



WELCOME



ডিপ্লমা ইন ইঞ্জিনিয়ারিং পাওয়ার টেকনোলজির ৩য় পর্বের ছাত্র ছাত্রীদের জন্য  
ডিজিটাল কন্টেন্টের মাধ্যমে ক্লাস

**SUBJECT: ENGINEERING  
THERMODYNAMICS**  
SUBJECT CODE: 27131



**ENGR. MD. AL-AMIN**  
BCS (Technical Education)  
BSc in Mechanical Engineering  
Instructor (power)  
Mob- 01717747490  
Mail: [alaminjf@gmail.com](mailto:alaminjf@gmail.com),  
Mymensingh Polytechnic Institute, Mymensingh



&



**MD. AMZAD HOSSAIN**  
Junior Instructor (power)  
Mymensingh Polytechnic Institute,  
Mymensingh

SUBJECT: ENGINEERING THERMODYNAMICS

CAPTER -01

SUBJECT CODE: 27131

# REFERENCE BOOKS:-

1. Thermal Engineering

Tata McGraw Hill Publication A R Basu

2. Thermal Engineering Heat Power

Dhanpat Rai and Co.(P)Ltd, New Delhi R. S. Khurmi and J. K.Gupta

3. A Text book of Thermal Engineering

S. Chand and Co.Ltd P K Nag Basic and applied thermodynamics Tata McGraw Hill Publication Rai&Sarao

4. Applied Thermodynamics.

Satya Prokashan

Dr. D.S. Kumar Heat & Mass Transfer S.K. Kataria & sons A.S. Sarao

5. Thermal Engineering

Satya Prokashan H.B.Kaswani

6. Heat and Mass Transfer

Satya Prokashan Brijlal N. Subrahmanyam P.S.Hemen

7. Heat Thermodynamics and Statistical Physics

S. Chand and Co.Ltd.

1. UNDERSTAND THE  
FUNDAMENTALS OF  
THERMODYNAMICS.

# Define thermodynamic, system, boundary, surroundings and the universe.

**Thermodynamics**, science of the relationship between heat, work, temperature, and energy. In broad terms, **thermodynamics** deals with the transfer of energy from one place to another and from one form to another. The key concept is that heat is a form of energy corresponding to a definite amount of mechanical work.

A **thermodynamic system** is a group of material and/or radiative contents. Its properties may be described by thermodynamic state variables such as temperature, entropy, internal energy, and pressure.

## What is system, boundary and surrounding is thermodynamics ?

A **system** is defined as a region in space containing a specific amount of matter whose behavior is being observed. The system is separated from its surrounding by a boundary. The boundary may be a real one or some imaginary surface covering the region. The boundary may be at rest or in motion and may change its size or shape. The term surrounding is restricted to those portions of matter external to the system which is thermodynamically affected by the changes occurring within the system. Any thermodynamically analysis begins with the selection of the system, its boundary and the surroundings.



The system and the surrounding combined are essentially "everything." This is because the combined energy in the system and the surroundings is a constant. Energy can flow between these two, but the total energy is constant. Thus we talk about the system + surroundings as the "universe." Since energy is constant in the universe (from a chemistry thermodynamics perspective), we can discuss changes for both the system and the surrounding as being for the universe.

$$\text{system} + \text{surroundings} = \text{universe}$$

# Mention types of systems- close, open, isolated, flow, non-flow systems with examples.

## **Open and closed systems**

A closed system (sometimes termed as a control mass) is a system for which no masses cross the boundary i.e. quantity of matter within the system remains fixed throughout the investigation. But energy is allowed to cross the boundary (in the form of heat and work).

An open system (sometimes termed as a control volume) on the other hand is a region in the space defined by a boundary across (in/out/through) which matter may flow in addition to energy (in the form of heat and work).

A system is termed as isolated system if neither matter nor energy is allowed to transfer across the boundary. A truly isolated system can only be obtained ideally.

An **isolated system** is a thermodynamic system that cannot exchange either energy or matter outside the boundaries of the system. There are two ways in which this may occur:

1. The system may be so distant from another system that it cannot interact with them.
2. The system may be enclosed such that neither energy nor mass may enter or exit.

### **Isolated System Versus Closed System**

An isolated system differs from a closed system by the transfer of energy. Closed systems are only closed to matter, energy can be exchanged across the system's boundaries.

**Flow process** : It is one in which fluid enters the system and leaves it after work interaction, which means that such processes occur in the systems having open boundary permitting mass interaction across the system boundary.

**Non flow process** : It is the one in which there is no mass interaction across the system boundaries during the occurrence of process.

We now define a non-flow process as one in which the system boundary change occurs wholly within the control volume under observation - i.e. no mass crosses the control surface which bounds the control volume. Furthermore a flow process is one in which the system boundary change is such that mass does cross the control surface. Note that  $Q$  and  $w$  can cross both system and control volume boundaries but by definition mass can only cross the latter.

Example of a non-flow process - expansion in a cylinder

System boundary (expanding)

In the expansion depicted in the figure there is work transfer across the system boundary due to a pressure difference, there may be a heat transfer across the system boundary due to a temperature difference, but there is no mass transfer across the system boundary.

# Identify different applications of thermodynamics in the engineering field.

Thermodynamics has very wide applications as basis of thermal engineering. Almost all process and engineering industries, agriculture, transport, commercial and domestic activities use thermal engineering. But energy technology and power sector are fully dependent on the laws of thermodynamics.

## *For examples:*

- Central thermal power plants, captive power plants based on coal
- Nuclear power plants
- Gas turbine power plants
- Engines for automobiles, ships, airways & spacecrafts
- Direct energy conversion devices: Fuel cells, thermoionic, thermoelectric engines
- Air conditioning, HVAC
- Domestic, Commercial and industrial lighting
- Agricultural, transport and industrial machines

All the above engines and power consuming plants are designed using laws of thermodynamics.

# Explain the extensive & intensive properties of thermodynamics systems with examples and units.

## **Intensive Property:**

An intensive property is a physical property of a system that does not depend on the system size or the amount of material in the system. I.e. An intensive quantity (also intensive variable) is a physical quantity whose value does not depend on the amount of the substance for which it is measured. Intensive property is also known as Bulk Property.

Examples of intensive properties include:

Temperature

Chemical Potential

Density

Specific Gravity

Viscosity

Velocity

Electrical Resistivity.

## **Extensive Property:**

An extensive property of a system does depend on the system size or the amount of material in the system.

Examples of extensive properties include:

Mass

Volume

Entropy

Enthalpy

Energy

Stiffness

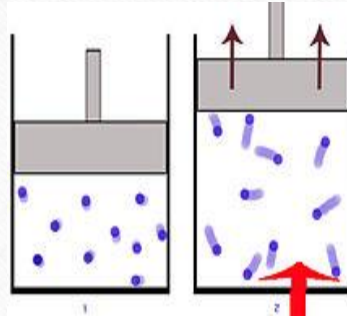
Particle Number



Define thermodynamic state, path, process, quasi-static process, reversible & irreversible process, thermodynamic equilibrium, point function, path function, control volume.

For thermodynamics, a **thermodynamic state** of a system is its condition at a specific time, that is fully identified by values of a suitable set of parameters known as state variables, state parameters or thermodynamic variables. Once such a set of values of thermodynamic variables has been specified for a system, the values of all thermodynamic properties of the system are uniquely determined. Usually, by default, a thermodynamic state is taken to be one of thermodynamic equilibrium. This means that the state is not merely the condition of the system at a specific time, but that the condition is the same, unchanging, over an indefinitely long duration of time.

