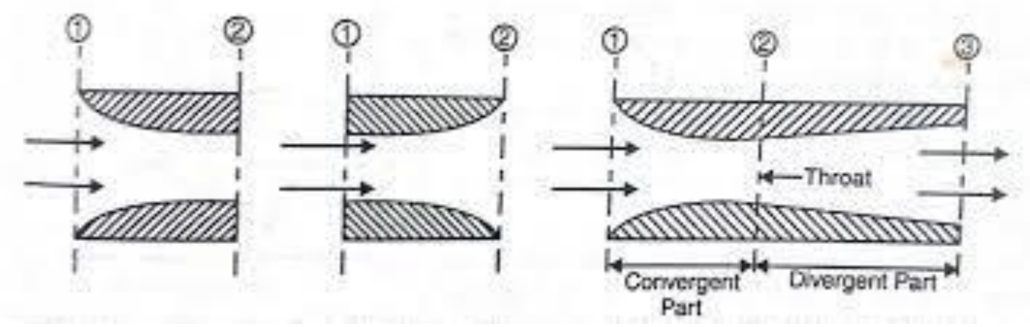


Fig. 3.2.1

Types of nozzles

टर्बाइनचे वर्गीकरण (Classification of Turbines) :

1. कामकाजाच्या तत्त्वानुसार (स्टीम ॲक्शनची पद्धत)
   (i) इंपल्स टर्बाइन (ii) प्रतिक्रिया टर्बाइन
2. वाफेच्या प्रवाहाच्या दिशेनुसार
   (i) अक्षीय प्रवाह (Axial flow) टर्बाइन
   (ii) रेडियल प्रवाह (Radial flow)टर्बाइन
3. वाफेच्या दाबानुसार
   a. उच्च दाब टर्बाइन
   b. मध्यम दाब टर्बाइन
   c. कमी दाब टर्बाइन
4. टप्प्यांच्या (stages)संख्येनुसार
   a. सिंगल स्टेज टर्बाइन
   b. मल्टी स्टेज टर्बाइन
5. स्टीमच्या एक्झॉस्ट स्थितीनुसार
   (i) कंडेनसिंग टर्बाइन (ii) नॉन-कंडेन्सिंग टर्बाइन
6. गव्हर्निंग पद्धतीनुसार
   a. थ्रॉटल गव्हर्निंगसह टर्बाइन
   b. नोजल गव्हर्निंगसह टर्बाइन
   c. बाय-पास गव्हर्निंगसह टर्बाइन

3.2.1 **इम्पल्स टर्बाइन (Simple Impulse turbine)**

साध्या इम्पल्स टर्बाइनला त्याच्या शोधकर्त्याच्या नावावरून डी-लेव्हल टर्बाइन म्हणतात. FIGURE 3.2.2 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे त्यात नोजलचा एक संच आणि हलत्या ब्लेडचा एक संच असतो. वाफेचा त्याच्या सुरुवातीच्या दाबापासून अंतिम दाबापर्यंत विस्तार नोझलच्या एका संचामध्ये होतो. नोझलमध्ये जास्त दाब कमी झाल्यामुळे नोजलमध्ये वाफेचा वेग वाढतो.

वाफ अतिशय उच्च गतीने नोजल सोडते आणि या उच्च वेगाने चाकावर बसवलेल्या ब्लेडवर आदळते. वाफ जेव्हा ब्लेड्सवर फिरते तेव्हा वाफेचा दाबतो स्थिर राहतो परंतु वेग कमी होतो.

कामाचे तत्व-

इम्पल्स टर्बाइनमध्ये, स्थिर नोजलमधून खूप जास्त वेगाने बाहेर पडणारी वाफ रोटरच्या परिघावर निश्चित केलेल्या ब्लेडवर आदळते. ब्लेड वाफेचा दाब न बदलता वाफेच्या प्रवाहाची दिशा बदलतात. संवेग बदलल्यामुळे येणारे बल टर्बाइन शाफ्टच्या फिरण्यास कारणीभूत ठरते.

इम्पल्स टर्बाइनची उदाहरणे डी-लावल, क्युटीज आणि रेट आहेत

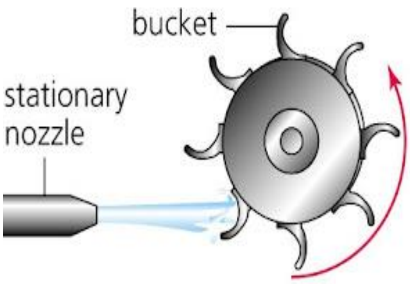


Fig.3.2.2

इम्पल्स टर्बाइनचे तत्व

इम्पल्स टर्बाइन ही एक टर्बाइन आहे जी स्टीम जेटच्या आवेगाने चालते. या टर्बाइनमध्ये प्रथम वाफेला नोजलमधून वाहून नेले जाते. नंतर स्टीम जेट टर्बाइनच्या ब्लेडवर आदळते (जे बादल्यासारखे वळलेले असतात आणि चाकाच्या परिघांवर बसवले असतात). इम्पिंगिंगनंतर स्टीम जेट ब्लेडच्या अवतल(concave) पृष्ठभागावर सरकते आणि शेवटी टर्बाइनसोडते. बादल्या(buckets) जेटच्या दिशेने जातात. ब्लेडची ही हालचाल रनर ला फिरवायला लावते. स्टीम जेटचा दाब नोजलमध्ये कमी होतो आणि फिरत्या ब्लेडमधून जात असताना स्थिर राहतो. वाफेचा वेग नोजलमध्ये वाढतो आणि हलत्या ब्लेडमधून जात असताना कमी होतो

अशा प्रकारच्या टर्बाइनचा वापर लहान वीज निर्मिती प्रकल्पासाठी केला जातो

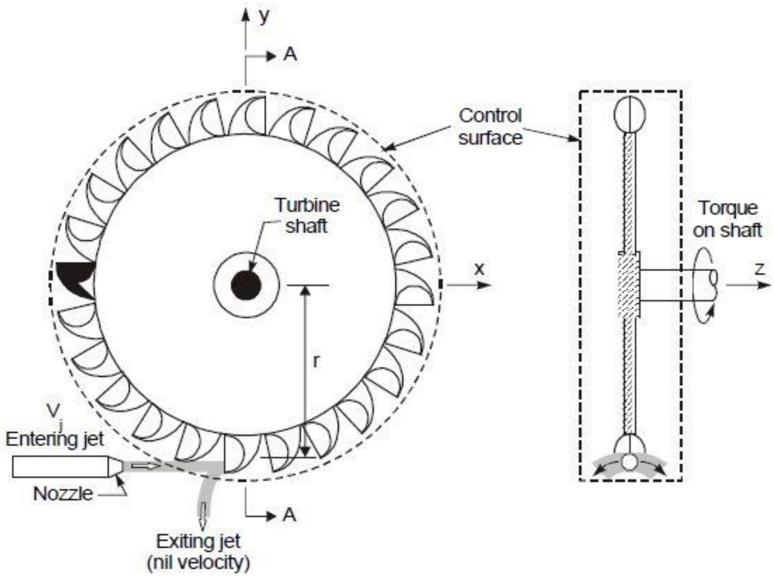


Fig 3.2.3 इम्पल्स टर्बाइनचे कार्य

3.2.2 रिॲक्टशन टर्बाइन (Reaction Turbine) :

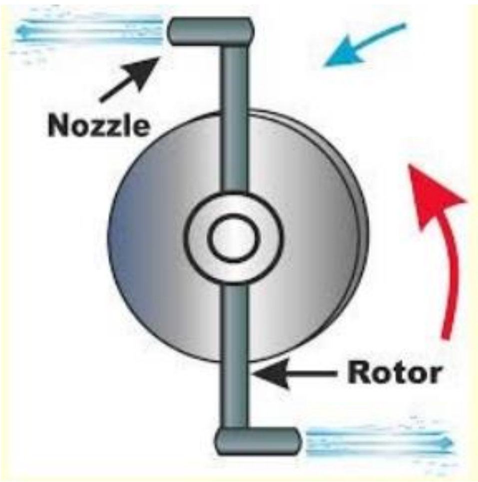


Fig.3..2.4
प्रतिक्रिया टर्बाइनचे तत्व

ज्या टर्बाइनमध्ये वाफेचा दाब फिरणाऱ्या ब्लेड्स तसेच स्थिर ब्लेड्समधून विस्तारत असताना हळूहळू कमी होतो त्याला प्रतिक्रिया टर्बाइन म्हणतात. यात मोठ्या संख्येने टप्पे असतात, प्रत्येक टप्प्यात स्थिर आणि फिरणारे ब्लेड असतात. उष्णतेचे प्रमाण स्थिर आणि हलणारे दोन्ही ब्लेडमध्ये कमी होते. प्रतिक्रिया(रिॲक्टशन) टर्बाइनमध्ये नोजल दिलेले नसतात . स्थिर ब्लेड हेच दोन्ही नोझलचे दोन्ही काम करतात ज्यामध्ये वाफेचा वेग वाढतो आणि वाफेला फिरत्या ब्लेडच्या रिंगमध्ये प्रवेश करण्यास निर्देशित करतो.
स्थिर आणि फिरणाऱ्या ब्लेडमध्ये दाब कमी होत असल्याने, सर्व ब्लेड नोजलच्या आकाराचे असतात. फिरणाऱ्या ब्लेडवरून वाफ जात असताना वाफेचा विस्तार होतो आणि त्यामुळे फिरणाऱ्या ब्लेडला प्रतिक्रिया मिळते. म्हणून टर्बाइनला प्रतिक्रिया टर्बाइन म्हणतात. स्थिर ब्लेड केसिंगला जोडलेले असतात तर फिरणारे ब्लेड रोटरसह निश्चित किंवा स्थिरकेले जातात. प्रत्येक टप्प्यात दाब कमी झाल्यामुळे, प्रतिक्रिया टर्बाइनमध्ये आवश्यक असलेल्या टप्प्यांची संख्या समान क्षमतेच्या आवेग टर्बाइनपेक्षा(इम्पल्स टर्बाइन) खूप जास्त असते.

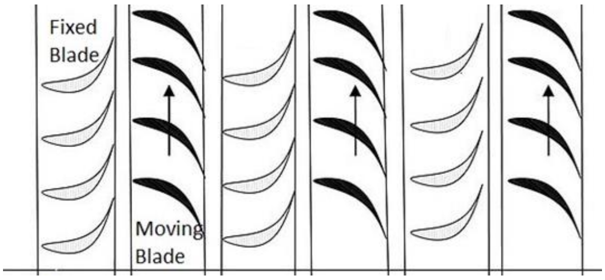


Fig. 3.2.5
रिॲक्टशन टर्बाइनचे कार्य

कंपाउंडिंगची गरज :
साध्या आवेग टर्बाइनच्या बाबतीत, वाफेचा विस्तार बॉयलर प्रेशरपासून कंडेन्सर प्रेशरपर्यंत एकाच टप्प्यात केला जातो. त्यामुळे रोटर्सचा वेग व्यावहारिक कारणांसाठी खूप जास्त होतो. वाफेच्या उच्च वेगाला फिरणाऱ्या ब्लेडच्या एका रांगेतून वाहू दिल्यास, ते सुमारे 30000 rpm ची रोटर गती निर्माण करते जी व्यावहारिक वापरासाठी खूप जास्त आहे. त्यामुळे व्यावहारिक वापरासाठी आणि उच्च कार्यक्षमता प्राप्त करण्यासाठी काही सुधारणा समाविष्ट करणे आवश्यक आहे.

एकापेक्षा जास्त नोझल्सचा संच, आणि रोटर्स यांची एक माळ , शाफ्टला जोडूनहे शक्य आहे, की जेणे करुण स्टीम प्रेशर किंवा स्टीम जेट व्हेलॉसिटी टर्बाइनद्वारे टप्प्याटप्प्याने शोषले जाईल किंवा कमी केली जाईल . याला टर्बाइनचे कंपाउंडिंग म्हणतात. रोटरचा वेग व्यावहारिक बनवण्यासाठी स्टीम टर्बाइनचे कंपाउंडिंग केले जाते

कंपाउंडिंग ही अशी पद्धत आहे ज्यामध्ये अनेक रोटर्सची प्रणाली एका सामान्य शाफ्टला मालिकेत जोडली जाते आणि स्टीम रोटरच्या ब्लेडवरुण वाहत असताना स्टीम प्रेशर किंवा जेट स्पीड टप्प्याटप्प्याने शोषला जातो

कंपाऊंडींग चे प्रकार

1. व्हेलॉसिटी कंपाउंडिंग
2. प्रेशर कंपाउंडिंग
3. व्हेलॉसिटी - प्रेशर कंपाउंडिंग

3.2.3 रिजनरेटिव्ह फीड हीटिंग (Regenerative feed heating)

पॉवर प्लांट मधील पाण्यापासून वाफ आणि वाफेपासून पाणि बनवण्याच्या चक्रा (Cycle)ची कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी रीजनरेटिव्ह फीड हीटिंग ही एक पद्धत आहे.

बॉयलरमधून कोरडी सॅच्युरेटेड स्टीम टर्बाइनमध्ये जास्त तापमानात प्रवेश करते आणि नंतर कमी तापमानात मध्यभागी विस्तारते आणि नंतर कंडेन्सरमध्ये प्रवेश करते. कंडेन्सरमधून कंडेन्सेट परत पंप केला जातो आणि वाफेच्या प्रवाहाच्या उलट दिशेने टर्बाइनभोवती फिरवला जातो. . अशा प्रकारे बॉयलरमध्ये प्रवेश करण्यापूर्वी कंडेन्सेट गरम केले जाते. अशा हीटिंगला रीजनरेटिव्ह फीड हीटिंग म्हणून ओळखले जाते.

प्रत्यक्ष व्यवहारात हे चक्र गाठणे अशक्य आहे. या प्रणालीमध्ये, टर्बाइनमधून वाफ एक किंवा अधिक बिंदूंवर काढून टाकली जाते आणि नंतर फीड वॉटर हीटरला दिली जाते .टर्बाइनमधून थोड्या प्रमाणात वाफ काढून टाकली जाते आणि फीड वॉटर हीटरमध्ये प्रवेश करते. उरलेली वाफ टर्बाइनमधून काढून कंडेन्सरला दिली जाते. टर्बाइनच्या क्षमतेनुसार हीटिंग व्यवस्थेमध्ये हीटर्सची संख्या असू शकते

रीजनरेटिव्ह फीड हिटिंग किंवा ब्लीडिंग करण्याचे फायदे :

1. हे कंडेनसरचा आकार कमी करते.
2. थर्मल कार्यक्षमता सुधारली जाते कारण उष्णता मिळवण्याचे सरासरी तापमान वाढलेले असते
3. बॉयलरमधील तापमान श्रेणी कमी झाल्यामुळे बॉयलरमध्ये बसवलेले थर्मल स्ट्रेस कमी होतात

रीजनरेटिव्ह फीड हिटिंग किंवा ब्लीडिंग करण्याचे तोटे :

1. प्रणाली अधिक क्लिष्ट होते.
2. हीटर्स जोडल्यामुळे जास्त देखभाल आवश्यक ठरते .
3. हीटर महाग आहेत त्यामुळे एकूण भांडवली खर्च वाढतो.

टर्बाइनची कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी ही एक पद्धत आहे. या प्रणालीमध्ये, वाफ ओली झाल्यावर टर्बाइनमधून काढली जाते. नंतर ती पुन्हा अतिउष्ण(superheated) अवस्थेत येईपर्यंत फ्ल्यू वायूंद्वारे सतत दाबाने पुन्हा गरम केली जाते. त्यानंतर ती टर्बाइनच्या पुढील टप्प्यावर परत केली जाते.