A **thermodynamic process path** is the path or series of states through which a system passes from an initial equilibrium state to a final equilibrium state<sup>[1]</sup> and can be viewed graphically on a pressure-volume (P-V), pressure-temperature (P-T), and temperature-entropy (T-s) diagrams.<sup>[2]</sup>



There are an infinite number of possible paths from an initial point to an end point in a process. In many cases the path matters, however, changes in the thermodynamic properties depend only on the initial and final states and not upon the path.<sup>[3]</sup>

Consider a gas in cylinder with a free floating piston resting on top of a volume of gas  $V_1$  at a temperature  $T_1$ . If the gas is heated so that the temperature of the gas goes up to  $T_2$  while the piston is allowed to rise to  $V_2$  as in *Figure 1*, then the pressure is kept the same in this process due to the free floating piston being allowed to rise making the process an isobaric or constant pressure process. This Process Path is a straight horizontal line from state one to state two on a P-V diagram.

In thermodynamics, a **quasi-static process** is a thermodynamic process that happens slowly enough for the system to remain in internal equilibrium. An example of this is quasi-static compression, where the volume of a system changes at a slow rate enough to allow the pressure to remain uniform and constant throughout the system.<sup>[1]</sup>

The processes which allow all isothermal and adiabatic operations to proceed very slowly are known as quasi-static processes

Defined by change in a system, a **thermodynamic process** is a passage of a thermodynamic system from an initial to a final state of thermodynamic equilibrium. The initial and final states are the defining elements of the process. The actual course of the process is not the primary concern, and thus often is ignored. This is the customary default meaning of the term 'thermodynamic process'. In general, during the actual course of a thermodynamic process, the system passes through physical states which are not describable as thermodynamic states, because they are far from internal thermodynamic equilibrium. Such processes are useful for thermodynamic theory

Defined by a cycle of transfers into and out of a system, a **cyclic process** is described by the quantities transferred in the several stages of the cycle, which recur unchangingly. The descriptions of the staged states of the system are not the primary concern. Cyclic processes were important conceptual devices in the early days of thermodynamical investigation, while the concept of the thermodynamic state variable was being developed.

Defined by flows through a system, a **flow process** is a steady state of flows into and out of a vessel with definite wall properties. The internal state of the vessel contents is not the primary concern. The quantities of primary concern describe the states of the inflow and the outflow materials, and, on the side, the transfers of heat, work, and kinetic and potential energies for the vessel. Flow processes are of interest in engineering.

## Equilibrium state:

Physical systems found in nature are practically always dynamic and complex, but in many cases, macroscopic physical systems are amenable to description based on proximity to ideal conditions. One such ideal condition is that of a stable equilibrium state. Such a state is a primitive object of classical or equilibrium thermodynamics, in which it is called a thermodynamic state. Based on many observations, thermodynamics postulates that all systems that are isolated from the external environment will evolve so as to approach unique stable equilibrium states. There are a number of different types of equilibrium, corresponding to different physical variables, and a system reaches thermodynamic equilibrium when the conditions of all the relevant types of equilibrium are simultaneously satisfied. A few different types of equilibrium are listed below.

- **Thermal equilibrium**: When the temperature throughout a system is uniform, the system is in thermal equilibrium.
- **Mechanical equilibrium**: If at every point within a given system there is no change in pressure with time, and there is no movement of material, the system is in mechanical equilibrium.
- **Phase equilibrium**: This occurs when the mass for each individual phase reaches a value that does not change with time.
- **Chemical equilibrium**: In chemical equilibrium, the chemical composition of a system has settled and does not change with time.



In thermodynamics, a reversible process is a process whose direction can be "reversed" by inducing infinitesimal changes to some property of the system via its surroundings.<sup>[1]</sup> Throughout the entire reversible process, the system is in thermodynamic equilibrium with its surroundings. Having been reversed, it leaves no change in either the system or the surroundings. Since it would take an infinite amount of time for the reversible process to finish, perfectly reversible processes are impossible. However, if the system undergoing the changes responds much faster than the applied change, the deviation from reversibility may be negligible. In a *reversible cycle*, a cyclical reversible process, the system and its surroundings will be returned to their original states if one half cycle is followed by the other half cycle.<sup>[2]</sup>

Thermodynamic processes can be carried out in one of two ways: reversibly or irreversibly. Reversibility means the reaction operates continuously at quasiequilibrium. In an ideal thermodynamically reversible process, the energy from work performed by or on the system would be maximized, and that from heat would be zero. However, heat cannot fully be converted to work and will always be lost to some degree (to the surroundings). (This is true only in case of a cycle. In case of an ideal process, heat can be completely converted into work, e.g., isothermal expansion of an ideal gas in a piston–cylinder arrangement.) The phenomenon of maximized work and minimized heat can be visualized on a pressure–volume graph as the area beneath the equilibrium curve, representing work done. In order to maximize work, one must follow the equilibrium curve precisely.

**Thermodynamic equilibrium** is an axiomatic concept of thermodynamics. It is an internal state of a single thermodynamic system, or a relation between several thermodynamic systems connected by more or less permeable or impermeable walls. In thermodynamic equilibrium there are no net macroscopic flows of matter or of energy, either within a system or between systems.

## Path function

A Path function is a function whose value depends on the path followed by the thermodynamic process irrespective of the initial and final states of the process.

An example of path function is work done in a thermodynamic process.

Work done in a thermodynamic process is dependent on the path followed by the process.

A path function is an inexact or imperfect differential.

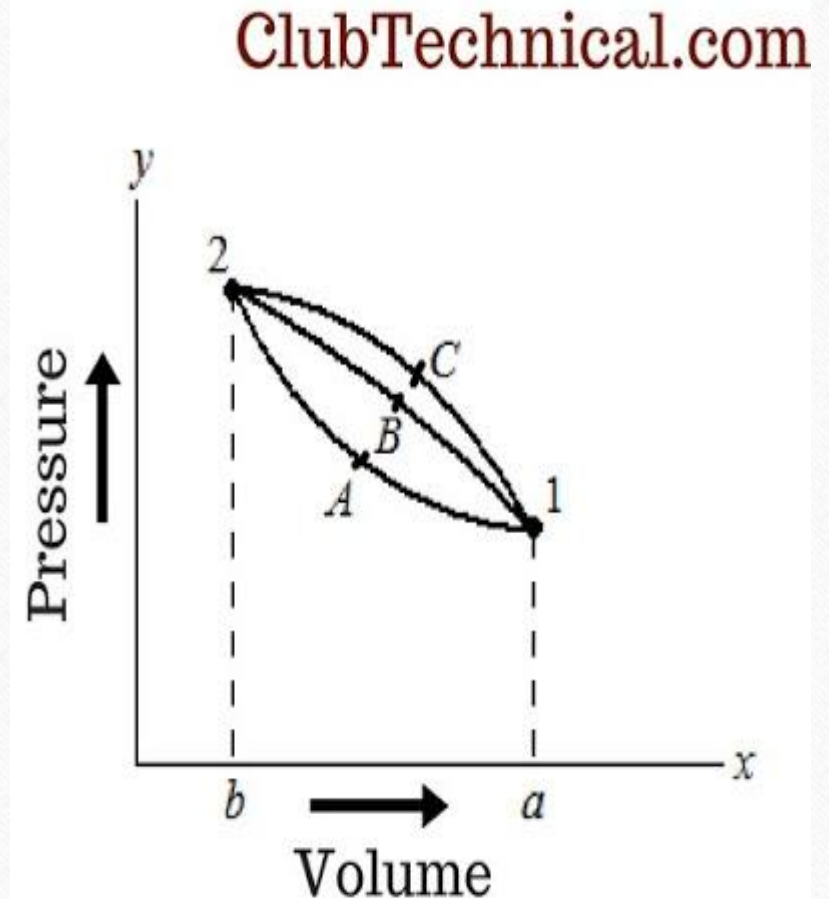
In the P-V diagram given above we can easily see that for the same initial and final states of the system, work done in all the three process is different.