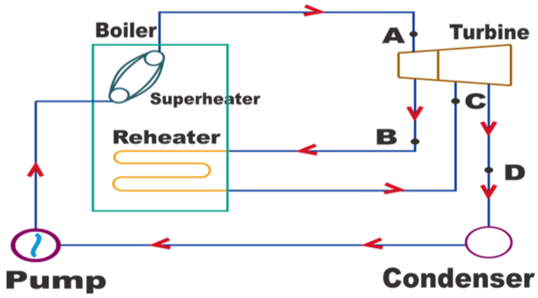


Fig.3.2.6
रीजनरेटिव्ह फीड हिटिंग

बिंदू A ला स्टीम अति तापलेल्या अवस्थेत टर्बाइनमध्ये प्रवेश करते. नंतर ते AB रेषेच्या बाजूने टर्बाइनद्वारे मध्यभागी विस्तारित केले जाते. बिंदू B वरील वाफ पुन्हा सुपरहिटर द्वारे स्थिर दाबाने पुन्हा गरम केली

जाते.आणि टर्बाइनमध्ये Cबिंदूवर प्रवेश करते ,C बिंदूवर वाफ पुन्हा अतिउष्ण (Superheated) अवस्थेत असते. नंतर कंडेन्सरचा दाब येईपर्यंत टर्बाइनद्वारे ते मध्यवर्ती पद्धतीने विस्तारित केले जाते..

Reheating करण्याचे फायदे

(i) हे टर्बाइनद्वारे होणारे काम वाढवते.

(ii) यामुळे टर्बाइनची कार्यक्षमता वाढते

(iii) टर्बाइनच्या कमी दाबाच्या टप्प्यात कमी आर्द्रतेमुळे ते ब्लेडची झीज कमी करते

3.3 स्टीम कंडेनसर

डाल्टनचा आंशिक दाबाचा नियम (हवा आणि वाफेचे मिश्रण)

त्यात असे म्हटले आहे की ‘हवा आणि वाफेच्या मिश्रणाचा दाब , प्रत्येक घटकाने स्वतःहून समान जागा व्यापल्यास प्रत्येक घटकांच्या दाबांच्या बेरजेइतका असतो.’

गणितीयदृष्ट्या,

Pc = Pa + Ps

जेथे, Pa = हवेचा आंशिक दाब,

Ps = वाफेचा आंशिक दाब

Pc =हवा आणि वाफेचे मिश्रण असलेल्या कंडेनसरमधील दाब

$$p_{\text{total}} = \sum_{i=1}^{n} p_i = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_n$$

जेथे P1, P2, P3 ....Pn प्रत्येक वायूचा आंशिक दाब (Partial pressure) दर्शवतो

स्टीम कंडेन्सर हे एक बंद भांडे आहे ज्यामध्ये इंजिन सिलेंडर किंवा टर्बाइनला ऊर्जा दिल्या नंतर वाफ आणल्या जाते आणि तिचे पाण्यांत रूपांतर केल्या जाते.

स्टीम कंडेन्सरची खालील दोन उद्दिष्टे/कार्ये आहेत:

a)प्राथमिक उद्दिष्ट -कमी दाब (वातावरणाच्या दाबाच्या खाली) राखणे हे आहे जेणेकरुन वाफेपासून जास्तीत जास्त संभाव्य ऊर्जा मिळवता येईल आणि त्यामुळे उच्च कार्यक्षमता सुरक्षित करता येईल.

b)दुय्यम उद्दिष्ट- गरम विहिरीला(हॉट वेल ला) शुद्ध पाणी पुरवठा करणे आहे जिथून ते बॉयलरला परत पंप केले जाते.

स्टीम कंडेनसरचे फायदे :

1. हे वाफेचे विस्तार गुणोत्तर(expansion ratio)वाढवते आणि त्यामुळे प्लॅंटची कार्यक्षमता वाढते.
2. यामुळे वाफेचा मागचा दाब कमी होतो आणि त्यामुळे जास्त ऊर्जा मिळू शकते.
3. हे एक्झॉस्ट स्टीमचे तापमान कमी करते, आणि त्यामुळे अधिक ऊर्जा मिळू शकते.
4. बॉयलरसाठी पाणी म्हणून कंडेन्सेटचा पुनर्वापर केल्याने वीज निर्मितीचा खर्च कमी होतो.
5. कंडेन्सेटचे तापमान फ्रेश पाण्यापेक्षा जास्त असते. त्यामुळे प्रति किलो वाफेवर पुरवल्या जाणाऱ्या उष्णतेचे प्रमाण कमी होते.

कंडेनसरचे वर्गीकरण :

स्टीम कंडेन्सरचे वर्गीकरण ज्या पद्धतीने स्टीम कंडेन्स केले जाते त्यानुसार दोन प्रकारांमध्ये केले जाते.

1. जेट कंडेन्सर्स(Jet condensers) किंवा मिक्सिंग टाईप कंडेनसर
2. सरफेस कंडेन्सर्स(Surface condenser) किंवा नॉन मिक्सिंग टाईप कंडेनसर

सरफेस कंडेन्सर्स किंवा नॉन मिक्सिंग टाईप कंडेनसर :

सरफेस कंडेन्सरमध्ये, एक्झॉस्ट स्टीम आणि थंड पाणी भौतिक संपर्कात येत नाहीत, उलट ते उष्णता हस्तांतरण भिंती द्वारे वेगळे केले जातात. त्यामुळे कंडेन्सेट शुद्ध राहते आणि पुन्हा वापरता येते. हे सामान्यपणे जेथे मोठ्या प्रमाणात निकृष्ट पाणी उपलब्ध असते आणि जेथे बॉयलरला चांगल्या दर्जाचे पाणी सर्वात आर्थिकदृष्ट्या वापरले जाणे आवश्यक असते तेथे वापरले जाते

सरफेस कंडेन्सरमध्ये नळ्यांनी पॅक केलेले एक आडवे कास्ट आयरन दंडगोलाकार भांडे असते, ज्यामधून थंड पाणी वाहते. कंडेन्सरचे टोक उभ्या छिद्रित प्रकारच्या प्लेट्सद्वारे कापले जातात ज्यामध्ये पाण्याच्या नळ्या निश्चित केल्या जातात. हे अशा प्रकारे केले जाते की सेन्ट्रल कंडेन्सिंग स्पेसमध्ये पाण्याची गळती रोखली जाते.

पाण्याच्या नळ्या वाफेसाठी मुख्य कंडेन्सिंग स्पेसमधून आडव्या जातात. स्टीम वरच्या बाजूने प्रवेश करते आणि तळाशी एक्स्ट्रक्शन पंपच्या सक्शनमुळे नळ्यांवरून खाली वाहण्यास भाग पाडले जाते. थंड पाणी नळ्यांच्या खालच्या अर्ध्या भागातून एका दिशेने वाहते आणि वरच्या अर्ध्या भागातून विरुद्ध दिशेने परत जाते

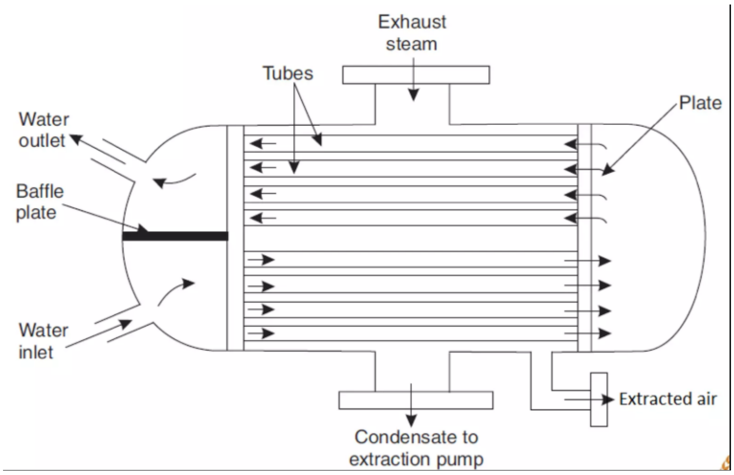


Fig. 3.3.2
सरफेस कंडेन्सर

3.3.1 कंडेन्सरमध्ये हवेच्या गळतीचे स्त्रोत(Sources of air leakage)

मुख्य स्त्रोत परिणाम खालील प्रमाणे आहेत ज्याद्वारे हवा कंडेन्सरमध्ये प्रवेश करू शकते:

अ. फीड वॉटरमधील विरघळलेली हवा बॉयलरमध्ये प्रवेश करते जी एक्झॉस्ट स्टीमसह कंडेन्सरमध्ये प्रवेश करते.

ब. कंडेन्सरमध्ये उच्च व्हॅक्यूम प्रेशरमुळे विविध सांध्यांमधून हवा कंडेन्सरमध्ये गळती होते.

क. जेट कंडेन्सरच्या बाबतीत, इंजेक्शनच्या पाण्यासह विरघळलेली हवा कंडेनसरमध्ये प्रवेश करते.

3.3.2 हवेच्या गळतीचे कन्डेन्सर वर परिणाम (Effect of air leakage in condenser) :

कंडेन्सिंग प्लांट्सच्या कार्यक्षमतेवर हवेच्या गळतीचे परिणाम खालील प्रमाणे आहेत:

अ हे कंडेन्सरमधील व्हॅक्यूम दाब कमी करते.

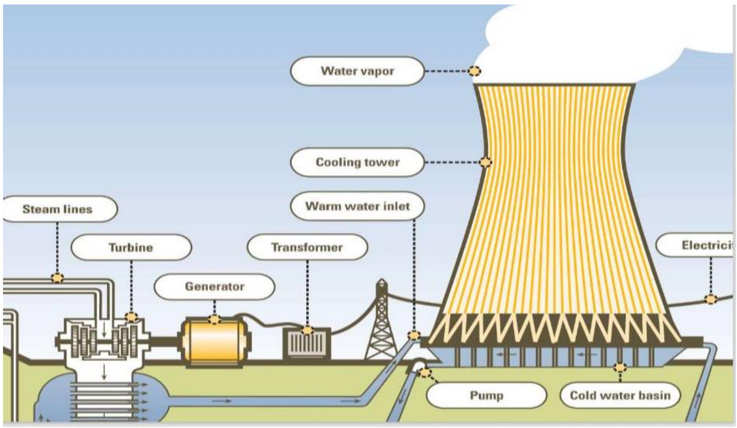
ब हवा ही खराब उष्णता वाहक असल्याने, विशेषत: कमी घनतेवर, ती उष्णता प्रसारित होण्याचा दर कमी करते.

क त्यासाठी मोठा हवा पंप लागतो. शिवाय, पंप चालविण्यासाठी वाढीव शक्ती आवश्यक आहे.

3.4 कूलिंग टॉवर्स

कूलिंग टॉवरचे कार्य म्हणजे कंडेन्सरमधून गरम पाणी वातावरणातील हवेच्या संपर्कात आणून थंड करणे, जेणेकरून थंड पाणी अभिसरणासाठी पुन्हा वापरता येईल. कूलिंग टॉवरचा वापर स्टीम पॉवर प्लांटमध्ये केला जातो जेथे थंड पाण्याचा मर्यादित पुरवठा असतो.

हे एका विशिष्ट उंचीवर (जमिनीच्या पातळीपासून सुमारे 9 मीटर अंतरावर) ठेवलेले आहे. गरम पाणी रेडियल स्प्रेमध्ये उंचावरून खाली पडते आणि टॉवरच्या पायथ्यापासून वातावरणातील हवा आत प्रवेश करते. पाण्याचे अंशत: बाष्पीभवन होते ज्यामुळे फिरणाऱ्या पाण्याचे तापमान कमी होते. हे थंड केलेले पाणी टॉवरच्या पायथ्याशी असलेल्या तलावात गोळा करून कंडेन्सरमध्ये टाकले जाते.



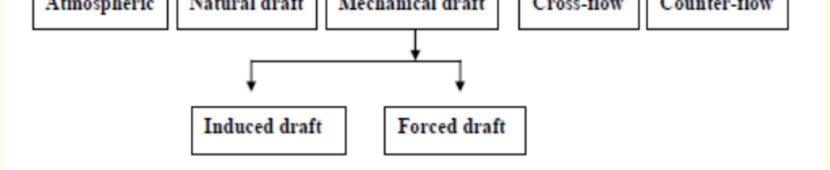
आकृति 3.4.1 पॉवर प्लांटमधील कुलिंग टॉवरचा लेआउट

कूलिंग टॉवर हे विशेष हिट एक्सचेंजर आहे ज्यामध्ये पाण्याचे तापमान कमी करण्यासाठी हवा आणि पाणी एकमेकांच्या थेट संपर्कात आणले जातात. हे थंड केलेले पाणी पुढे स्टीम कंडेन्सरमध्ये प्रसारित केले जाते .म्हणजे लवकरच, स्टीम कंडेन्सरसाठी थंड पाण्याची गरज कुलिंग टॉवरद्वारे पूर्ण केली जाते

कूलिंग टॉवर हा पॉवर प्लांटचा महत्त्वाचा भाग आहे. कूलिंग टॉवरचे मूलभूत कार्य तत्त्व म्हणजे वातावरणातील हवेच्या मदतीने गरम पाणी थंड करणे. वेगवेगळ्या अभियांत्रिकी क्षेत्रात आणि इतर रेफ्रिजरेशन प्लांटमध्ये हे मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते. थर्मल पॉवर प्लांटमधील कुलिंग टॉवरची उंची जमिनीच्या पातळीपासून सुमारे 9 फूट किंवा त्याहून अधिक आहे. कूलिंग टॉवरच्या पायथ्याशी तलाव नावाचे वॉटर स्टोअर युनिट ठेवलेले आहे. स्टीम पॉवर प्लांटमध्ये, कूलिंग टॉवर प्रथम कंडेन्सरमधून जमिनीच्या पातळीपासून विशिष्ट उंचीवर गरम पाणी गोळा करतो, त्यानंतर रेडियल स्प्रेद्वारे गरम पाणी खाली पडते. तुलनेने थंड वातावरणातील हवा टॉवरच्या तळाशी प्रवेश करते. आता कूलिंग टॉवरमधील गरम हवा वातावरणातील हवेत बाहेर पडते ज्यामुळे आंशिक बाष्पीभवनाने(पार्शल ईवोपोरेशन) गरम पाण्याचे तापमान कमी होते. हे थंड केलेले पाणी टॉवरच्या पायथ्याशी असलेल्या तलावात गोळा केले जाते आणि पुढील वापरासाठी कंडेन्सरमध्ये पंप केले जाते.

कूलिंग टॉवर्सचे वर्गीकरण:

कूलिंग टॉवर्सचे खालीलप्रमाणे वर्गीकरण केले आहे



कूलिंग टॉवर्सचे वर्गीकरण

1) नॅचरल ड्रॉट कुलिंग टॉवर (Natural draught cooling tower) : नॅचरल ड्रॉट कूलिंग टॉवर हा एक प्रकारचा थेट संपर्क कूलिंग टॉवर आहे जो हवेसाठी खुला असतो. ताज्या हवेच्या थेट संपर्कात येऊन सिस्टीममधील गरम पाणी थंड होण्यासाठी ते हीट एक्सचेंजरचे तत्त्व वापरते. कूलिंग टॉवरच्या पायथ्याशी तलाव नावाचे वॉटर स्टोअर युनिट ठेवलेले आहे. स्टीम पॉवर प्लांटमध्ये, कूलिंग टॉवर प्रथम कंडेन्सरमधून जमिनीच्या पातळीपासून विशिष्ट उंचीवर गरम पाणी गोळा करतो, त्यानंतर रेडियल स्प्रेद्वारे गरम पाणी खाली पडते. तुलनेने थंड वातावरणातील हवा टॉवरच्या तळाशी प्रवेश करते. आता कूलिंग टॉवरमधील गरम हवा वातावरणातील हवेत बाहेर पडते ज्यामुळे आंशिक बाष्पीभवनाने गरम पाण्याचे तापमान कमी होते. हे थंड केलेले पाणी टॉवरच्या पायथ्याशी असलेल्या तलावात गोळा केले जाते आणि पुढील वापरासाठी कंडेन्सरमध्ये पंप केले जाते.