*For process A work done is  $\int_{b2A1a}$*

*For process B work done is  $\int_{b2B1a}$*

*For process C work done is  $\int_{b2C1a}$*

Another example of path function is heat.



## Point function

A Point function (also known as state function) is a function whose value depends on the final and initial states of the thermodynamic process, irrespective of the path followed by the process.

Example of point functions are density, enthalpy, internal energy, entropy etc.

A point function is a property of the system or we can say all the properties of the system are point functions.

Point functions are exact or perfect differential.

**Note:** Since a point function is only dependent on the initial or final state of the system, hence in a cyclic process value of a thermodynamic function is zero, or change in thermodynamic property is zero.

Sr. no.	Point Function	Path Function
1	Its values are based on the state of the system (i.e. pressure, volume, temperature etc.)	Its values are based on how that particular thermodynamic state is achieved.
2	No matter by which process the state is obtained, its values will always remain the same.	Different processes to obtain a particular state will give us different values.
3	Only initial and final states of the process are sufficient	We need to know exact path followed by the process
4	Its values are independent of the path followed	Its values are dependent on the path followed
5	It is an exact or perfect differential	It is an inexact or imperfect differential.
6	Its cyclic integral is always zero	Its cyclic integral may or may not be zero
7	It is property of the system	It is not the property of the system
8	Its examples are density, enthalpy, internal energy, entropy etc	Its examples are Heat, work etc.

In continuum mechanics and thermodynamics, a control volume is a mathematical abstraction employed in the process of creating mathematical models of physical processes. In an inertial frame of reference, it is a fictitious volume fixed in space or moving with constant flow velocity through which the continuum (gas, liquid or solid) flows. The surface enclosing the control volume is referred to as the control surface.<sup>[1]</sup>

At steady state, a control volume can be thought of as an arbitrary volume in which the mass of the continuum remains constant. As a continuum moves through the control volume, the mass entering the control volume is equal to the mass leaving the control volume. At steady state, and in the absence of work and heat transfer, the energy within the control volume remains constant. It is analogous to the classical mechanics concept of the free body diagram.

Define heat, temperature and pressure. 1.7 Explain different types of heat, temperature scale and pressure.

Heat is the transfer of kinetic energy from one medium or object to another, or from an energy source to a medium or object. Such energy transfer can occur in three ways: radiation, conduction, and convection.



## Notation and units

As a form of energy, heat has the unit joule (J) in the International System of Units (SI). However, in many applied fields in engineering the British thermal unit (BTU) and the calorie are often used. The standard unit for the rate of heat transferred is the watt (W), defined as one joule per second.

Use of the symbol  $Q$  for the total amount of energy transferred as heat is due to Rudolf Clausius in 1850:

A temperature expresses hot and cold, as measured with a thermometer. In physics, hotness is a body's ability to impart energy as heat to another body that is colder.

In a body in which there are processes of chemical reaction and flow of matter, temperature may vary over its parts, and over time, as measured by a suitably small and rapidly responding thermometer, and may depend also on the match of the processes to the characteristics of the thermometer.

(তাপমাত্রা বা উষ্ণতা হচ্ছে কোনো বস্তু কতটা গরম (উষ্ণ) বা ঠান্ডা (শীতল), তার পরিমাপ এবং তাপশক্তি পরিবহণ দ্বারা সবসময় উষ্ণতর বস্তু থেকে শীতলতর বস্তুতে প্রবাহিত হয়। উষ্ণতা কোনো বস্তুর মোট তাপের পরিমাপ নয়, তাপের "মাত্রা"র পরিমাপ। এই মাত্রা বস্তুর কোনো অংশের স্থানীয় তাপজনিত আণবিক চাঞ্চল্যের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

পরম তাপমাত্রা এমন একটি উষ্ণতা সূচক যা বস্তুর তাপজনিত গতিশক্তির একটি পরিচায়ক। এ মহাবিশ্বে যা কিছু আছে তাকে দু ভাগে ভাগ করা যায়। একটি ভাগে আছে পদার্থ যাদের ভর আছে, জায়গা দখল করে এবং বল প্রয়োগে বাধা দেয়। অন্যভাগে আছে শক্তি। এদের কোনো ভর নেই, জায়গা দখল করে না বা বল প্রয়োগে কোন বাধা দেয় না। এদেরকে আমরা ইন্দ্রিয় দ্বারা অনুভব করতে পারি। সুতরাং তাপ এমন এক ধরনের শক্তি। পঞ্চ ইন্দ্রিয়ের মধ্যে তাপকে কেবল ত্বক দ্বারা অনুভব করা যায়।)

**Pressure** is the amount of force applied at right angles to the surface of an object per unit area. The symbol for it is  $p$  or  $P$ . The IUPAC recommendation for pressure is a lower-case  $p$ . However, upper-case  $P$  is widely used. The usage of  $P$  vs  $p$  depends upon the field in which one is working, on the nearby presence of other symbols for quantities such as power and momentum, and on writing style.

#### Formula [\[ edit \]](#)

Mathematically:

$$p = \frac{F}{A},^{[3]}$$

where:

$p$  is the pressure,

$F$  is the magnitude of the **normal force**,

$A$  is the area of the surface on contact.

Pressure is a **scalar** quantity. It relates the **vector area** element (a vector normal to the surface) with the **normal force** acting on it. The pressure is the scalar **proportionality constant** that relates the two normal vectors:

$$d\mathbf{F}_n = -p d\mathbf{A} = -p \mathbf{n} dA.$$

১৯২৭ সালে আন্তর্জাতিক ওজন ও পরিমাপ সংস্থার (International Committee for Weights and Measures) এক অধিবেশনে কেলভিন স্কেলকে ব্যবহারিক স্কেল হিসেবে ব্যবহার করার অনুমোদন দেয়। কেলভিনই হলো এস.আই. একক। তাপমাত্রার তিনটি স্কেল ব্যবহার হয়ে থাকে। সবচেয়ে বেশি ব্যবহার হয় সেলসিয়াস স্কেল।<sup>১২</sup> কিন্তু অনেকসময় ফারেনহাইট স্কেলও ব্যবহৃত হয়। আর পদার্থবিজ্ঞান ও রসায়নে বেশি ব্যবহৃত হয় কেলভিন স্কেল। পরম শূন্য তাপমাত্রা থেকে কেলভিন স্কেল শুরু হয়।  
১ কেলভিন = ১ ডিগ্রি সেলসিয়াস হলেও সেলসিয়াস স্কেল এর শুরু ২৭৩ ডিগ্রি কেলভিন থেকে।  
২৭৩ কেলভিনে পানি জমে বরফ হয়, তাই একে সেলসিয়াস স্কেলের শুরু (০° সেলসিয়াস) ধরা হয়।  
সেলসিয়াস, ফারেনহাইট ও কেলভিন স্কেলের মধ্যকার সম্পর্কটি হলো:

পদার্থবিজ্ঞানের পরিভাষায় একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বলকে চাপ বলে। একে  $P$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়।<sup>১৩</sup> স্থির-তরল (হাইড্রোস্ট্যাটিক) ব্যবস্থায় কোনো তলের উপর চাপ কেবল তলের সঙ্গে লম্ব ভাবে হয় এবং তলটিকে একই উচ্চতায় রেখে দিক পরিবর্তন করলে চাপের কোনো পরিবর্তন হয় না (প্যাস্কালের সূত্র)। তাই হাইড্রোস্ট্যাটিক চাপকে স্কেলার বলে ধরা যায়। কিন্তু সচল-তরল (হাইড্রোডাইনামিক) ব্যবস্থায় চাপ তলের দিকের উপর নির্ভর করতে পারে এবং তরলের মধ্যস্থিত কোনও বিন্দুতে চাপের মান ও দিক পুরোপুরি নির্দিষ্ট করতে হলে, সাধারণ ভেক্টরের ন্যায় ৩টি নয়, ৯টি বিশ্লেষিত মান নির্দেশ করতে হয়।

তাই সচল-তরল (হাইড্রোডাইনামিক) চাপ স্কেলার (শূন্য র‌্যাক্স) বা ভেক্টর (প্রথম র‌্যাক্স) নয়, বরং দ্বিতীয় র‌্যাক্সের টেন্সার।

চাপের এসআই একক প্যাস্কেল। চাপের একককে ( $P_a$ ) দ্বারা প্রকাশ করা হয়, সিডিএস একক ডাইন/সেন্টিমিটার<sup>২</sup>

Mention units of heat, temperature scale and pressure.

Convert one unit to another unit of heat, temperature scale and pressure.

স্বাভাবিক বায়ুচাপে ফারেনহাইট স্কেলে পানির **হিমাঙ্ক** কে ধরা হয় ৩২ ডিগ্রী ফারেনহাইট ( $^{\circ}\text{F}$ ) এবং **স্ফুটনাঙ্ক** কে ধরা হয় ২১২  $^{\circ}\text{F}$ , এই দুই বিন্দুর মধ্যবর্তী অংশ কে ১৮০ ক্ষুদ্র ভাগে ভাগ করা হয়। প্রতিটি ক্ষুদ্র ভাগকে বলা হয় ১ ডিগ্রী ফারেনহাইট।<sup>[৩]</sup>

আবার সেলসিয়াস স্কেলে স্বাভাবিক বায়ুচাপে পানির গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্কের মধ্যবর্তী অংশ কে ১০০ ভাগে ভাগ করা হয় এবং প্রতিটি ভাগকে বলা হয় ১ ডিগ্রী সেলসিয়াস।<sup>[৩]</sup> এক ডিগ্রী ফারেনহাইট তাপমাত্রা পার্থক্য হল  $\frac{5}{9}$  ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা পার্থক্যের সমান।

আর একটি মজার বিষয় হল,  $-80^{\circ}\text{F}$  এবং  $-80^{\circ}\text{C}$  একই তাপমাত্রা নির্দেশ করে।<sup>[৩]</sup> ফারেনহাইট স্কেলে **পরম শূন্য** তাপমাত্রা হল  $-859.67^{\circ}\text{F}$ ।<sup>[৪]</sup> আবার **রানকিন** (Rankine scale) তাপমাত্রা পরিমাপক স্কেলে এক ডিগ্রী রানকিন ( $1^{\circ}\text{R}$ ) হল, এক ডিগ্রী ফারেনহাইট এর সমান। রানকিন স্কেল এবং ফারেনহাইট স্কেলের মধ্যে পার্থক্য হল  $0^{\circ}\text{R}$  পরম শূন্য তাপমাত্রা নির্দেশ করে, আর  $32^{\circ}\text{F}$  পানির হিমাঙ্ক নির্দেশ করে।

☀ **ক্যালোরি [Calorie]:-** 1 গ্রাম বিশুদ্ধ জলের উষ্ণতা  $10^{\circ}\text{C}$  বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োজন হয় তাকে 1 ক্যালোরি বলে। CGS পদ্ধতিতে তাপের একক হল ক্যালোরি।

☀ **জুল [joule]:-** SI পদ্ধতিতে তাপের একক শক্তির এককে প্রকাশ করা হয়। SI পদ্ধতিতে তাপের পরিমাপের একক হল জুল।  $1 \text{ ক্যালোরি} = 4.1825 \text{ জুল} = 4.2 \text{ জুল (প্রায়)}।$

পদার্থবিজ্ঞানের পরিভাষায় একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বলকে চাপ বলে। একে P দ্বারা প্রকাশ করা হয়।<sup>[১]</sup> স্থির-তরল (হাইড্রোস্ট্যাটিক) ব্যবস্থায় কোনো তলের উপর চাপ কেবল তলের সঙ্গে লম্ব ভাবে হয় এবং তলটিকে একই উচ্চতায় রেখে দিক পরিবর্তন করলে চাপের কোনো পরিবর্তন হয় না (প্যাস্কালের সূত্র)। তাই হাইড্রোস্ট্যাটিক চাপকে স্কেলার বলে ধরা যায়। কিন্তু সচল-তরল (হাইড্রোডাইনামিক) ব্যবস্থায় চাপ তলের দিকের উপর নির্ভর করতে পারে এবং তরলের মধ্যস্থিত কোনও বিন্দুতে চাপের মান ও দিক পুরোপুরি নির্দিষ্ট করতে হলে, সাধারণ ভেক্টরের ন্যায় ৩টি নয়, ৯টি বিশ্লেষিত মান নির্দেশ করতে হয়। তাই সচল-তরল (হাইড্রোডাইনামিক) চাপ স্কেলার (শূণ্য র‌্যাক্স) বা ভেক্টর (প্রথম র‌্যাক্স) নয়, বরং দ্বিতীয় র‌্যাক্সের টেন্সার।

চাপের এসআই একক প্যাস্কেল। চাপের একককে (Pa) দ্বারা প্রকাশ করা হয়, সিডিজিএস একক ডাইন/সেন্টিমিটার<sup>২</sup>।

ফারেনহাইট থেকে	ফারেনহাইটে	
সেলসিয়াস	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 9/5 + 32$
কেলভিন	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459.67) \times 5/9$	$^{\circ}\text{F} = [\text{K}] \times 9/5 - 459.67$
রানকিন	$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{R} - 459.67$
ডেলিসেল	$^{\circ}\text{De} = (212 - ^{\circ}\text{F}) \times 5/6$	$^{\circ}\text{F} = 212 - ^{\circ}\text{De} \times 6/5$
নিউটন	$^{\circ}\text{N} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 11/60$	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{N} \times 60/11 + 32$
রিউমার	$^{\circ}\text{Ré} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 8/9$	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{Ré} \times 9/8 + 32$
রোমার	$^{\circ}\text{Rø} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 9/28 + 9.5$	$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{Rø} - 9.5) \times 28/9 + 32$