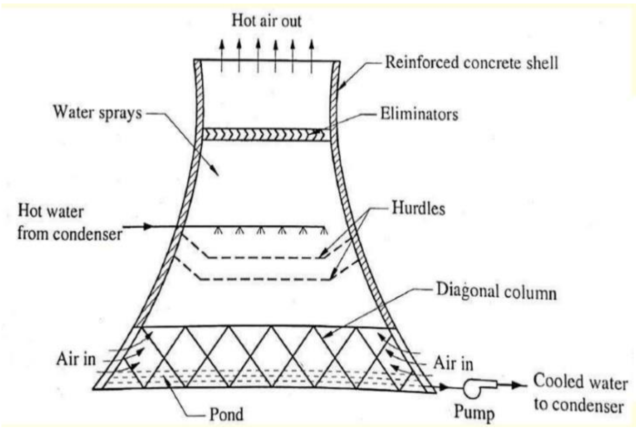


Fig. 3.12 नॅचरल ड्रॉट कुलिंग टॉवर

नॅचरल ड्रॉट कुलिंग टॉवर चे फायदे:

अ. पंखे आवश्यक नसल्यामुळे त्याचे ऑपरेटिंग आणि देखभाल खर्च कमी आहे.

ब . वारा नसतानाही ते कार्यक्षम ऑपरेशनची खात्री देणारा स्वतःचा मसुदा तयार करते.

क. अधिक आयुष्य.

नॅचरल ड्रॉट कुलिंग टॉवर चे तोटे :

अ .उच्च भांडवली खर्च

ब . हंगामी बदलानुसार कामगिरी बदल

2 फोर्स्ड ड्रॉट कूलिंग टॉवर :

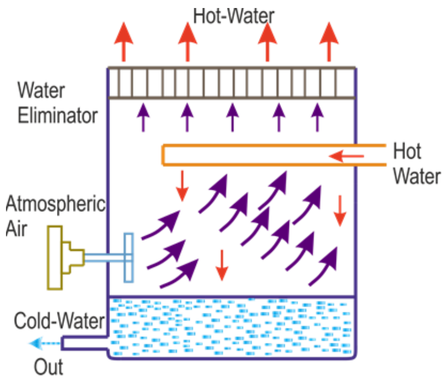


Fig .3.13 फोर्स्ड ड्रॉट कूलिंग टॉवर

2) फोर्स्ड ड्रॉट कूलिंग टॉवर (Forced draught cooling tower) : यामध्ये टॉवरच्या पायथ्याशी लावलेल्या पंख्यांच्या सहाय्याने हवेचे परिसंचरण निर्माण होते

फोर्स्ड ड्रॉट कूलिंग टॉवर चे फायदे:

a अधिक कार्यक्षम
b ब्लेड इरोझनची समस्या टाळली जाते
c पंखा जमिनीवर असतो त्यामुळे अधिक सुरक्षित
d यांत्रिक उपकरणे भक्कम पायावर ठेवल्यामुळे कंपन आणि आवाज कमी होतो.

फोर्स्ड ड्रॉट कूलिंग टॉवर चे तोटे :

a टॉवरच्या वरच्या भागातून बाहेर पडणाऱ्या गरम दमट हवेचे पुन: परिसंचरण(recirculation) होण्याची शक्यता
b पंख्याचा आकार 4 मीटरपर्यंत मर्यादित आहे
c थंड हवामानात पंख्याच्या ब्लेडवर बर्फ तयार होण्याची शक्यता

2) इंडयूज्ड कुलिंग टॉवर(indused cooling tower) - यामध्ये टॉवरच्या वरच्या बाजूला लावलेल्या पंख्याद्वारे हवेचे परिसंचरण निर्माण होते

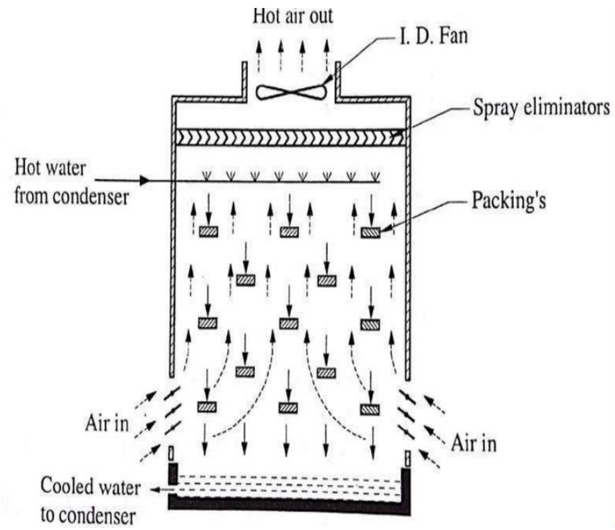


Fig. 3.14 इंडयूज्ड कुलिंग टॉवर

इंडयूज्ड कुलिंग टॉवर चे फायदे :

a उष्ण व आर्द्रता असलेलया हवेचे सर्कुलेशन करणे ही मोठी समस्या नाही.
b मोठा पंखा वापरता येतो.
c कमी झालेल्या पंप क्षमतेमुळे प्रथम किंमत कमी
d विस्तृत श्रेणीद्वारे थंड करण्यास सक्षम.

इंडयूज्ड कुलिंग टॉवर चे तोटे:

a प्रति मिनिट 15000 लिटर पाण्याच्या क्षमतेपर्यंत किफायतशीर नाही.
b सक्तीच्या ड्राफ्टच्या तुलनेत पंखे चालविण्यासाठी उच्च शक्तीची मोटर आवश्यक आहे.
c देखभाल खर्च जास्त आहे.
d फॅन बीयरिंग्स थंड करणे आवश्यक आहे

EXERCISE

TLO 3.1 स्टीम पॉवर प्लांटचा लेआउट काढा

Q.1 Draw the layout of steam power plant (U)

Q.2 Write the names of high pressure boilers (R)

Q.3 List the applications of boiler (A)

Q4. Classify the steam boiler (U)

TLO 3.2 स्टीम टर्बाइनचे रचना आणि कार्य स्पष्ट करा

Q.4 State the working principle of impulse turbine (R)

Q.5 State the need of compounding (R)

Q.6 Explain regenerative feed heating with neat sketch (U)

TLO 3.3 दिलेल्या परिस्थितीसाठी योग्य कारणा सह कंडेन्सर निवडा

Q.7 State the function of steam condenser. (R)

Q.8 List the sources of air leakage into the condenser (U)

Q.9 Explain construction and working of surface condenser with neat sketch. (U)

TLO 3.4 स्टीम बॉयलर, स्टीम टर्बाइन, स्टीम कंडेन्सर आणि कूलिंग टॉवरची प्रभावी देखभाल प्रक्रिया स्पष्ट करा

Q.10 Draw the sketch of Lamont boiler (A)

Q.11 List the application of nozzle (A)

Q12 State the necessity of compounding of turbines (U)

Unit 4 Heat Transfer and Heat Exchangers
उष्णता हस्तांतरण आणि उष्णता एक्सचेंजर्स

विषय निष्पत्ती 4:- दिलेल्या वापरासाठी योग्य हीट एक्सचेंजर निवडा.(Select proper heat exchanger for given application.)

घटक निष्पत्ती

TLO 4.1 हीट ट्रान्स्फर पद्धती स्पष्ट करा Explain modes of heat transfer.

TLO 4.2 स्लॅब आणि कंपोसिट वॉल मधून हीट ट्रान्स्फर ची गणना करा.(Calculate heat transfer by conduction through slab & composite walls.)

TLO 4.3 दिलेल्या वापरासाठी योग्य हीट एक्सचेंजर निवडा.(Select suitable heat exchanger for given application.)

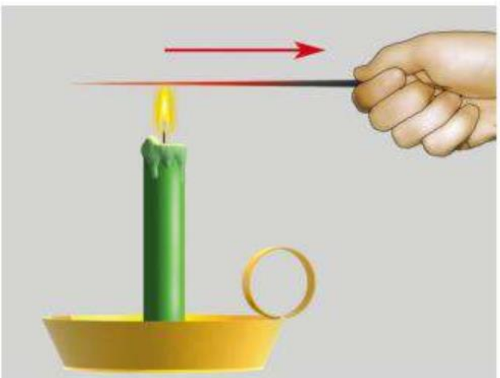
अ) कंडक्शन

ही एक सूक्ष्म घटना आहे. वहन घन, द्रव किंवा वायूमध्ये होऊ शकते. घन पदार्थामध्ये, तापमान कमी होण्याच्या दिशेने शरीराच्या एका कणातून दुसऱ्या कणात ऊर्जा हस्तांतरण होते. कण स्वतःच एकमेकांच्या सापेक्ष स्थिर स्थितीत राहतात. द्रव किंवा वायूमध्ये, ऊर्जेचे हस्तांतरण रेणूंच्या टक्कर आणि प्रसाराने होते. घन पदार्थांमध्ये ऊर्जेचे हस्तांतरण केवळ वहनाद्वारे होते तर द्रव आणि वायूंमध्ये ऊर्जा हस्तांतरणाच्या इतर पद्धती देखील शक्य आहेत.किंवा दुसऱ्या शब्दात, कण एकमेकांशी थेट संपर्कात राहून माध्यमाच्या एका कणातून दुसऱ्या कणात ऊर्जा प्रसारित करण्याची प्रक्रिया.

कंडक्शन उदाहरणे

खालील वहन उदाहरणे आहेत:

- कपड्यांना इस्त्री करणे हे कंडक्शन एक उदाहरण आहे जेथे इस्त्रीपासून कपड्यांपर्यंत उष्णता चालविली जाते.
- उष्णता हातातून बर्फाच्या तुकड्यामधे हस्तांतरित केली जाते परिणामी बर्फाचा घन हातात धरल्यावर वितळतो.
- समुद्रकिनाऱ्यांवरील वाळूतून उष्णता वहन. हे उन्हाळ्यात अनुभवता येते. वाळू ही उष्णतेची चांगली वाहक आहे.



Heat Transfer by Conduction

Figure 4.1.1 वहन द्वारे उष्णता हस्तांतरण

b) संवहन (convection)

संवहन ही एक मॅक्रोस्कोपिक घटना आहे. हे फक्त द्रवपदार्थांमध्ये उद्भवते. जेव्हा द्रव स्वतःपेक्षा भिन्न तापमानावर असलेल्या शरीरावर वाहतो तेव्हा उष्णता हस्तांतरण संवहनाने होते, उष्णता हस्तांतरणाची दिशा द्रवपदार्थ आणि पृष्ठभागाच्या तापमानावर अवलंबून असते. संवहनामध्ये, द्रव कण स्वतः हलतात आणि अशा प्रकारे उच्च तापमान

पातळीपासून कमी तापमान पातळीवर ऊर्जा वाहून नेतात. वेगवेगळ्या तापमानातील दोन द्रवपदार्थ एकत्र मिसळल्यास, संवहनाने उष्णता हस्तांतरण होते. किंवा दुसऱ्या शब्दात उच्च तापमानाच्या प्रदेशातून कमी तापमानाच्या प्रदेशात द्रव रेणूंची हालचाल.

संवहन उदाहरणे

संवहन उदाहरणांमध्ये हे समाविष्ट आहे:

• पाणी उकळणे जे रेणू आहेत ते तळाशी हलतात तर कमी दाट असलेले रेणू वरच्या दिशेने जातात परिणामी रेणूंची वर्तुळाकार हालचाल होते ज्यामुळे पाणी गरम होते.

• विषुववृत्ताभोवतीचे उबदार पाणी ध्रुवाकडे जाते तर ध्रुवावरील थंड पाणी विषुववृत्ताकडे जाते.

• उबदार रक्ताच्या प्राण्यांमध्ये रक्त परिसंचरण संवहनाच्या मदतीने होते, ज्यामुळे शरीराचे तापमान नियंत्रित होते.

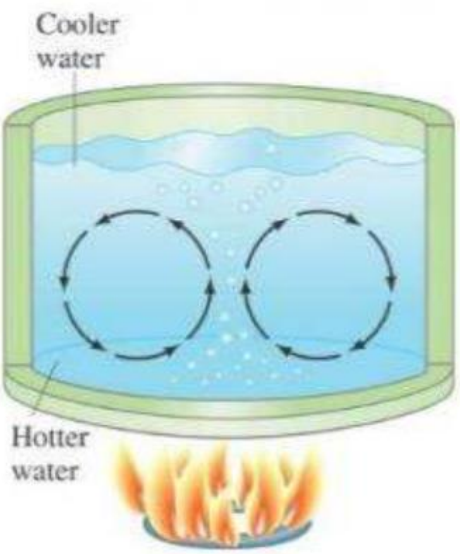


Figure 4.1.2 संवहन द्वारे उष्णता हस्तांतर

c) रेडिएशन- 0-degree K तापमानापेक्षा जास्त असलेले सर्व शरीर विकिरण उत्सर्जित करतात. ही मध्यस्थी माध्यमाला प्रभावित न करता एका सरळ रेषेत गरम शरीरातून थंड शरीरात उष्णता हस्तांतरणाची प्रक्रिया आहे. रेडिएशनला ऊर्जा हस्तांतरित करण्यासाठी कोणत्याही माध्यमाची आवश्यकता नसते.

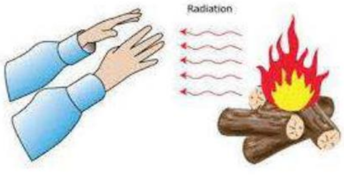
रेडिएशनचे उदाहरण

रेडिएशनची उदाहरणे खालीलप्रमाणे आहेत:

• ओव्हनमध्ये उत्सर्जित होणारे मायक्रोवेव्ह रेडिएशन हे रेडिएशनचे उदाहरण आहे.

• सूर्यापासून येणारे अतिनील किरण हे किरणोत्सर्गाचे उदाहरण आहे.

• थोरियम-२३४ मध्ये युरेनियम-२३८ च्या विघटनादरम्यान अल्फा कणांचे उत्सर्जन हे किरणोत्सर्गाचे उदाहरण आहे.



Heat Transfer by Radiation

Figure 4.1.3 रेडिएशनद्वारे उष्णता हस्तांतरण

4.1.4 प्रवाहाद्वारे उष्णता हस्तांतरण

फोरियरचा उष्णता वाहक नियम (Fourier's law of heat transfer)

हे उष्णता वाहकतेचे मूलभूत दर समीकरण आहे जे उष्णता हस्तांतरण दर आणि तापमान ग्रेडियंट यांच्यातील संबंध देते.

फ्युरियरचा नियम असे सांगतो की दिलेल्या दिशेने वहन करून उष्णतेच्या प्रवाहाचा दर हा उष्णतेच्या प्रवाहाच्या दिशेच्या सामान्य क्षेत्राच्या आणि त्या दिशेने तापमान ग्रेडियंटच्या प्रमाणात असतो.

$Q_x = -kA\frac{dT}{dx}$ W

Qx = एका युनिट वेळेत सकारात्मक X-दिशेमध्ये शरीरातून उष्णता हस्तांतरणाचा दर, W.

k = थर्मल कंडक्शन म्हणून ओळखले जाणारे प्रमाण स्थिरता, KJ/Mol K

A = उष्णता प्रवाहाचे पृष्ठभाग क्षेत्र जे उष्णता प्रवाहाच्या दिशेने काटकोन आहे, m^2.

= तापमान ग्रेडियंट.

dT = शरीराच्या दोन चेहऱ्यांवरील तापमानातील फरक, K.

dx = शरीराची जाडी ज्या दिशेला उष्णता प्रवाह, m.

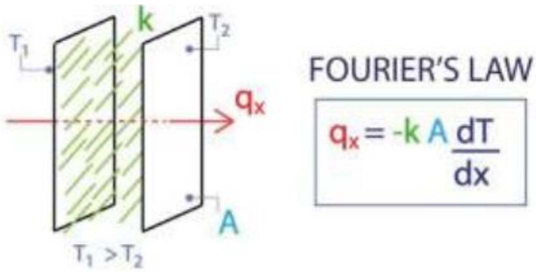


Figure 4.1.4

फोरियरचा उष्णता वहन नियम

स्लॅबद्वारे वहन करून उष्णता हस्तांतरण

एका ठोस स्लॅबचा विचार करा ज्याचा एक फेसेस वर जास्त तापमानावर (डावीकडे) आणि दुसरा कमी तापमानावर (उजवीकडे) असेल.

T1 = डाव्या तापमान (म्हणजे जास्त तापमान) K मध्ये,

T2 = उजव्या तापमान (म्हणजे कमी तापमान) K मध्ये,

x = स्लॅबची जाडी,

A = स्लॅबचे पृष्ठभाग क्षेत्रफळ,

k = थर्मल conductivity,

t = वेळ ज्याद्वारे उष्णता प्रवाह झाला आहे.

फोरियरचा उष्णता वहनाच्या नियमानुसार, स्लॅबमधून उष्णता प्रवाह (बाजूंकडून उष्णता कमी होत नाही असे गृहीत धरून),

$$Q_x = -kA\frac{dT}{dx},$$

$$Q_x = kA\frac{(T_1 - T_2)}{x} \times t,$$

Thermal Conductivity of Materials

The amount of heat flow through a body can be written as,

$Q_x = -kA\frac{dT}{dx}$, (Fourier's Law)

$Q_x = kA\frac{(T_1 - T_2)}{x} \times t$, (Fourier's law for slab)

If A=1 m^2, (T_1- T_2) = 1 K, t=1 sec and x = 1 m, then

Q_x= k,

औष्णिक चालकता हे जूलमधील उष्णतेचे प्रमाण म्हणून परिभाषित केले जाते जे 1 K तापमानाच्या फरकाने विरुद्ध राखले जातात तेव्हा सामग्रीच्या एक मीटर क्यूबमधून एका सेकंदात वाहते.

त्याचे युनिट किंवा आहे. औष्णिक चालकता सामग्रीची रचना (म्हणजे स्फटिक किंवा आकारहीन), सामग्रीची घनता, आर्द्रता, दाब आणि ऑपरेशनचे तापमान यावर अवलंबून असते.

T1, T3 = दोन बाह्य पृष्ठभागांचे तापमान,

T2 = जंक्शन पॉइंटवर तापमान आणि,

A= भिंतीचे पृष्ठभाग क्षेत्र.

तापमान ग्रेडियंट (Temperature Gradient)

उष्णतेच्या प्रवाहाचा दर असे लिहिता येईल,

$Q_x = kA\frac{(T_1 - T_2)}{x}$,

थर्मल रेसिस्टन्स **(Thermal Resistance)**

$Q_x = -kA\frac{dT}{dx}$, (Fourier's Law)

$Q_x = kA\frac{(T_1 - T_2)}{x}$, (Fourier's law for slab)

$$Q_x = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{x}{kA}} = \frac{\Delta T}{\frac{x}{kA}}$$

$$= \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{\text{Temperature difference}}{\text{Thermal Resistance}}$$

$R_{th} = \frac{x}{kA}$ = थर्मल रेसिस्टन्स

ओहोम्सचा नियम,

$I = \frac{V}{R}$, $R = \frac{V}{I}$

न्यूटनचा शीतकरणाचा नियम (Newtons Law of cooling)

न्यूटनच्या शीतकरणाच्या नियमानुसार, शरीरातील उष्णता कमी होण्याचे प्रमाण शरीराच्या आणि त्याच्या सभोवतालच्या तापमानातील फरकाच्या थेट प्रमाणात असते.

न्यूटनच्या कूलिंग नियमाचे महत्त्व (additional information)

न्यूटनचा थंड होण्याचा नियम स्पष्ट करतो की गरम वस्तू किती वेगाने थंड होऊ शकते. उदाहरणार्थ, पाईप्समध्ये गरम पाणी थंड होण्याचा दर न्यूटनच्या शीतकरणाच्या नियमाद्वारे स्पष्ट केला जाऊ शकतो.

न्यूटनच्या कूलिंग कायद्याच्या मर्यादा

- शरीर आणि सभोवतालच्या तापमानातील फरक कमी असणे आवश्यक आहे
- शरीरातील उष्णतेचे नुकसान केवळ किरणोत्सर्गामुळेच झाले पाहिजे
- न्यूटनच्या शीतकरणाच्या नियमाची प्रमुख मर्यादा म्हणजे शरीर थंड होत असताना सभोवतालचे तापमान स्थिर राहिले पाहिजे.

Tf तपमानावरील द्रवपदार्थ

Ts तापमानात राखलेल्या गरम पृष्ठभागावरून वाहणारा विचार करा. त्यानंतर, पृष्ठभागापासून द्रवपदार्थापर्यंत उष्णता हस्तांतरण दर न्यूटनच्या शीतकरणाच्या नियमाद्वारे दिला जातो,

$$Q=hA\,(T_s-T_f)$$

जेथे, Q= पृष्ठभागावरून द्रवपदार्थापर्यंत उष्णता हस्तांतरणाचा दर, W

h= संवहनासाठी उष्णता हस्तांतरण गुणांक, W/m^2K

A= द्रवपदार्थाच्या संपर्कात असलेले पृष्ठभाग क्षेत्र, m^2

T_s = पृष्ठभागाचे तापमान, °C

T_f = द्रव तापमान, °C

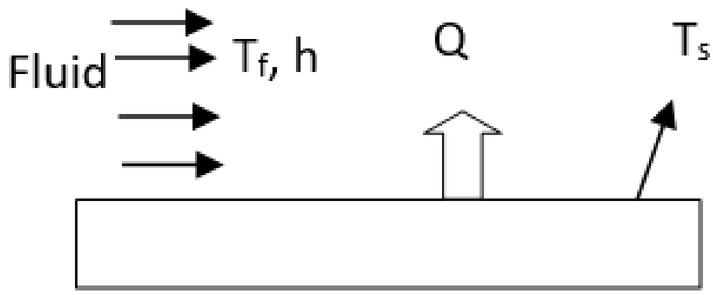


Figure 4.1.6
संवहन द्वारे उष्णता हस्तांतरण

संवहनाचे प्रकार (Types of convection)

संवहनाचे दोन प्रकार आहेत आणि ते आहेत:

- नैसर्गिक संवहन (Natural convection)

सक्तीचे संवहन (Forced convetion)

नैसर्गिक संवहन: जेव्हा तापमानातील फरकामुळे घनतेमध्ये फरक असल्याने उत्तेजक शक्तीमुळे संवहन होते तेव्हा त्याला नैसर्गिक संवहन म्हणतात.

नैसर्गिक संवहनाची उदाहरणे म्हणजे सागरी वारे.

सक्तीचे संवहन: जेव्हा बाह्य स्रोत जसे की पंखे आणि पंप प्रेरित संवहन तयार करण्यासाठी वापरले जातात तेव्हा त्याला सक्तीचे संवहन म्हणतात.

पाणी झटपट गरम करण्यासाठी वॉटर हीटर्स किंवा गीझर वापरणे आणि कडक उन्हाळ्याच्या दिवशी पंखा वापरणे ही सक्तीच्या संवहनाची उदाहरणे आहेत.

रेडिएशनद्वारे उष्णता हस्तांतरण (Heat Transfer By Radiation)

थर्मल रेडिएशन (Thermal radition)

एका शरीरातून दुसऱ्या शरीरात कोणत्याही प्रसारित माध्यमाशिवाय उष्णता हस्तांतरणास रेडिएशन उष्णता हस्तांतरण म्हणतात. उष्णता हस्तांतरणाची ही पद्धत इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रेडिएशनद्वारे आहे. इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरी प्रकाशाच्या वेगाने प्रवास करतात आणि सर्व तरंगलांबींवर रेडिएशन उत्सर्जित होते. 0.1 μm ते 100 μm या तरंगलांबीच्या श्रेणीमध्ये उत्सर्जित होणारे विकिरण थर्मल रेडिएशन म्हणून ओळखले जाते कारण या विशिष्ट श्रेणीतील किरणोत्सर्ग शरीराद्वारे शोषल्यावर उष्णतेमध्ये रूपांतरित होते.

शोषकता,absorptivity परावर्तकता reflectivity, ट्रान्समिसिव्हिटी tranasmisivity

शरीरावर पडणारी ऊर्जा अंशतः परावर्तित होते, अंशतः प्रसारित होते आणि अंशतः शोषली जाते. kahi ऊर्जा Qi शरीरावर पडत असेल, तर Qaशोषले जाते, Qr परावर्तित होते आणि Qt प्रसारित होते, तर उर्जा संतुलन मिळते,

$Qi=Qa+Qr+Qt$

Qi ने भागाकार करा

$1=\alpha+r+\tau$

जेथे α, r आणि τ अनुक्रमे पृष्ठभागाची शोषकता, परावर्तकता आणि ट्रान्समिसिव्हिटी म्हणून ओळखले जातात.

बहुतेक घन पदार्थांसाठी (काच, प्लास्टिक यांसारख्या पारदर्शक वस्तुवगळता)

$\tau= 0, \alpha+r=1$

जे शरीर सर्व घटनांचे किरणोत्सर्ग शोषून घेते त्याला 'ब्लॅक बॉडी' असे म्हणतात, मग त्याचा रंग काहीही असो.

$\tau= 0, r=0, \alpha=1$

जे शरीर सर्व घटनांचे प्रारण प्रसारित करते त्याला परिपूर्ण पारदर्शक शरीर म्हणतात.

$r=0, \alpha=0, \tau= 1,$

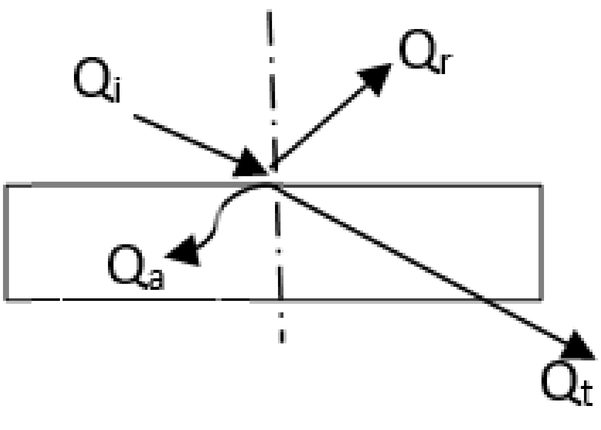


Figure 4.1.7
थर्मल शोषकता

शोषकता (Absorptivity)

शोषकता ही किति चांगल्या प्रकारे ऊर्जा शोषून घेते याचे मोजमाप आहे. हा सामग्रीद्वारे शोषलेल्या घटना किरणोत्सर्गाचा अंश आहे. शोषकता o आणि 1 मधील आकारहीन परिमाण म्हणून व्यक्त केली जाते, जेथे o शोषण नाही दर्शवते आणि 1 पूर्ण शोषण दर्शवते.

रिफ्लेक्टिविटी (Reflectivity)
रिफ्लेक्टिविटी ही ऊर्जा प्रतिबिंबित करण्याची सामग्रीची क्षमता आहे. हा घटक किरणोत्सर्गाचा अंश आहे जो सामग्रीद्वारे परावर्तित होतो. • गणितीय: परावर्तनही 0 आणि 1 मधील एक परिमाणहीन परिमाण आहे, ज्यात o कोणतेही प्रतिबिंब दर्शवत नाही आणि 1 पूर्ण प्रतिबिंब दर्शविते.

ट्रान्समिसिव्हिटी (Transmisivity)
ट्रान्समिसिव्हिटी ही उर्जा पार करण्याची परवानगी देणारी सामग्रीची क्षमता आहे. हा सामग्रीद्वारे प्रसारित होणारा घटना किरणोत्सर्गाचा अंश आहे. • गणितीयदृष्ट्या: शोषकता आणि परावर्तकता यांसारखी ट्रान्समिसिव्हिटी ही 0 आणि 1 मधील परिमाणहीन परिमाण आहे.

उत्सर्जनशीलता (Emissivity)
पृष्ठभागाची उत्सर्जनशीलता (ε) म्हणजे पृष्ठभागाद्वारे उत्सर्जित होणाऱ्या किरणोत्सर्गाचे गुणोत्तर आणि त्याच तापमानात ब्लॅक बॉडी उत्सर्जित होणाऱ्या किरणोत्सर्गाचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.
ε चे मूल्य 0 आणि 1 दरम्यान बदलते.
ब्लॅक बॉडी , ε = 1

ब्लॅक बॉडी
• ब्लॅक बॉडी जास्तीत जास्त ऊर्जा शोषून घेते, परंतु त्याच तापमानात इतर शरीराच्या तुलनेत जास्तीत जास्त ऊर्जा उत्सर्जित करते. म्हणून, वास्तविक शरीराच्या उष्णतेच्या किरणोत्सर्गाची तुलना काळ्या शरीरातील किरणोत्सर्गाशी केली जाते.
• परफेक्ट ब्लॅक बॉडी निसर्गात अस्तित्त्वात नाही परंतु ते अगदी लहान छिद्राने तयार झालेल्या गोलाकार पोकळीद्वारे आणि काळ्या रंगाने लेपित गोलाच्या आतील पृष्ठभागाद्वारे अगदी अचूकपणे अंदाजे केले जाऊ शकते जे जवळजवळ 95% ऊर्जा शोषून घेते.
• पोकळीत प्रवेश करणारी घटना किरण पोकळीच्या आत अनेक वेळा परावर्तित होते आणि पूर्णपणे शोषली जाते.
• प्रत्येक प्रतिबिंबासह, 95% घटना ऊर्जा शोषली जाते; म्हणून या व्यवस्थेमुळे व्यावहारिकदृष्ट्या सर्व घटना ऊर्जा शोषली जाते

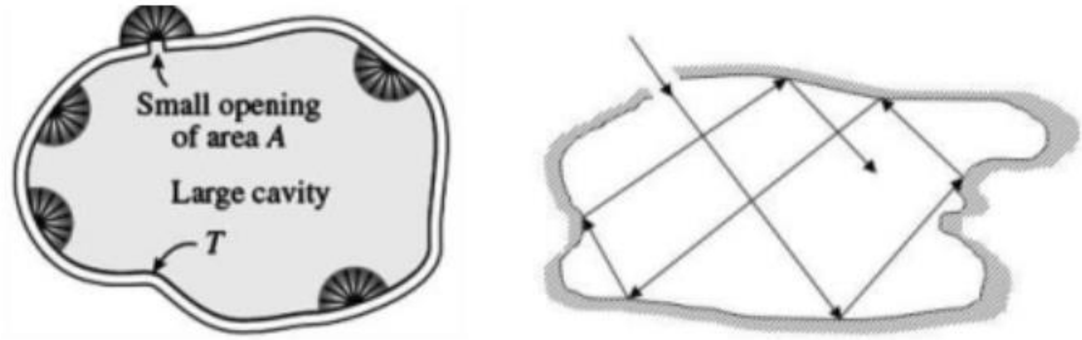


Figure 4.1.8
ब्लॅक बॉडी

ग्रे बॉडी

•जर एखादी बॉडी त्यांच्या तरंगलांबीकडे दुर्लक्ष करून घटना किरणोत्सर्गाची निश्चित टक्केवारी शोषून घेते, तर शरीराला राखाडी शरीर म्हणून ओळखले जाते.

• ग्रे बोडी α, 0 आणि १ च्या दरम्यान असतो.