## তাপ

- ◆ তাপ এক প্রকার শক্তি, যা ঠাণ্ডা বা গরমের অনুভূতি জাগায়।
- ◆ তাপের প্রবাহ তাপের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে না।
- ◆ তাপ হলো তাপমাত্রার কারণ।
- ◆ তাপ পরিমাপের একক জুল।
- ◆ দুটি বস্তুর তাপমাত্রা এক হলেও এদের তাপের পরিমাণ ভিন্ন হতে পারে।
- ◆ তাপ বস্তুস্থিত অণুর শক্তির সমানুপাতিক।
- ◆ তাপ পরিমাপক যন্ত্রের নাম ক্যালরি মিটার।

## তাপমাত্রা

- ◆ তাপমাত্রা হচ্ছে বস্তুর তাপীয় অবস্থা, যা অন্য বস্তুর তাপীয় সংস্পর্শে নিয়ে এলে তাপ দেবে-না নেবে তা নির্ধারণ করে।
- ◆ তাপের প্রবাহ তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে।
- ◆ তাপমাত্রা হলো তাপের ফল।
- ◆ তাপমাত্রা পরিমাপের একক কেলভিন।
- ◆ দুটি বস্তুর তাপের পরিমাণ এক হলেও এদের তাপমাত্রা ভিন্ন হতে পারে।
- ◆ তাপমাত্রা বস্তুস্থিত গড় শক্তির সমানুপাতিক।
- ◆ তাপমাত্রা পরিমাপক যন্ত্রের নাম থার্মোমিটার।



## **Explain heat is a low grade energy and work is a high grade energy.**

**Low-grade energy:** Based on the thermodynamic concepts, an energy source can be called as high-grade or low-grade, depending the ease with which it can be converted into other forms. Thus electrical energy is called a high-grade energy, as it is very easy to convert almost all of it into other energy forms such as thermal energy (say by using an electrical heater). Whereas, it is not possible to convert thermal energy completely into electrical energy (typical efficiencies of thermal power plants are around 30 percent), hence thermal energy is called a low-grade energy. Naturally, high-grade energy sources are more expensive compared to low-grade energy sources.

Solve problems on heat, temperature scale and pressure.

SUBJECT: ENGINEERING THERMODYNAMICS

CAPTER -02

SUBJECT CODE: 27131

2. Understand the concept of specific heat of gases.

Define specific heat, thermal capacity and water equivalent.

► **আপেক্ষিক তাপ** [Specific heat]:-

• **সংজ্ঞা** :- কোনো পদার্থের একক ভরের উষ্ণতা এক ডিগ্রি বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, তাকে ওই পদার্থের **আপেক্ষিক তাপ** বলে।

[ক] **CGS পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা**:- এক গ্রাম ভরের কোনো পদার্থের উষ্ণতা  $10^{\circ}\text{C}$  বাড়াতে যত ক্যালোরি তাপের প্রয়োজন হয়, তাকে ওই পদার্থের **আপেক্ষিক তাপ** বলে। এই পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপের একক হল ক্যালোরি প্রতি গ্রাম প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস ( $\text{cal/gm}^{\circ}\text{C}$ )।

'**তামার আপেক্ষিক তাপ  $0.09$  ক্যালোরি/গ্রাম ডিগ্রি সেলসিয়াস**' —বলতে এই বোঝায় যে, এক গ্রাম তামার উষ্ণতা  $10^{\circ}\text{C}$  বৃদ্ধি করতে  $0.09$  ক্যালোরি তাপের প্রয়োজন হয়।

[খ]

**SI পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা**:- এক কিলোগ্রাম ভরের কোনো পদার্থের উষ্ণতা এক কেলভিন বা  $10^{\circ}\text{C}$  বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপশক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে ওই পদার্থের **আপেক্ষিক তাপ** বলে। এর একক হল— জুল/কেজি কেলভিন বা ডিগ্রি সেলসিয়াস ( $\text{J/kg K}$  বা,  $\text{J/kg }^{\circ}\text{C}$ )। আপেক্ষিক তাপের মাত্রা =  $[\text{ML}^2\text{T}^{-2}/\text{MK}] = [\text{L}^2\text{T}^{-2}\text{K}^{-1}]$

Engineering Thermodynamics (Ex 131)  
 অধ্যায়-2, গ্যাসের আপেক্ষিক গা  
Specific Heat of Gases

Engr. Md. Al-Amin

Bsc. in Mechanical Engineering

\* আপেক্ষিক গা বলতে কী বুঝায়?

উত্তর: আপেক্ষিক গা (Specific Heat): কোন বস্তুর গা এক ডিগ্রি সে পরিমাণ গা প্রদানের হয়, যা এ বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক গা বলে ?

∴ আপেক্ষিক গা,  $S = \frac{H}{m \Delta t}$  [ এখানে, H প্রদানের গা, m বস্তুর ও t গা পরিমাণ ? ]

\* আপেক্ষিক গা এক সমূহ লি ?

উত্তর:

CGS	পদ্ধতিতে	আপেক্ষিক গা	এক	= Cal/gm°C
MKS	"	"	"	= K Cal/kg°C
FPS	"	"	"	= BTU/lb °F
SI	"	"	"	= Joule/kg°K

\* SI পদ্ধতিতে গা, বায়ু ও পানির আপেক্ষিক গা কত ?

উত্তর:

SI	পদ্ধতিতে	গা	আপেক্ষিক গা	= 4.187 KJ/kg°K
"	"	বায়ুর	"	= 2.110 KJ/kg°K
"	"	পানির	"	= 2.094 KJ/kg°K

\* SI সিস্টেমে সানি, বস্তু ও দ্রবীভবন আনুসঙ্গিক তাপ কত?

উত্তর: SI সিস্টেমে সানি তাপ:  $\text{তাপ} = 4.187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$   
 " " বস্তু " "  $= 2.110 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$   
 " " দ্রবীভবন " "  $= 2.094 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$

\* SI MKS সিস্টেমে সানি, বস্তু ও দ্রবীভবন আনুসঙ্গিক তাপ কত?

উত্তর: MKS সিস্টেমে সানি তাপ:  $\text{তাপ} = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$   
 " " বস্তু " "  $= 0.594 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$   
 " " দ্রবীভবন " "  $= 0.500 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

\* CGS সিস্টেমে সানি, বস্তু ও দ্রবীভবন তাপ: তাপ কত?

উত্তর: CGS সিস্টেমে সানি আনুসঙ্গিক তাপ  $= 1 \text{ cal/gm}^\circ\text{C}$   
 " " " "  $= 0.594 \text{ cal/gm}^\circ\text{C}$   
 " " " "  $= 0.500 \text{ cal/gm}^\circ\text{C}$

## পানিসম বা তুল্য জলাংক

কোনো বস্তুর তাপমাত্রা একক পরিমাণ বাড়াতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, সে তাপ দিয়ে যতটুকু পানির তাপমাত্রা একক পরিমাণ বাড়ানো যায়, তাকে ওই বস্তুর পানিসম বলে।  
পানিসমের একক , ভরের একক,কেজি,পাউন্ড,গ্রাম।

**তাপ ধারণ ক্ষমতাঃ** কোন বস্তুর তাপমাত্রা ১ ডিগ্রী বাড়াতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাকে ওই বস্তুও তাপ ধারণ ক্ষমতা বলে।  
একক,তাপের একক ক্যালরী,জুল



\* ক্যালোরি অর্থাৎ জল  $0.594 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$  বনতে কী বুঝায়?