स्टीफन-बोल्टझमन कायदा (Stephen Botzman's law)

• संपूर्ण तरंगलांबी स्पेक्ट्रमवरील ब्लॅक बॉडी एकूण उत्सर्जित शक्ती एकत्रित करून प्राप्त होते, Ebʎ. एकूण उत्सर्जित शक्ती Eb द्वारे दर्शविली जाते आणि द्वारे दिली जाते

$$E_b = \frac{C_1 T^4}{C_2^4} \times 6\left(\frac{\pi^4}{90}\right)$$

$E_b = 5.67 * 10^{-8}\, T^4$

$E_b \;\alpha\; T^4$

$E_b = \sigma\, T^4$

Where $\sigma = 5.67 * 10^{-8}$ स्टीफन बोल्टझमन स्थिरांक (Stefan Boltzmann constant)

Problems:

1 A wall of refrigerated van of 1.5 mm of steel sheet at outer surface, 10 mm plywood at the inner surface and 2 cm of glass wood in between. Calculate the rate of heat flow if the temperatures at the inside and outside surfaces are -15 °C and 24°C. Take K (for steel) = 23.2 W/mK, K (for glass wool) = 0.14 W/mK, K (for plywood) = 0.052 W/mK.

Given

L_1= 10 mm, L_2= 20 mm, L_3= 1.5 mm

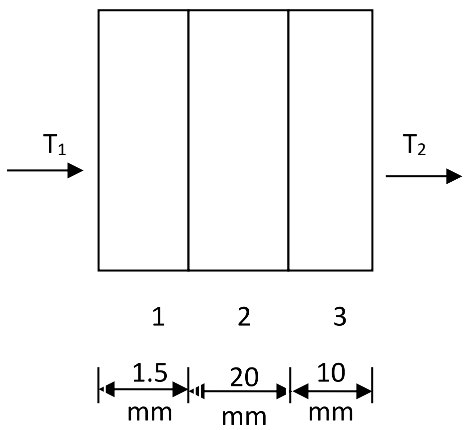
T_1= -15°C= 273-15 = 258 K

T_2= 24°C= 273+24 = 297 K

K_3 (for steel) = 23.2 W/mK,

K_2 (for glass wool) = 0.14 W/mK,

K_1 (for plywood) = 0.052 W/mK.



Find: $\frac{Q}{A}$

Solution:

$$\frac{Q}{A} = \frac{(T_1 - T_2)}{\left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}\right)} = \frac{(258 - 297)}{\left(\frac{0.01}{0.052} + \frac{0.02}{0.14} + \frac{0.0015}{23.2}\right)}$$

$= -116.42\ W/m^2$

The –ve sign indicates that heat flow from outside to inside.

Solution:

$$Q= \frac{2\pi lk(T_1-T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = \frac{2\pi\times1.5\times24(423-313)}{\ln\left(\frac{0.04}{0.03}\right)}$$

Q = 86482.099 W

2. Determine the rate of heat transfer through a composite wall made of 25 mm thick steel plate and covered with an insulating material of 7 mm thick on one side. Thermal conductivity of steel and insulating material is 58 W/mK and 0.116 W/mK respectively. The temperatures at the inner and outer surfaces of the wall are 280°C and 40°C respectively.

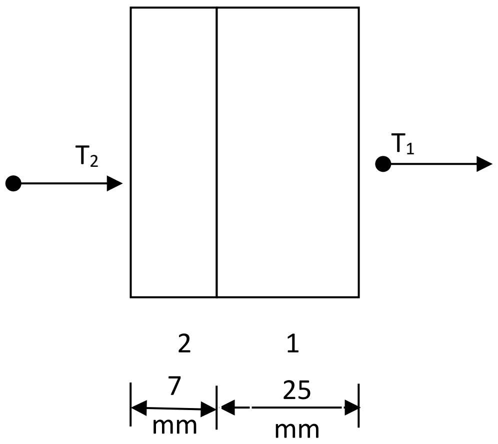
Given

L_1= 7 mm= 0.007 m, L_2= 25 mm=

K_1 steel = 58 W/mK, K_2 insulating material= 0.116 W/mK

T_1= 280°C= 273+280= 553K

T_2= 40°C= 273+40= 313K



Find: $\frac{Q}{A}$

$$\frac{Q}{A} = \frac{(T_1-T_2)}{\left(\frac{L_1}{k_1}+\frac{L_2}{k_2}\right)} = \frac{(553-313)}{\left(\frac{0.007}{0.116}+\frac{0.025}{58}\right)}$$

= 3948.37 W/m^2

3 Determine the rate of heat flow through the boiler wall made of 3 cm thick steel and covered with an insulation material of 0.5 cm thick. The temperature of wall inside boiler is 300°C ad temperature on the outer surface is 50°C. Assume K for steel = 60 W/mK, K for insulation= 60 W/mK.

Given

L_1= 3 cm = 0.03 m

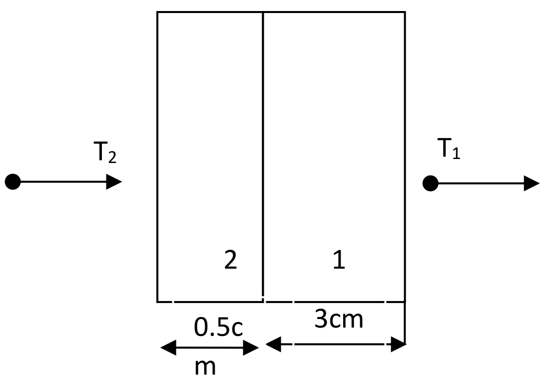
L_2= 0.5 cm = 0.005 m

T_1= 300°C = 273+300 = 573K

T_2= 50°C = 273+50 = 323K

K_1 steel =60 W/mK, K_2 lagging= 60 W/mK

Find: $\frac{Q}{A}$



$$\frac{Q}{A}=\frac{(T_1-T_2)}{\left(\frac{L_1}{k_1}+\frac{L_2}{k_2}\right)}=\frac{(573-323)}{\left(\frac{0.03}{60}+\frac{0.005}{60}\right)}$$

$=428595.92\ W/m^2$

4.2 **हीट एक्सचेंजर्स (Heat Exhangers)**

उष्णता एक्सचेंजरचे कार्य ऊर्जा हस्तांतरित करणे आहे; ऊर्जेचे हे हस्तांतरण एका द्रवपदार्थात (जसे की बॉयलरच्या बाबतीत जेथे उष्णता पाण्यात हस्तांतरित केली जाते) किंवा भिन्न तापमानात असलेल्या दोन द्रवांमध्ये (जसे ऑटोमोबाईल रेडिएटरच्या बाबतीत जेथे गरम पाण्यातून उष्णता हस्तांतरित केली जाते. हवा करण्यासाठी). काही प्रकरणांमध्ये, उष्मा एक्सचेंजरमध्ये उष्णतेची देवाणघेवाण करणारे द्रवपदार्थांचे दोन पेक्षा जास्त प्रवाह असतात.

उपयोगिता(application)

1. थर्मल पॉवर प्लांट (बॉयलर, सुपरहीटर्स, स्टीम कंडेन्सर इ.)
2. रेफ्रिजरेशन आणि वातानुकूलन (बाष्पीभवक, कंडेन्सर, कूलर)
3. ऑटोमोबाईल उद्योग (रेडिएटर्स, सर्व इंजिन कूलिंग आणि इंधन कूलिंग व्यवस्था)
4. रासायनिक प्रक्रिया उद्योग (विविध प्रकारच्या द्रवांमध्ये, ज्वलन करणारे आणि अणुभट्ट्यांमधील उष्णता एक्सचेंजर्सचे प्रकार)
5. क्रायोजेनिक उद्योग (डिस्टिलेशन कॉलममध्ये वापरण्यात येणारे कंडेन्सर-बॉयलर, क्रायोजेनिक द्रवपदार्थांपासून वायू तयार करण्यासाठी बाष्पीभवक इ.)
6. संशोधन (स्टर्लिंग इंजिन इ. मध्ये वापरले जाणारे रीजनरेटर)

उष्णता एक्सचेंजर्सचे वर्गीकरण (classification of heat exchangers)

हीट एक्सचेंजर्सचे खालिल पद्धतीने वर्गीकरण केले जाऊ शकते:

1. उष्णता विनिमय प्रक्रियेनुसार
2. गरम आणि थंड द्रव्यांच्या प्रवाहाच्या सापेक्ष दिशेनुसार
3. बांधकाम वैशिष्ट्यांनुसार
4. हीट एक्सचेंजरमधील द्रवपदार्थाच्या स्थितीनुसार.

1. 1. उष्णता विनिमय प्रक्रियेनुसार हीट एक्सचेंजर्सचे असू शकतात (**According to heat exchange process)**

a थेट संपर्क प्रकार (**Direct contact type**)

यामध्ये दोन अविचल द्रव एकमेकांच्या संपर्कात येतात आणि उष्णतेची देवाणघेवाण करतात. उदा. कूलिंग टॉवरमध्ये उष्णतेची देवाणघेवाण करणारे हवा आणि पाणी.

b अप्रत्यक्ष संपर्क प्रकार (Indirect contact type)

त्यांचे पुढे Recuperators आणि Regenerators असे वर्गीकरण केले जाते

रिक्युपरेटर्समध्ये, गरम आणि थंड द्रव एका घन भिंतीद्वारे एकमेकांपासून वेगळे केले जातात आणि उष्णता एका द्रवातून दुसऱ्या भिंतीवर हस्तांतरित केली जाते.

रीजनरेटर्समध्ये, गरम आणि थंड प्रवाह वैकल्पिकरित्या घन मॅट्रिक्समधून वाहतात; 'हॉट ब्लो' दरम्यान, मॅट्रिक्स गरम प्रवाहाने सोडलेली उष्णता साठवते आणि 'कोल्ड ब्लो' दरम्यान, घन मॅट्रिक्सद्वारे संचयित उष्णता थंड प्रवाहात सोडली जाते.

2. गरम आणि थंड द्रव्यांच्या प्रवाहाच्या सापेक्ष दिशेनुसार (According to relative direction of flow of hot and cold fluids)

a. समांतर प्रवाह (Parallel Flow)

जर गरम आणि थंड द्रव एकमेकांना समांतर वाहत असतील तर त्याला समांतर प्रवाह उष्णता एक्सचेंजर्स म्हणतात.

B काउंटर फ्लो (Counter flow)- जर गरम आणि थंड द्रव एकमेकांच्या विरुद्ध दिशेने वाहत असतील तर त्याला काउंटर फ्लो हीट एक्सचेंजर्स म्हणतात.

c क्रॉस फ्लो (cross flow) -जर गरम आणि थंड द्रव एकमेकांना लंबवत वाहत असतील तर त्याला क्रॉस फ्लो हीट एक्सचेंजर असे म्हणतात.

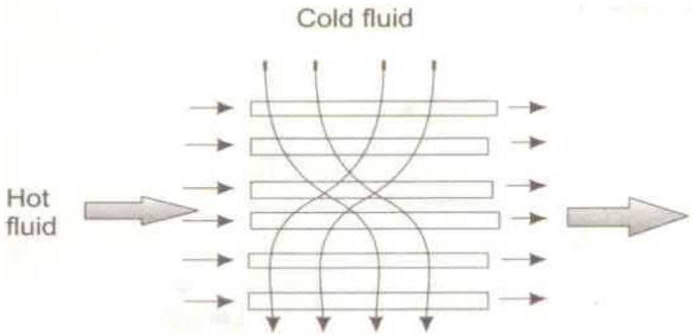


Figure 4.2.3
क्रॉस फ्लो हीट एक्सचेंजर

3. रचनेनुसार हीट एक्सचेंजर तीन प्रकारचे असतात (**According to constructional features**)

a. एकाग्र ट्यूब प्रकार (Concentric Tube type)

समकेंद्रित नळीच्या उष्मा एक्सचेंजरमध्ये, एक नळी दुसऱ्या आत असते, एक द्रव आतल्या नळीतून वाहतो आणि दुसरा द्रव ट्यूबमधील कंकणाकृती जागेत वाहतो. द्रव एकमेकांना समांतर वाहू शकतात किंवा ते विरुद्ध दिशेने वाहू शकतात

b शेल आणि ट्यूब प्रकार (shell and tube)

या प्रकारच्या उष्मा एक्सचेंजरमध्ये, एक द्रव शेलमध्ये ठेवलेल्या ट्यूबच्या बंडलमध्ये वाहतो. इतर द्रव नलिकांच्या पृष्ठभागावर शेलमधून वाहते. शेल फ्लुइड दिशा बदलण्यासाठी आणि चांगली अशांतता प्रदान करण्यासाठी शेलमध्ये योग्य बाफल्स प्रदान केले जातात जेणेकरून उष्णता हस्तांतरण गुणांक वाढेल.

वरील Figure दोन ट्यूब पास आणि एक शेल पास हीट एक्सचेंजर दर्शवते. प्रवाह ट्यूबमधून दोनदा विरुद्ध दिशेने जातो आणि शेल द्रव एकदा शेलमधून जातो.

Application

1) अन्न उद्योगात (In food industry)
2) कापड उद्योग (In textile industy)

3) हीटिंग वेंटिलेशन आणि वातानुकूलन प्रणाली उद्योग (In HVAC industry)
4) सौर वॉटर हीटर (Solar water heater)
5) पेट्रोलियम आणि रासायनिक उद्योग (In petroleum and chemical industry)
6) फार्मास्युटिकल उद्योग (In pharmaceutical industry)
7) एनर्जी आणि पॉवर इंडस्ट्री (In energy and power industry)

c कॉम्पॅक्ट हीट एक्सचेंजर्स (Compact type heat exchangers)

कॉम्पॅक्ट प्रकारचे हीट एक्सचेंजर्स खूप उच्च पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ प्रति घनमीटर खंड प्रदान करतात. ते वायूंसाठी वापरले जातात, कारण सामान्यतः गॅस साइड उष्णता हस्तांतरण गुणांक लहान असतो आणि म्हणून, ते मोठे क्षेत्र प्रदान करणे आवश्यक आहे. कॉम्पॅक्ट हीट एक्सचेंजर्स प्लेट-फिन प्रकारचे किंवा ट्यूब फिन प्रकारचे असतात.

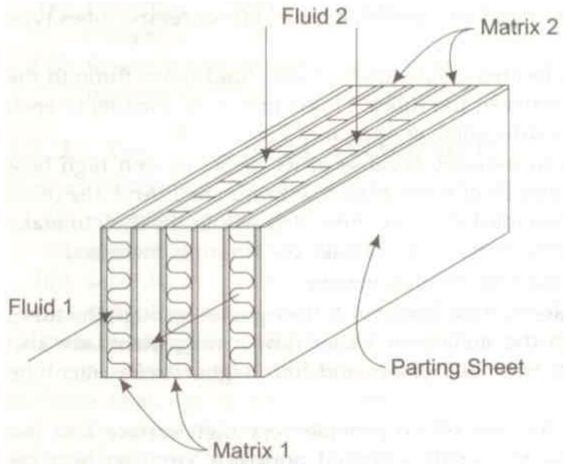


Figure 4.2.3 प्लेट फिन प्रकार हीट एक्सचेंजर

4. हीट एक्सचेंजरमधील द्रवपदार्थाच्या स्थितीनुसार (According to the state of the fluid in the heat exchanger)

या प्रकारच्या उष्मा एक्सचेंजरमध्ये, एक द्रव स्थिर तापमानावर घनरूप होतो कारण तो उष्णता एक्सचेंजरच्या संपूर्ण लांबीमध्ये जातो, तर इतर (थंड) द्रव उष्मा एक्सचेंजरमधून जात असताना तापमानात वाढ होते आणि सोडलेल्या संक्षेपणाची सुप्त उष्णता शोषून घेते. कंडेनसिंग द्रवाद्वारे. अशा उष्मा एक्सचेंजरला कंडेनसर म्हणतात. जर दुसरीकडे, उष्मा एक्सचेंजरमध्ये द्रवपदार्थांपैकी एक द्रव उष्मा एक्सचेंजरच्या संपूर्ण लांबीमध्ये स्थिर तापमानात बाष्पीभवन करत असेल तर बाष्पीभवन द्रवपदार्थाला बाष्पीभवनाची सुप्त उष्णता पुरवणाऱ्या इतर द्रवपदार्थाचे तापमान त्याच्या लांबीसह कमी होत जाते. उष्णता विनिमयकार. अशा उष्मा एक्सचेंजरला बाष्पीभवन म्हणतात. या दोन्ही हीट एक्सचेंजर्सना मल्टी फेज हीट एक्सचेंजर्स म्हणतात

प्लेट प्रकार हीट एक्सचेंजरचा वापर (Application of plate type heat exchanger)

1) अन्न उद्योगात (In food industry)
2) कापड उद्योग (In textile industy)
3) अन्न आणि पेय उद्योग (In food and beverages industry)

Exercise

TLO 4.1 Explain modes of heat transfer.