উত্তর: 1 kg জলকে ~~বর্ণনা~~ ~~১°C~~ ~~তাপমাত্রা~~ ~~১°C~~ ~~বৃদ্ধি~~ ~~করা~~ ~~হলে~~  $0.594 \text{ kcal}$

তাপের প্রয়োজন।

\* অর্থাৎ 1 kg জলকে বর্ণনা ~~তাপমাত্রা~~ ~~১°C~~ ~~বৃদ্ধি~~ ~~করা~~ ~~হলে~~  $0.594 \text{ kcal}$

জল ~~অপসারণ~~ ~~করা~~ ~~হলে~~ হয়।

\* সারির ~~অপসারণ~~ ~~জল~~  $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$  বনতে কী বুঝায়?

উত্তর: 1 kg জলের সারি ~~তাপমাত্রা~~ ~~১°C~~ ~~বৃদ্ধি~~ ~~করা~~ ~~হলে~~  $1 \text{ kcal}$

তাপের প্রয়োজন।

~~অর্থাৎ~~ ~~১~~ ~~kg~~ ~~জল~~ ~~সারি~~ ~~তাপমাত্রা~~ ~~১°C~~ ~~বৃদ্ধি~~ ~~করা~~ ~~হলে~~  $1 \text{ kcal}$

জল ~~অপসারণ~~ ~~করা~~ ~~হলে~~ হয়।

\* ତାପ ବିକୀରଣ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କିଛି ପ୍ରଶ୍ନ ?

ଉତ୍ତର: କୌଣସି ବସ୍ତୁ ତାପମାତ୍ରା  $1^\circ$  ବୃଦ୍ଧି ପାଇଁ  $\Delta Q$  ପରିମାଣ ତାପ  
 ସମ୍ବରଣ ହୁଏ ତାହା  $\Delta Q$  ବସ୍ତୁର ତାପ ବିକୀରଣ ସମ୍ବରଣ ବଳ ।

ତାପ ବିକୀରଣ ସମ୍ବରଣ =  $\Delta Q \times$  ଆଲୋଚିତ ତାପ

$\therefore$  ଏକ ଏକ ତାପ ବିକୀରଣ ସମ୍ବରଣ, MKS ମାତ୍ରାରେ ବଳ ହେବ  $= 1 \text{ J} \times \frac{\text{kcal}}{1000} = \frac{\text{kcal}}{1000}$   
 ଏବଂ " " " " SI " " " "  $= 1 \text{ J} \times \frac{\text{kJ}}{1000} = \frac{\text{kJ}}{1000}$

\* ତାପ ବିକୀରଣ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କିଛି ପ୍ରଶ୍ନ ?

ଉତ୍ତର: କୌଣସି ବସ୍ତୁ ତାପମାତ୍ରା  $1^\circ$  ବୃଦ୍ଧି ପାଇଁ  $\Delta Q$  ପରିମାଣ ତାପ ସମ୍ବରଣ  
 ହୁଏ, ଯେଉଁ ତାପ ନିମ୍ନେ ଉଲ୍ଲେଖ କରାଯାଇଛି ତାହା,  $\Delta Q$  ପରିମାଣ-  
 ତାପ ବିକୀରଣ ବଳ ବସ୍ତୁର ତାପ ବିକୀରଣ ବଳ ।  
 ତାପ ବିକୀରଣ ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ସମ୍ପର୍କ,  $\therefore$  ଏକ ବସ୍ତୁର  $20^\circ$  ତାପ ବୃଦ୍ଧି

$\therefore$  MKS ମାତ୍ରାରେ ତାପ ବିକୀରଣ ବଳ ହେବ  $20 \text{ J}$   
 SI " " " " " "  $20 \text{ kJ}$

ଉତ୍ତର: ତାପ ବିକୀରଣ ସମ୍ବରଣ =  $\Delta Q \times$  ଆଲୋଚିତ ତାପ, କିନ୍ତୁ ବସ୍ତୁର  $20^\circ$  ତାପ ବୃଦ୍ଧି ।

**Describe the terms specific heat at constant pressure ( $C_p$ ) and specific heat at constant Volume ( $C_v$ ).**

**স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ( $C_p$ ) কাকে বলে?**

**উত্তর :** চাপ স্থির রেখে কোনো গ্যাসের একক ভরের তাপমাত্রা এক ডিগ্রি বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপকে ওই গ্যাসের স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ বলে। স্থির

**আয়তনে আপেক্ষিক তাপ ( $C_v$ ) কাকে বলে?**

**উত্তর :** আয়তন স্থির রেখে কোনো গ্যাসের একক ভরের তাপমাত্রা এক ডিগ্রি বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপকে ওই গ্যাসের স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ বলে।

গিরি ~~সমস্ত~~ অর্থাৎ: তাপ বন্মতে কী ক্রম?   
 অর্থ:  $\frac{dQ}{dT}$

উত্তর: গিরি ~~সমস্ত~~ অর্থাৎ: তাপ (Specific heat at constant volume):   
 একক ভরের গ্যাসের আয়তন গিরি যাবে  $\Delta T$  গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়   
 কতটুকু তাই গ্যাসের তাপের পরিবর্তন হয় তাই  $\Delta T$  গ্যাসের গিরি আয়তন   
 অপরিবর্তিত রেখে তাপ  $\Delta Q$  গ্যাসের  $\Delta T$  যাবে।

\* গিরি আয়তনে  $\frac{dQ}{dT}$  গ্যাসের তাপমাত্রা কত?   
 অর্থ:  $\frac{dQ}{dT} = C_v$

উত্তর:  $H = m C_v (T_2 - T_1)$    
 যেখানে,  $H =$  মোট তাপ,  $T_2 =$  চূড়ান্ত তাপমাত্রা,  $T_1 =$  প্রারম্ভিক তাপমাত্রা।   
 $m =$  ভর,  $C_v =$  গিরি আয়তন অর্থাৎ তাপ

\* গিরি আয়তনে তাপ দিতে কী কঠিন?   
 অর্থ:  $\frac{dQ}{dT} = C_v$

উত্তর: গিরি আয়তনে তাপ দিলে কঠিনের  $\Delta T$  বৃদ্ধি পাবে  $\Delta Q = C_v \Delta T$    
 কাজে  $\Delta T$  বৃদ্ধি পাবে। অর্থাৎ  $\frac{dQ}{dT} = C_v$    
 তাই  $C_v = \frac{dQ}{dT}$

\* স্থির চাপে আয়তন বৃদ্ধি?   
উত্তর: স্থির চাপে আয়তন বৃদ্ধি (Specific heat at Constant pressure):

একক ভরের গ্যাসের চাপ স্থির রাখে  $n$  গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি সাধিত হলে যে তাপমাত্রা বৃদ্ধির প্রয়োজন হয় তাতে  $n$  গ্যাসের স্থির চাপে আয়তনিক চাপ বা সংক্রমণ  $C_p$  বলা হয়।

\* স্থির চাপে আয়তন বৃদ্ধি কীভাবে?   
উত্তর: স্থির চাপে আয়তন বৃদ্ধি হলে তাপমাত্রা বৃদ্ধি থেকে আয়তন বৃদ্ধি

সাধিত হয় এবং বাকী থেকে কাজে পরিণত হয়।

\* স্থির চাপে আয়তন বৃদ্ধি সর্বসম্বন্ধে কীভাবে তাপমাত্রা বৃদ্ধি হয়?

উত্তর:  $H = m C_p (T_2 - T_1)$

এখানে,  $H =$  মোট তাপ,  $m =$  গ্যাসের ভর,  $C_p =$  স্থির চাপে

আয়তনিক তাপ,  $T_1 =$  প্রারম্ভিক তাপমাত্রা,  $T_2 =$  চূড়ান্ত তাপমাত্রা।

## Mention Regnault's law.

### **Regnault's Law:**

Regnault's law states that the specific heat capacity of a gas at constant pressure ( $C_p$ ) and the specific heat capacity of a gas at constant volume ( $C_v$ ) do not change with change in pressure and temperature. According to this law,  $C_p$  and  $C_v$  values of a gas remain constant.

**Relation between  $C_p$  and  $C_v$  :**

\* অধুনা অধিক বৃদ্ধি বৃদ্ধি বন কী বুঝ?

উত্তর: পৃথিবী আগে এক দিন সব বাহ্যিক ভাল স্বতন্ত্র আবস্থা  
ও চাপ বৃদ্ধি করত হয় যা দিয়ে অন্য ভাগ ব্যক্তি সকল  
অবস্থান হয় । এ দে অধুনা অধিক বৃদ্ধি বন হয় ।

\* অন্য ভাগ আবস্থা কি ( $C_p$  &  $C_v$ ) ক সম্পর্ক দেখা । অথবা,  
অন্য ভাগ আবস্থা সম্পর্ক হয় দেখান কর যে,  $C_p - C_v = \frac{R}{J}$

উত্তর: যদি কি, এক ভাগ আবস্থা কি এক ভাগ আবস্থা এক দিন এক ভাগ  
দেখা হয় ।

যদি,  $m =$  গ্যাস এক ভাগ

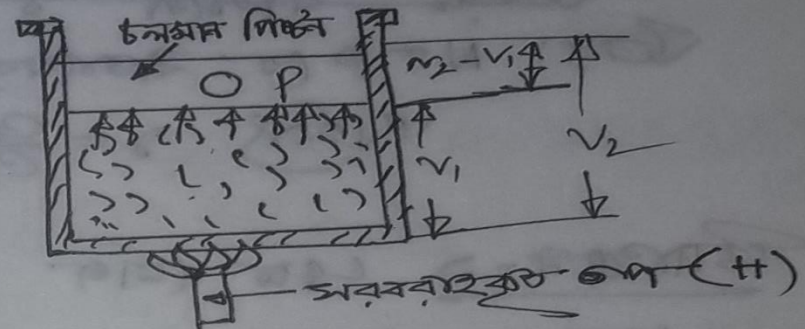
$T_1 =$  প্রথম ভাগ,  $T_2 =$  দ্বিতীয় ভাগ

$V_1 =$  প্রথম ভাগ,  $V_2 =$  দ্বিতীয় ভাগ

$C_p =$  প্রথম ভাগ এক ভাগ

$C_v =$  দ্বিতীয় ভাগ এক ভাগ

$P =$  প্রথম ভাগ





স্থির চাপ-সংবলিত হলে মোট উষ্ণতা  $H = m C_p (T_2 - T_1)$

চাপ-কালে বস্তুতে বিচলিত হওয়ার পরিমাণ,  $W = \frac{P(V_2 - V_1)}{J}$  (আপেক্ষিক গুরুত্ব)

এং অন্তর্নিহিত সঞ্চিত তাপ,  $E = m C_v (T_2 - T_1)$

উষ্ণতা-বিচ্ছাদনের সূত্র হলে মোট,  $H = W + E$

$$\therefore m C_p (T_2 - T_1) = \frac{P(V_2 - V_1)}{J} + m C_v (T_2 - T_1)$$

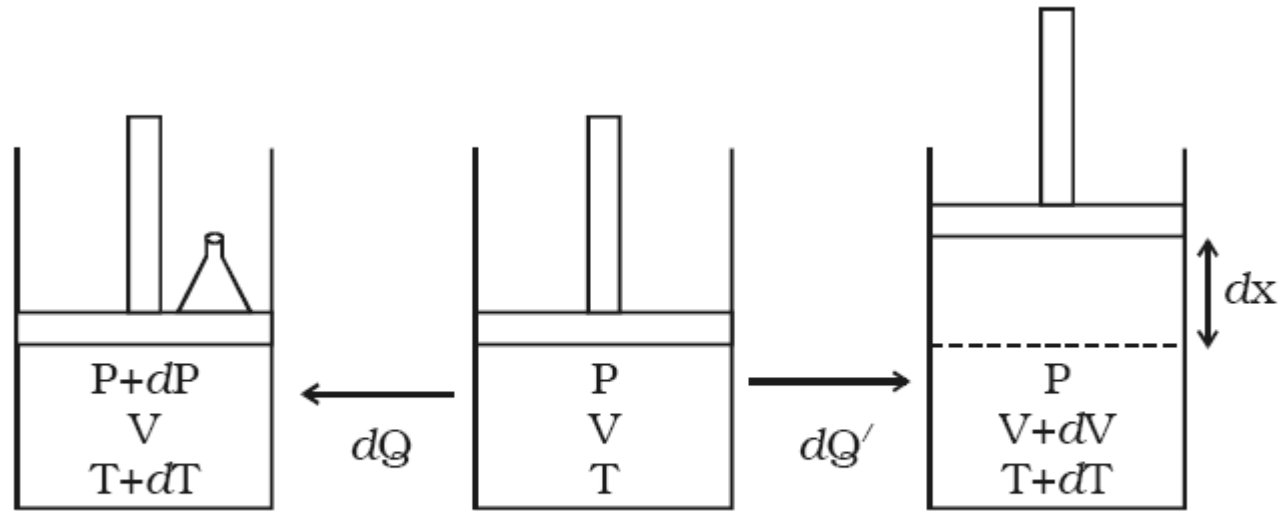
$$\text{অথবা, } m C_p (T_2 - T_1) = \frac{m R (T_2 - T_1)}{J} + m C_v (T_2 - T_1)$$

$$\left[ \because PV = mRT \right] \therefore P(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1)$$

$$\text{অথবা, } m C_p = \frac{R}{J} + m C_v$$

$$\therefore C_p - C_v = \frac{R}{J} \quad (\text{Proved})$$

Relate two specific heats ( $C_p$  and  $C_v$ ).



$$C_p - C_v = R$$

*Meyer's relation*

Explain the ratio of two specific heats ( $\gamma$ )

আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে কখনো কখনো  $\hat{C}_v$  ও  $\hat{C}_p$ -এর মানের পার্থক্য হতে পারে। কিন্তু বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে তা কখনও হবে না।

স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ ও স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপের অনুপাত:  $\gamma = C_p/C_v$

নানা গ্যাসের মিশ্রণ বায়ুর ক্ষেত্রে এই অনুপাতের মান ১.৪।

Mention the standard value of  $C_p$ ,  $C_v$ , and  $\gamma$  for some common gases.