1. Write various modes of heat transfer. State what is necessary for heat to be flow in each case. Give one example for each mode. (U)
2. Define Fourier law of Thermal Conduction. (R)

3. Define thermal conductivity. Give its unit. (R)
4. State Stefan Boltzmann law. (R)
5. Define a perfect black body. By considering a body explain the terms- absorptivity, Transmissivity and reflectivity. Define emissivity. (R)
6. Differentiate between forced convection and natural convection related to heat transfer. (U)
7. Define Newton's Law of cooling. (U)

TLO 4.3 Select suitable heat exchanger for given application.

8. Classify heat exchangers. (U)
9. Explain working of shell and tube type heat exchanger with a neat sketch. (R)
10. State function of heat exchanger. (U)
11. A heat exchanger is to be selected for pasteurization of milk. Which type of heat exchanger should be selected? Justify your answer. (A)
12. Sate the applications of heat exchangers. (A)

TLO 4.2 Calculate heat transfer by conduction through slab & composite walls.

Problems:

1. A wall of refrigerated van of 1.5 mm of steel sheet at outer surface, 10 mm plywood at the inner surface and 2 cm of glass wood in between. Calculate the rate of heat flow if the temperatures at the inside and outside surfaces are -15 °C and 24°C. Take K (for steel) = 23.2 W/mK, K (for glass wool) = 0.14 W/mK, K (for plywood) = 0.052 W/mK.
2. Determine the rate of heat transfer through a composite wall made of 25 mm thick steel plate and covered with an insulating material of 7 mm thick on one side. Thermal conductivity of steel and insulating material is 58 W/mK and 0.116 W/mK respectively. The temperatures at the inner and outer surfaces of the wall are 280°C and 40°C respectively.
3. Determine the rate of heat flow through the boiler wall made of 3 cm thick steel and covered with an insulation material of 0.5 cm thick. The temperature of wall inside boiler is 300°C ad temperature on the outer surface is 50°C. Assume K for steel = 60 W/mK, K for insulation= 60 W/mK.
4. A composite wall is formed of 2 cm copper plate, 4 mm layer of asbestos and 4.8 cm of fiber glass. The wall (from surface to surface) is subjected to temperature difference of 400°C. Considering heat flow in one direction, from surface to surface, Calculate heat flow per m^2 area of wall. Take K copper= 370 W/m°C, K asbestos= 150 W/m°C, K fiber glass = 74 W/m°C.

Unit 5 Introduction to I.C. Engine & Power Cycles
I.C. इंजिन चा परिचय आणि पॉवर सायकल

विषय निष्पत्ती: आय.सी. इंजिनचे वेगवेगळे घटक ओळखा.(Identify different components of an I.C. Engine)

घटक निष्पत्ती

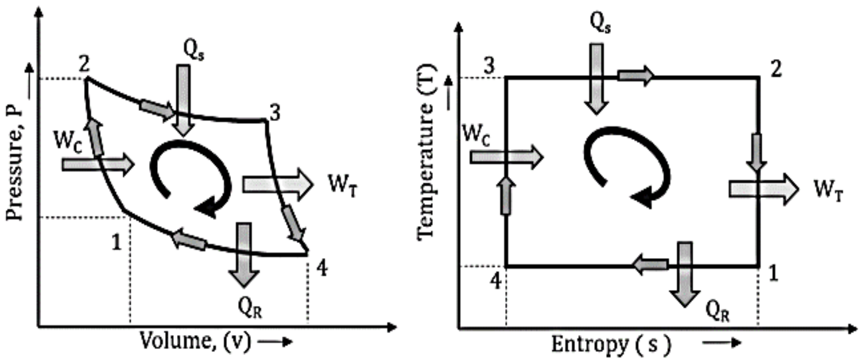
TLO 5.1: P-V आणि T-S आकृतीवर एअर स्टॅंडर्ड सायकल दर्शवा.(Represent various air standard cycles on P-V and T-S diagram)

TLO 5.2: आय.सी. इंजिनचे वर्गीकरण करा (Classify I.C. Engines)

TLO 5.3: टू स्ट्रोक आणि फोर स्ट्रोक आय.सी. इंजिनची रचना आणि कार्य स्पष्ट करा.(Explain construction and working of Two Strokes & four strokes I.C. Engine.)

5.1 पॉवर सायकल: या चक्राचे चार टप्पे आहेत: सक्शन, कॉम्प्रेशन, विस्तार आणि एक्झॉस्ट. पॉवर निर्माण करण्यासाठी आणि रासायनिक ऊर्जेचे यांत्रिक उर्जेमध्ये रूपांतर करण्यासाठी या चार टप्प्यांची पुनरावृत्ती होते. सोप्या भाषेत, तुमच्या कारला पॉवर देणाऱ्या गॅसोलीनचे उर्जेमध्ये रूपांतर करण्यासाठी इंजिन चार प्रक्रिया टप्पे वापरतात.

A. **कार्नोट सायकल:** कार्नोट इंजिन हे एक सैद्धांतिक इंजिन आहे जे कार्नोट सायकलवर चालते. निकोलस लिओनार्ड सॅडी कार्नोट यांनी 1824 मध्ये या इंजिनसाठी मूलभूत मॉडेल विकसित केले. कार्नोट इंजिन हे लिओनार्ड कार्नोट यांनी प्रस्तावित केलेले सैद्धांतिक थर्मोडायनामिक चक्र आहे. उष्णतेचे कामात रुपांतरण प्रक्रियेदरम्यान आणि त्याउलट, दोन जलाशयांमध्ये काम करताना उष्णतेच्या इंजिनची जास्तीत जास्त संभाव्य कार्यक्षमतेचा अंदाज आहे.



पीव्ही आणि टीएस वर कार्नोट सायकल

Figure 5.1.1

कार्नोट सायकलमध्ये चार प्रक्रिया असतात:

प्रक्रिया 1-2: उलट करता येण्याजोग्या आयसेंट्रोपिक कॉम्प्रेशन प्रक्रिया.

प्रक्रिया 2-3: उलट करता येणारी समतापीय उष्णता जोडण्याची प्रक्रिया.

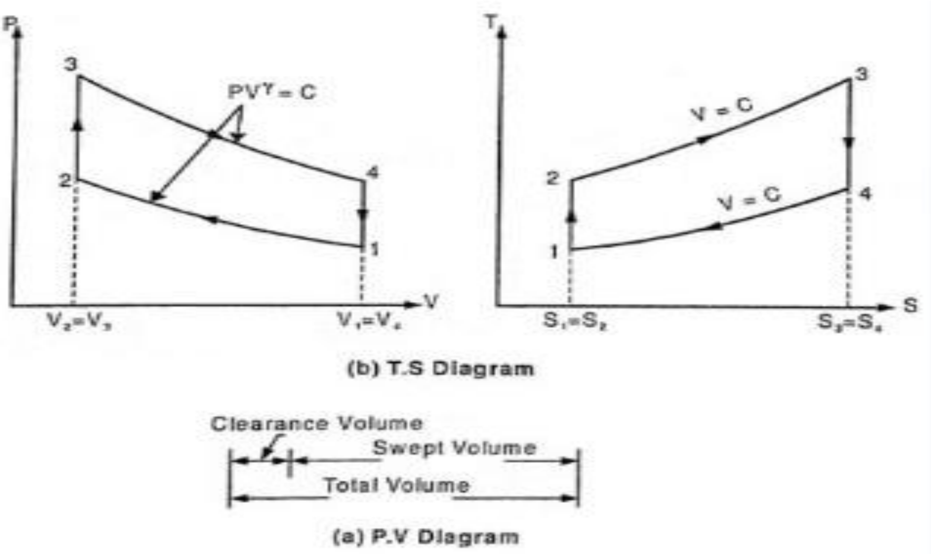
प्रक्रिया 3-4: उलट करता येण्याजोग्या आयसेंट्रोपिक विस्तार प्रक्रिया.

प्रक्रिया 4-1: उलट करता येण्याजोग्या समतापीय उष्णता नाकारण्याची प्रक्रिया.

कार्नोट सायकल नाहीव्यावहारिकदृष्ट्या शक्य आहे:

a) कार्नोट चक्र उलट करता येण्याजोगे आहे, तर वास्तविक उष्णता इंजिन घर्षण, उष्णतारोधक भिंतीवर उष्णता हस्तांतरण इत्यादीमुळे होत नाहीत.
b) कार्नोट सायकलमध्ये, प्रक्रिया उलट करता येण्याजोग्या असल्याने, त्या अत्यंत मंद असतात, तर वास्तविक जीवनात, इंजिन जलद कार्य करतात.

B. **ऑटो सायकल (Otto Cycle):** कार्नोट सायकलचा मुख्य दोष म्हणजे उच्च दाब आणि तुलनेने कमी सरासरी प्रभावी दाबासह वापरलेल्या उच्च-आवाज गुणोत्तरांमुळे त्याची अव्यवहार्यता. निकोलस ओट्टो (1876) यांनी स्थिर व्हॉल्यूम हीट ॲडिशन सायकल प्रस्तावित केली जी आजच्या स्पार्क इग्निशन इंजिनच्या कामासाठी सपोर्ट बनते.



ऑटो सायकल

Figure 5.1.2

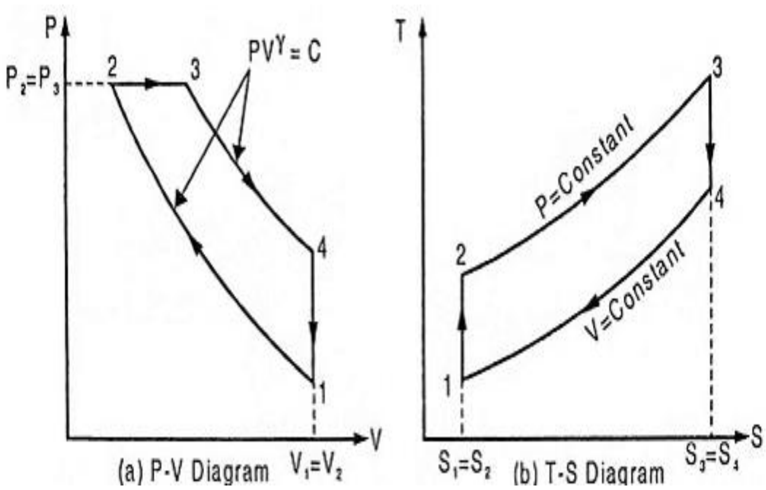
प्रक्रिया 1-2:temp T1 ते temp T2 पर्यंत उलट करता येण्याजोगे ॲडियाबॅटिक कॉम्प्रेशन.

प्रक्रिया 2-3:स्थिर व्हॉल्यूममध्ये स्थिर खंड उष्णता जोडणे.

प्रक्रिया 3-4: temp T3 पासून temp T4 पर्यंत उलट करता येण्याजोगा ॲडियाबॅटिक विस्तार.

प्रक्रिया 4-1: स्थिर व्हॉल्यूमवर स्थिर खंड उष्णता नकार.

डिझेल इंजिन सायकल: वास्तविक स्पार्क इग्निशन इंजिनमध्ये, कॉम्प्रेशन रेशोची वरची मर्यादा इंधनाच्या स्व-इग्निशन तापमानाद्वारे मर्यादित असते. हवा आणि इंधन स्वतंत्रपणे संकुचित केले आणि ज्वलनाच्या वेळी एकत्र आणले तर कॉम्प्रेशन रेशोवरील मर्यादा दूर केल्या जाऊ शकतात. अशा व्यवस्थेमध्ये उच्च तापमानात संकुचित हवा असलेल्या सिलेंडरमध्ये इंधन टाकले जाऊ शकते.

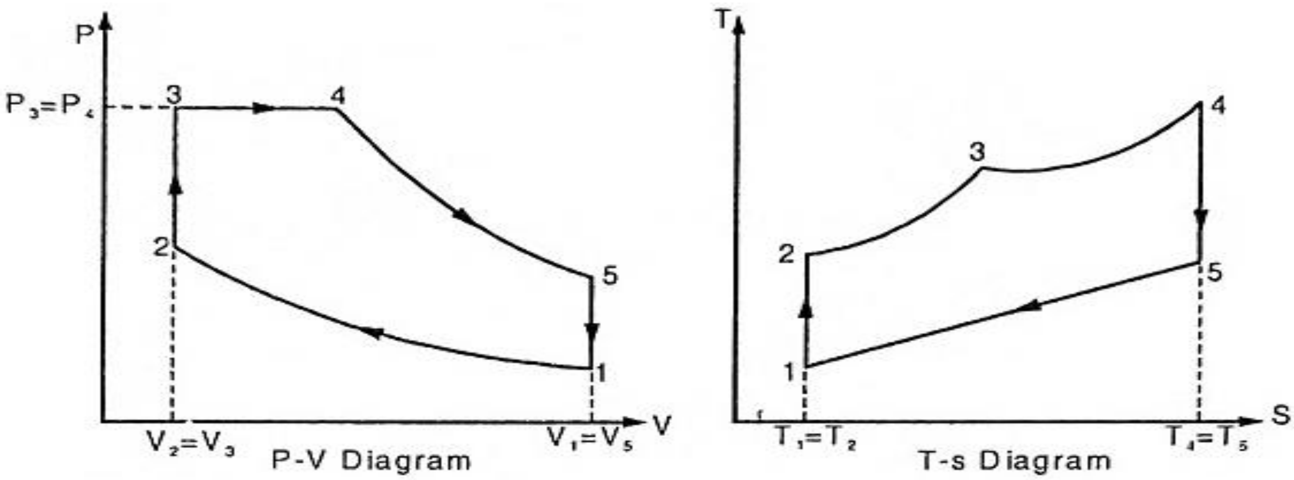


PV **आणि** TS **वर डिझेल सायकल**

Figure 5.1.3

प्रक्रिया 1-2: Temp T1 ते temp T2 पर्यंत उलट करता येण्याजोगे ॲडियाबॅटिक कॉम्प्रेशन.
प्रक्रिया 2-3:सतत दबाव उष्णता जोडणे.
प्रक्रिया 3-4: Temp T3 पासून temp T4 पर्यंत उलट करता येण्याजोगा ॲडियाबॅटिक विस्तार.
प्रक्रिया 4-1: स्थिर व्हॉल्यूमवर स्थिर खंड उष्णता नकार.

C. **ड्युएल सायकल**: दुहेरी चक्र याला मिश्र चक्र किंवा मर्यादित दाब चक्र देखील म्हणतात ऑटो आणि डिझेल सायकल दरम्यान एक तडजोड. ड्युअल सायकल हे थर्मोडायनामिक चक्र आहे जे ओटो सायकल आणि डिझेल सायकल एकत्र करते. या चक्रात, उष्णता जोडणे अंशतः स्थिर आवाजावर आणि अंशतः स्थिर दाबाने होते



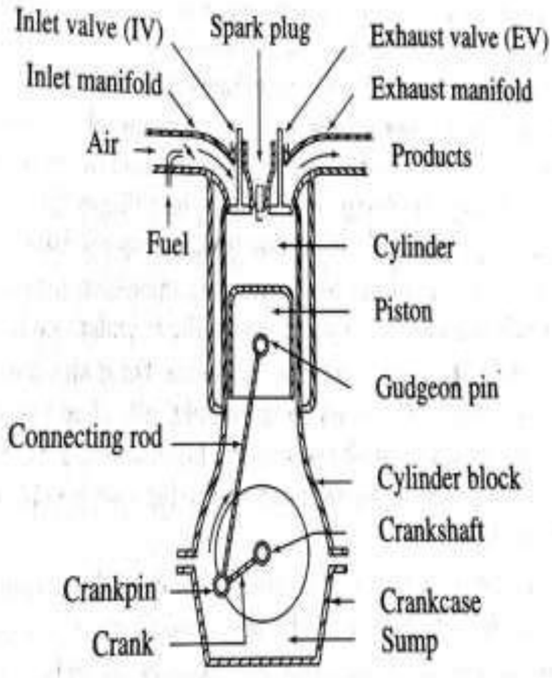
ड्युएल सायकल
Figure 5.1.4

प्रक्रिया 1-2: Temp T1 ते temp T2 पर्यंत उलट करता येण्याजोगे ॲडियाबॅटिक कॉम्प्रेशन.
प्रक्रिया 2-3: सतत खंड उष्णता जोडणे.
प्रक्रिया 3-4:सतत दबाव उष्णता जोडणे.
प्रक्रिया 4-5: Temp T4 ते temp T5 पर्यंत उलट करता येण्याजोगा ॲडिबॅटिक विस्तार.
प्रक्रिया 5-1: स्थिर व्हॉल्यूमवर स्थिर खंड उष्णता नकार.

5.2 IC बेसिक पार्टस ऑफ आयसि इंजिन

इंजिन: इंजिन हे असे उपकरण आहे जे एका ऊर्जेचे दुसऱ्या रूपात रूपांतर करते. तथापि. उर्जेचे एका रूपातून दुसऱ्या रूपात रूपांतर करताना, रूपांतरणाची कार्यक्षमता महत्त्वाची भूमिका बजावते. सामान्यतः, बहुतेक इंजिन थर्मल ऊर्जेचे यांत्रिक कार्यामध्ये रूपांतर करतात आणि म्हणून त्यांना 'उष्णता इंजिन' म्हणतात. उष्मा इंजिनांचे स्थूलमानाने दोन प्रकारात वर्गीकरण करता येते:
(1) अंतर्गत ज्वलन इंजिन (Internal combustion इंजिन)
(ii) बाह्य ज्वलन इंजिन (External combustion इंजिन)

आयसी इंजिनचे मूलभूत भाग



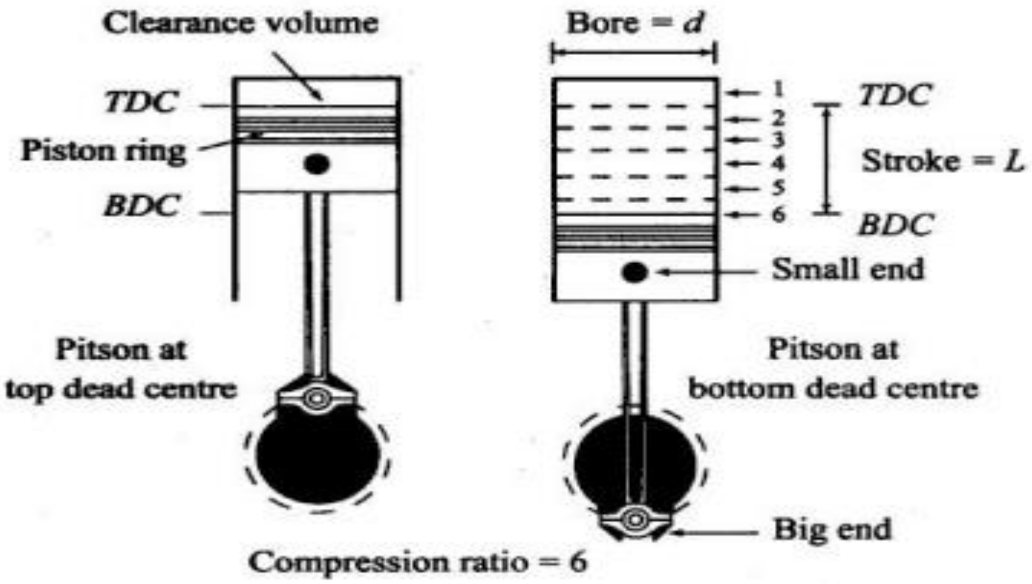
आयसी इंजिनचे मूलभूत भाग
Fig.5.1.5

1. **सिलेंडर:** IC इंजिनमधील सिलिंडरला 70 बारपर्यंतचा उच्च दाब आणि 2500°C पर्यंत तापमानाचा सामना करावा लागतो, कारण इंधनाचे ज्वलन सिलेंडरमध्येच होते. सिलिंडरसाठी वापरलेली सामग्री कास्ट लोह किंवा मिश्रित स्टील आहे. सिलिंडर लाइनरला आतील बाजूस सिलिंडर लाइनर आणि बाहेरील बाजूस कूलिंग व्यवस्था दिली जाते.
2. **पिस्टन:**पिस्टनचे कार्य गॅस फोर्स कनेक्टिंग रॉडवर आणि म्हणूनच क्रँकमध्ये प्रसारित करणे आहे. ते सिलेंडरमध्ये सरकते. हे कास्ट स्टील किंवा अल्युमिनियम स्टीलचे बनलेले आहे. त्याच्या वरच्या पृष्ठभागाला पिस्टन क्राउन म्हणतात आणि ते चार स्ट्रोक इंजिनसाठी सपाट केले जाते आणि दोन स्ट्रोक इंजिनसाठी विक्षेपित केले जाते.
3. **क्रँक शाफ्ट:**हे पिस्टनच्या क्रँकिंग रॉड आणि क्रँक पिनद्वारे क्रँक वेब्स किंवा गाल यांच्या दरम्यान चालते आणि पिस्टनपासून चालित शाफ्टमध्ये पौवर प्रसारित करते. हे मध्यम कार्बन स्टीलचे बनलेले आहे.
4. **क्रँक:**क्रँक हा क्रँक शाफ्टचा अविभाज्य भाग आहे. हा एक फिरणारा सदस्य आहे आणि क्रँक केसमध्ये गोलाकार हालचाल करतो. त्याचे एक टोक क्रँक शाफ्टला जोडलेले असते आणि दुसरे टोक कनेक्टिंग रॉडशी संबंधित असते.
5. **कनेक्टिंग रॉड:**हा पिस्टन आणि क्रँकमधील दुवा आहे. हे कार्यरत स्ट्रोक दरम्यान सतत फिरत असलेल्या क्रँक पिनमध्ये पिस्टनची परस्पर गती बदलते आणि प्रसारित करते आणि इतर स्ट्रोक दरम्यान त्याउलट. एक टोक पिस्टनमध्ये असलेल्या मनगटाच्या पिनला जोडलेले असते आणि दुसऱ्या टोकाला क्रँक पिनसाठी बेअरिंग असते. हे कार्बन स्टीलचे बनलेले आहे.
6. **इनलेट पोर्ट:**इनलेट पोर्टद्वारे, चार्ज (SI इंजिनमध्ये हवा-पेट्रोल मिश्रण किंवा CI इंजिनच्या बाबतीत

हवा) सिलेंडरमध्ये घुसले जाते.(Ports are used in two stroke only)

7. **एक्झॉस्ट पोर्ट:**एक्झॉस्ट पोर्टद्वारे, सिलिंडरमधील एक्झॉस्ट वायू वातावरणात नेले जातात.
8. **फ्लायव्हील:**हे क्रँकशाफ्टवर बसवलेले एक चाक आहे, जे पॉवर स्ट्रोक दरम्यान अतिरिक्त ऊर्जा साठवते आणि इतर स्ट्रोक दरम्यान तीच सोडते, अशा प्रकारे सतत आउटपुट टॉर्क देते.
9. **स्पार्क प्लग:**त्याचे कार्य पेट्रोल इंजिनमध्ये कॉम्प्रेशन पूर्ण केल्यानंतर मिश्रण प्रज्वलित करणे आहे. हे सामान्यतः सिलेंडरच्या डोक्यात बसवले जाते. हे फक्त पेट्रोल इंजिनमध्ये वापरले जाते.
10. **कार्बोरेटर:**त्यात हवा आणि इंधन (पेट्रोल) यांचे एकसंध मिश्रण तयार करण्यासाठी पेट्रोल इंजिन दिले जाते. हे मिश्रण, चार्ज म्हणून, इंजिन सिलेंडरला सक्शन वाल्व किंवा सक्शन पोर्टद्वारे पुरवले जाते.

A. इंजिन टर्मिनोलॉजी



आयसी इंजिनची टर्मिनोलॉजी

Figure 5.2.2

1. बोअर: सिलेंडरच्या आतल्या व्यासाला बोर म्हणतात.
2. स्ट्रोक: सिलिंडरच्या दोन मर्यादित स्थानांमधील सिलिंडरच्या अक्षासह रेषीय अंतराला स्ट्रोक म्हणतात. ते क्रँकच्या त्रिज्या दुप्पट आहे.
3. टॉप डेड सेंटर (टीडीसी): पिस्टनचे सर्वात वरचे स्थान, सिलिंडरच्या शेवटच्या बाजूचे कव्हर
4. बॉटम डेड सेंटर (BDC): सिलिंडरच्या क्रँकच्या शेवटच्या बाजूकडे पिस्टनच्या सर्वात खालच्या स्थानाला बॉटम डेड सेंटर म्हणतात. क्षैतिज इंजिनांच्या बाबतीत, ते बाह्य डेडसेंटर म्हणून ओळखले जाते.

या दोन टोकाच्या स्थानांमधील अंतराला स्ट्रोकलेंथ म्हणतात.

5. क्लिअरन्स व्हॉल्यूम: TDC वर पिस्टन असताना पिस्टनच्या वरच्या सिलेंडरमध्ये असलेल्या व्हॉल्यूमला क्लिअरन्स व्हॉल्यूम म्हणतात. हे Vc द्वारे दर्शविले जाते.
6. स्वेप्ट व्हॉल्यूम: टीडीसी आणि बीडीसी दरम्यान फिरताना पिस्टनद्वारे स्वीप्ट केलेल्या व्हॉल्यूमला स्वीप्ट व्हॉल्यूम किंवा डिस्प्लेसमेंट व्हॉल्यूम म्हणतात. हे Vs द्वारे दर्शविले जाते.

जेव्हा पिस्टन तळाच्या मध्यभागी असतो,

$$V = V_s + V_c$$

7. कॉम्प्रेशन रेशिओ compression ratio: "एकूण सिलेंडर व्हॉल्यूम आणि क्लिअरन्स व्हॉल्यूमचे गुणोत्तर" अशी त्याची व्याख्या केली जाते.
   दुसऱ्या शब्दांत, हे व्हॉल्यूमचे गुणोत्तर आहे, जेव्हा पिस्टन बीडीसी आणि व्हॉल्यूममध्ये असतो, जेव्हा पिस्टन टीडीसीवर असतो**.**
8. कट-ऑफ रेशिओ cut-off ratio: "उष्णतेचा पुरवठा करण्यापूर्वी खंडाला पुरवलेल्या उष्णतेच्या शेवटी असलेल्या आवाजाचे प्रमाण" अशी त्याची व्याख्या केली जाते.
9. पिस्टन गती: पिस्टनच्या सरासरी वेगाला पिस्टन गती म्हणतात.

   पिस्टन गती =2LN

   एल = मीटरमध्ये स्ट्रोकची लांबी

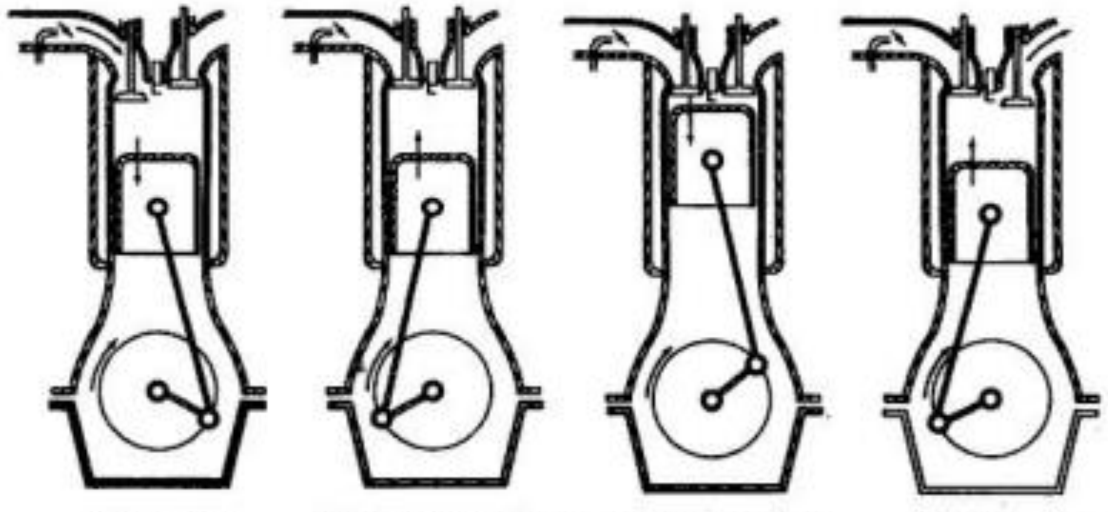
   N= इंजिनचा वेग in rpm.

A. **आयसी इंजिनचे वर्गीकरण आणि अनुप्रयोग -** अंतर्गत ज्वलन इंजिन (I.C. इंजिन) विविध निकषांवर आधारित वर्गीकृत केले जाऊ शकतात जसे की:

1. **इंधन प्रकार:**
   a) पेट्रोल/पेट्रोल इंजिन
   b) डिझेल इंजिन
   c) दुहेरी-इंधन इंजिन (दोन प्रकारचे इंधन वापरून)
   d) पर्यायी इंधन इंजिन (उदा., नैसर्गिक वायू, इथेनॉल, हायड्रोजन)
2. **सायकल प्रकार:**
   a) ओटो सायकल इंजिन (गॅसोलीन इंजिनमध्ये वापरलेले)
   b) डिझेल सायकल इंजिन (डिझेल इंजिनमध्ये वापरलेले)
   c) दुहेरी सायकल इंजिन (ऑटो आणि डिझेल दोन्ही सायकलची वैशिष्ट्ये एकत्र करणे)
3. **स्ट्रोकची संख्या:**
   a) दोन-स्ट्रोक इंजिन
   b) चार-स्ट्रोक इंजिन
4. **सिलिंडरची संख्या:**
   a) सिंगल-सिलेंडर इंजिन
   b) मल्टी-सिलेंडर इंजिन (उदा., 4-सिलेंडर, 6-सिलेंडर)
5. **सिलिंडरची व्यवस्था:**
   a) इनलाइन इंजिन
   b) व्ही इंजिन
   c) सपाट/क्षैतिज विरुद्ध इंजिन
   d) रेडियल इंजिन
   e) व्हँकेल/रोटरी इंजिन
6. **कूलिंग सिस्टम:**
   a) एअर कूल्ड इंजिन
   b) लिक्विड-कूल्ड इंजिन

7. **प्रज्वलन प्रकार:**
   a) स्पार्क इग्निशन इंजिन (गॅसोलीन इंजिनमध्ये वापरलेले)
   b) कॉम्प्रेशन इग्निशन इंजिन (डिझेल इंजिनमध्ये वापरलेले)

फोर स्ट्रोक पेट्रोल इंजिनचे काम (SI इंजिन)



फोर स्टोक एसआय .इंजिनचे काम

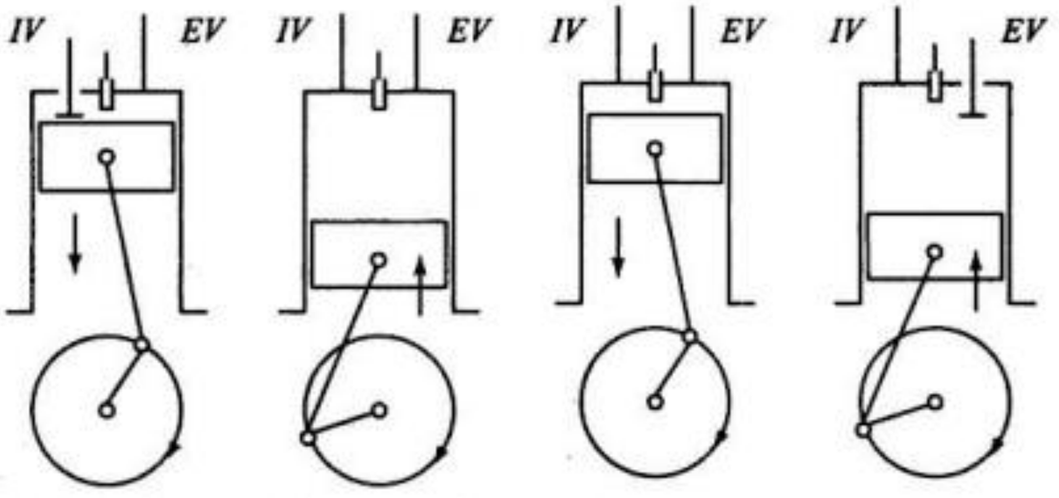
Figure 5.2.3

या इंजिनांमध्ये, हवा आणि इंधन यांचे मिश्रण इंजिन सिलेंडरमध्ये काढले जाते. इग्निशन स्पार्कमुळे होते, त्यांना स्पार्क इग्निशन (SI)इंजिन असेही म्हणतात. चक्र क्रँकशाफ्टच्या दोन आवर्तनांमध्ये पूर्ण होते आणि चार स्ट्रोक केले जातात. प्रत्येक स्ट्रोकमध्ये 180° क्रँकशाफ्ट्रोटेशन असते.

1. **सक्शनस्ट्रोक:** येथे पिस्टन TDC ते BDC कडे सरकतो, इनलेट व्हॉल्व्ह उघडतो आणि सिलेंडरमध्ये हवा आणि इंधनाचे प्रमाणबद्ध मिश्रण शोषले जाते.
2. **कॉम्प्रेशन स्ट्रोक:** येथे पिस्टन BDC ते TDC कडे सरकतो आणि सक्शन दरम्यान इंजिन सिलेंडरमध्ये काढलेल्या वायु-इंधन मिश्रणाला संकुचित करतो. सिलेंडरमध्ये दबाव आणि त्यामुळे मिश्रणाचे तापमान वाढते. स्ट्रोक संपण्याच्या अगदी आधी, ऑपरेटिंग प्लग एक स्पार्क सुरू करतो, ज्यामुळे मिश्रण प्रज्वलित होते आणि ज्वलन स्थिर व्हॉल्यूमवर होते. या स्ट्रोक दरम्यान इनलेट आणि एक्झॉस्ट व्हॉल्व्ह दोन्ही बंद राहतात.
3. **वर्किंग स्ट्रोक:** जेव्हा मिश्रण स्पार्क प्लगने प्रज्वलित केले जाते तेव्हा गरम वायू तयार होतात, जे पिस्टनला TDC ते BDC कडे नेतात आणि अशा प्रकारे या स्ट्रोकमध्ये कार्य प्राप्त होते. अशा प्रकारे, या स्ट्रोक दरम्यान, आम्हाला इंजिनमधून काम मिळते. म्हणून, हा स्ट्रोक वर्किंग स्ट्रोक किंवा पॉवर स्ट्रोक म्हणून ओळखला जातो. इंजिन शाफ्टवर बसवलेले फ्लायव्हील या स्ट्रोक दरम्यान ऊर्जा साठवते आणि सक्शन, कॉम्प्रेशन आणि एक्झॉस्ट या निष्क्रिय स्ट्रोक दरम्यान पुरवते. या स्ट्रोकच्या सुरुवातीला दोन्ही झडपा बंद राहतात, परंतु जेव्हा पिस्टन फक्त BDC वर पोहोचतो तेव्हा एक्झॉस्ट व्हॉल्व्ह उघडतो.
4. **एक्झॉस्टस्ट्रोक:** गरम वायूंपासून काम मिळाल्यानंतर, विस्तार स्ट्रोक पूर्ण झाल्यानंतर हे वायू निरुपयोगी ठरतात आणि एक्झॉस्ट व्हॉल्व्हद्वारे वातावरणात बाहेर पडतात. या स्ट्रोक दरम्यान गॅस काढून टाकणे

पूर्ण होते.

फोर स्टोक डिझेल इंजिन (सीआय इंजिन) चे कार्य



फोर स्टोक डिझेल इंजिन

Figure 5.2.4

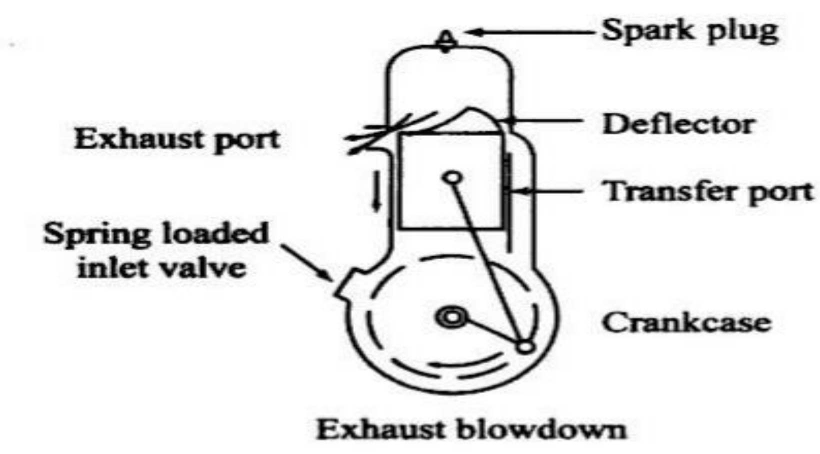
फोर स्ट्रोक डिझेल इंजिन डिझेल सायकलवर कार्य करते (स्थिर दाबावर ज्वलन).

येथे, इंजिनच्या सिलिंडरमध्ये इंजेक्ट करून इंधन प्रज्वलित केले जाते ज्यामध्ये हवा दाबून खूप जास्त दाब आहे. आणि संकुचित हवेचे तापमान इंधन प्रज्वलित करण्यासाठी पुरेसे जास्त असते. डिझेल इंजिनमध्ये स्पार्क प्लग दिलेला नाही. चार स्ट्रोकसाठी डिझेल इंजिन सायकल क्रँकशाफ्टच्या दोन आवर्तनांमध्ये पूर्ण होते. याला "कंप्रेशन इग्निशन (CI)इंजिन" असेही म्हणतात.

चार स्ट्रोक खालीलप्रमाणे आहेत

1. **सक्शनस्ट्रोक:** जेव्हा पिस्टन TDC ला BDC कडे हलवतो तेव्हा इनलेट व्हॉल्व्ह उघडतो आणि वातावरणाच्या दाबाने हवा इंजिन सिलेंडरमध्ये काढली जाते. एक्झॉस्ट व्हॉल्व्ह बंद आहे.
2. **कॉम्प्रेशन स्ट्रोक:** सक्शन स्ट्रोक दरम्यान वातावरणाच्या दाबाने काढलेली हवा उच्च दाब आणि तापमानात संकुचित केली जाते कारण पिस्टन BDC वरून TDC कडे जातो. इनलेट आणि एक्झॉस्ट व्हॉल्व्ह दोन्ही बंद राहतात.
3. **विस्तार किंवा वर्किंग स्ट्रोक:** जेव्हा पिस्टन TDC वरून हलू लागतो, तेव्हा इंधन इंजेक्टरद्वारे गरम कॉम्प्रेस्ड एअरिन फाइन स्प्रेमध्ये कमी प्रमाणात इंधन इंजेक्ट केले जाते. सिलेंडरचे गरम वायू ॲडिएबॅटिकरित्या विस्तारतात, त्यामुळे पिस्टनवर काम होते.
4. **एक्झॉस्टस्ट्रोक:** जेव्हा पिस्टन BDC वरून TDC कडे जातो तेव्हा एक्झॉस्ट वायू एक्झॉस्ट वाल्व्हद्वारे वातावरणात बाहेर पडतात. अंजीर पहा. पिस्टन TDC वर पोहोचल्यावर, एक्झॉस्ट व्हॉल्व्ह बंद होतो आणि सायकल स्पर्धा केली जाते.

टू स्ट्रोक इंजिनचे काम - टू -स्ट्रोक इंजिन **टू** मुख्य चक्रांवर चालते: सेवन/कंप्रेशन सायकल आणि पॉवर/एक्झॉस्ट सायकल.



टू स्ट्रोक इंजिनचे कार्य

Figure 5.2.5

1. **संकशन आणि कॉम्प्रेशन स्ट्रोक:** पिस्टन त्याच्या खाली असलेल्या क्रँककेसमध्ये हवा-इंधन मिश्रण दाबून वरच्या दिशेने सरकतो. पिस्टन त्याच्या स्ट्रोकच्या शीर्षस्थानी पोहोचल्यावर, ते इनटेक पोर्ट उघडते, ज्यामुळे संकुचित मिश्रण सिलेंडरमध्ये प्रवेश करू शकते.
2. **पॉवर/एक्झॉस्ट स्ट्रोक:** पिस्टन जसजसा खालच्या दिशेने सरकतो, तसतसे ते क्रँककेसमधील हवा-इंधन मिश्रण संकुचित करते, त्याच वेळी सेवन पोर्ट बंद करते. - स्पार्क प्लग संकुचित वायु-इंधन मिश्रण प्रज्वलित करतो, ज्यामुळे ज्वलन होते. - हे ज्वलन पिस्टनला परत वरच्या दिशेने बळजबरी करते, पौवर निर्माण करते. पिस्टन जसजसा वरच्या दिशेने सरकतो, तो एक्झॉस्ट पोर्ट्स कव्हर करतो, ज्यामुळे जळलेले वायू एक्झॉस्टमधून बाहेर पडू शकतात.

SI आणि C.I मधील फरक स्ट्रोक इंजिन

पॅरामीटर्स	SI इंजिन	सीआय इंजिन
मूलभूत सायकल	हे ओटो सायकलवर काम करते	हे डिझेल सायकलवर काम करते
इंधन	गॅसोलीन, एक अत्यंत अस्थिर इंधन. स्वयं-इग्निशन तापमान खूप जास्त आहे.	डिझेल तेल, एक अस्थिर इंधन. स्व-इग्निशन तापमान तुलनेने कमी आहे.
संक्षेप प्रमाण	कॉम्प्रेशन रेशो 6 ते 10 आहे.	कॉम्प्रेशन रेशो 16 ते 20 आहे.
गती	वजन कमी असल्याने वाहनांचा वेग अधिक आहे.	जास्त भार असल्याने वाहनांचा वेग कमी आहे.
थर्मल कार्यक्षमता	थर्मल कार्यक्षमता कमी आहे.	थर्मल कार्यक्षमता अधिक आहे.
वजन	कमी शिखर दाबामुळे फिकट.	उच्च शिखर दाबामुळे जड

फोर स्ट्रोक इंजिन आणि टू स्ट्रोक इंजिनमधील फरक

पॅरामीटर्स	**फोर स्ट्रोक इंजिन**	**टू स्ट्रोक इंजिन**
क्रांत्यांची संख्या.	क्रँक शाफ्टच्या दोन आवर्तनांमध्ये सायकल पूर्ण होते.	क्रँक शाफ्टच्या एका आवर्तनात सायकल पूर्ण होते.
पॉवर स्ट्रोक	क्रँक शाफ्टच्या प्रत्येक दोन क्रांतीमध्ये एक पॉवर स्ट्रोक प्राप्त होतो.	प्रत्येकामध्ये एक पॉवर स्ट्रोक मिळतो क्रँक शाफ्टची क्रांती.
पॉवर आकार	दोन आवर्तनांसाठी एका पॉवर स्ट्रोकमुळे, समान आकाराच्या इंजिनसाठी तयार होणारी उर्जा लहान असते किंवा समान पॉवर इंजिनसाठी मोठी असते.	एका क्रांतीसाठी एका पॉवर स्ट्रोकमुळे, समान आकाराच्या इंजिनसाठी उर्जा जास्त तयार होते. सैद्धांतिकदृष्ट्या दोनदा परंतु प्रत्यक्ष व्यवहारात 1.7 ते 1.8 पट किंवा समान पौवरसाठी, इंजिन हलके आणि कॉम्पॅक्ट आहे.
व्हॉल्व्ह	इंजिनमध्ये व्हॉल्व्ह आणि व्हॉल्व्ह यंत्रणा असते	व्हॉल्व्ह नसतात परंतु फक्त पोर्ट असतात.
फ्लायव्हीलचा आकार	जड फ्लायव्हील आवश्यक आहे	फिकट फ्लायव्हील आवश्यक आहे.
खकॉस्ट	जड वजन आणि क्लिष्ट झडप यंत्रणेमुळे प्रारंभिक खर्च जास्त आहे.	हलके वजन आणि वाल्व यंत्रणा नसल्यामुळे प्रारंभिक खर्च कमी आहे.
थर्मल कार्यक्षमता	थर्मल कार्यक्षमता अधिक आहे	थर्मल कार्यक्षमता कमी आहे.
उदाहरणे	8) जेथे कार्यक्षमता महत्त्वाची असते तेथे वापरले जाते. उदा. बस, ट्रक, ट्रॅक्टर	हलके आणि कॉम्पॅक्ट इंजिन जेथे वापरले जाते आवश्यक आहे. उदा. स्कूटर, लॉन मूव्हर्स.

Exercise

TLO **5.1** Represent various air standard cycles on P-V and T-Sdiagram.

1. Represent the Carnot Cycle on P-V and T-S Diagram. (R)
2. Represent the Dual Cycle on P-V and T-S Diagram. (R)
3. Differentiate between Otto and Diesel Cycle (U)

TLO **5.2** Classify I.C. Engines.

1. Define Following Terms: Bore, Stroke, displacement volume and compression ratio. (R)

2. Classify the I.C. Engine with respect to **1)**cycle of operation **2)** cylinder arrangement **3)** method of charging of cylinder **4)** types of ignition. (U)

3. State terms TDC and BDC? (R)

4. Draw TDC and BDC of a Four stroke Engine (A)

TLO **5.3** Explain construction and working of Two Strokes & four strokes I.C. Engine.

1. Explain the working of Four Stroke S.I. engine with neat sketch? (U)
2. Explain the working of Four Stroke C.I. engine with neat sketch? (U)
3. Differentiate between Four Stroke and Two Stroke I.C. Engine on the parameters a) based on No of Revolution b) Based on Power Stroke c) based on Efficiency d) based on Examples? (U)

4. Differentiate between S.I .and C.I. Engine on the parameters a) based on Cycle b) based on compression ratio c) based on Fuel d) based on Speed (R)

References

1. *R.K.Rajput, 'Engineering Thermodynamics' Laxmi Publication, New Delhi ISBN-8131808041*
2. *M.M.Rathod, ' Thermal Engineering' McGraw Hill Education ISBN-0070681139*
3. *P.K.Nag, ' Applied Thermodynamics' McGraw Hill Education ISBN- 9789352606429*
4. *S.Domkunwar and A.Domkunwar." A course of Thermal Engineering' Dhanpat Rai and sons. ASIN- B01MZAPV8F*
5. *R.S.Khurmi, 'A text book of Thermel Engineering' S.Chand Publication. ISBN- 9788121925730*