২.৬ কতগুলো গ্যাসের  $C_p$ ,  $C_v$  এবং  $\gamma$  এর মান (Value of  $C_p$ ,  $C_v$  and  $\gamma$  of some common gases) :

নিচের ছকে কতগুলো সাধারণ গ্যাসের  $C_p$ ,  $C_v$  এবং  $\gamma$  এর মান দেয়া হল :

ক্রমিক নং	গ্যাসের নাম	$C_p$ (kJ/kg $^{\circ}$ K)	$C_v$ (kJ/kg $^{\circ}$ k)	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$
১।	বাতাস	1.00	0.720	1.40
২।	কার্বন ডাই-অক্সাইড ( $CO_2$ )	0.846	0.657	1.29
৩।	অক্সিজেন ( $O_2$ )	0.913	0.653	1.39
৪।	নাইট্রোজেন ( $N_2$ )	1.043	0.745	1.40
৫।	অ্যামোনিয়া ( $NH_3$ )	2.177	1.692	1.29
৬।	কার্বন মনোঅক্সাইড (CO)	1.047	0.749	1.40
৭।	হাইড্রোজেন ( $H_2$ )	14.257	10.133	1.40
৮।	আর্গন (A)	0.523	0.314	1.67
৯।	হিলিয়াম (He)	5.234	3.153	1.66
১০।	মিথেন ( $CH_4$ )	2.169	1.650	1.31

Explain the molar specific heats of a gas.

\* ସୂକ୍ଷ୍ମଦ୍ରବ୍ୟମାନ ଶୂନ୍ୟରେ ବସନ୍ତେ କି ପ୍ରକାର ?

ଉତ୍ତର: ଆଲୋକିକ ତରଙ୍ଗଦ୍ୱାରା ଆନୁଗତ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କର ।

ଉତ୍ତର: ଆଲୋକିକ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ଆନୁଗତ୍ୟ,  $\frac{C_p}{C_v}$ , ବାଦେ ଆବିଷ୍କୃତ କରାଯାଇ ପାରେ,  $\gamma$  (ଗ୍ୟାମା) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଛି । ବାଦେ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଛି ।  $\therefore \gamma = \frac{C_p}{C_v}$

\* NTP ରେ ବାୟୁର  $\gamma$  କି ମୂଲ୍ୟ ରହିବ ?

ଉତ୍ତର: ବାୟୁର  $\gamma$  ର ମୂଲ୍ୟ  $\frac{C_p = 0.24}{C_v = 0.171} = 1.4$

ଉତ୍ତର: NTP ରେ ବାୟୁର  $\gamma$  କି ମୂଲ୍ୟ ରହିବ ?

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{0.24}{0.171} = 1.4$$

# Solve problems on Cp, Cv, and $\gamma$

উদাহরণ-২ এক গতি আদর্শ গ্যাস 1 bar স্থির চাপে এবং  $15^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $0.85 \text{ m}^3$  আয়তন দখল করে। গ্যাস যদি প্রথমে স্থির আয়তনে এবং পরে স্থির চাপে তাপ দেওয়া হয় এবং  $\gamma = 1.4$  হয়, তবে (i) স্থির আয়তনে আদর্শ গ্যাস তাপমাত্রিক তাপ নির্ণয় কর।

সমাঃ আদর্শ গ্যাস,

$$PV = nRT$$

$$\begin{aligned} \text{বা, } R &= \frac{PV}{nT} \\ &= \frac{10^5 \times 0.85 \text{ N/m}^2 \times \text{m}^3}{1 \times 288 \text{ kg}^\circ\text{K}} \\ &= 295.14 \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \\ &= 295.14 \text{ J/kg}^\circ\text{K} \\ &= 0.29514 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \end{aligned}$$

আদর্শ গ্যাসের জন্য,

$$C_v = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{0.29514 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}}{1.4 - 1}$$

$$\text{এবং } C_p = 1.4 \text{ cv} = 1.4 \times 0.29514 = 0.4132 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

দেওয়া আছে,

- গ্যাসের ভর,  $m = 1 \text{ kg}$
- ন আয়তন,  $V = 0.85 \text{ m}^3$
- ন তাপমাত্রা,  $T = 15 + 273 = 288^\circ\text{K}$
- ন চাপ,  $p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$
- আদর্শ গ্যাসের গুরুত্ব,  $\gamma = 1.4$

$$\text{এবং } \frac{C_p}{C_v} = 1.4$$

$$\therefore C_p = 1.4 C_v$$

Required is

$$\text{(i) } C_v = ? \text{, (ii) } C_p = ?$$

$$= 0.29514 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$= 0.4132 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

এক বস্তু (গ্যাস) আদর্শ গ্যাস হিসেবে বিবেচিত করা হয়।  
 তাপমাত্রা  $18.3^{\circ}\text{C}$  হতে  $366.4^{\circ}\text{C}$  এ পরিষ্কৃত করা হল। যদি  $R = 0.264 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$   
 এবং  $\gamma = 1.18$  হয়, তবে নির্ণয় কর (i) আদর্শ গ্যাস হিসেবে  
 (ii) অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন (iii) প্রত্যাহারিত শক্তির পরিবর্তন। ২০১৭

সমাঃ

দেওয়া আছে,  $m = 1 \text{ kg}$ ,  $T_1 = 18.3^{\circ}\text{C} = 18.3 + 273 = 291.3 \text{ K}$

$T_2 = 366.4 + 273 = 639.4 \text{ K}$ ,  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1.18$

$R = 0.264 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$  অথবা  $C_p = C_v \times 1.18$

আদর্শ গ্যাস,  $C_v = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{0.264}{1.18 - 1} = 1.47 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$  Ans

$C_p = C_v \times 1.18 = 1.47 \times 1.18 = 1.73 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$  Ans

অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন,  $E = m C_v (T_2 - T_1)$   
 $= 1 \times 1.47 (639.4 - 291.3) \text{ kJ}$   
 $= 110.4 \text{ kJ}$  Ans

প্রত্যাহারিত শক্তির পরিবর্তন,  $dH = m C_p (T_2 - T_1)$   
 $= 1 \times 1.73 \times (639.4 - 291.3) \text{ kJ}$   
 $= 130 \text{ kJ}$  Ans



20/11

উদাহ-৪ | বায়ুর গ্যাম-এর মান  $29.27 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{kg}^\circ\text{K}$  ও  $C_v$  এর মান  $0.171 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{K}$  হলে  $\gamma$  ও  $C_p$  এর মান নির্ণয় কর।

Sol<sup>n</sup>:

ধরি,  $J = 427 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{K cal}$

সামান্য ধরি,

$$C_p - C_v = \frac{R}{J}$$

$$\therefore C_p = \frac{R}{J} + C_v$$

$$= \frac{29.27 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{K}}{427 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{Kcal}} + 0.171 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{K}$$

$$\therefore C_p = 0.239 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{K} \text{ Ans}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{0.239}{0.171} = 1.4 \text{ Ans}$$

দেওয়া আছে,

$$R = 29.27 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{kg}^\circ\text{K}$$

$$C_v = 0.171 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{K}$$

$$\gamma = ?$$

$$C_p = ?$$

# REFERENCE BOOKS:-

## 1. Thermal Engineering

Tata McGraw Hill Publication A R Basu

## 2. Thermal Engineering Heat Power

Dhanpat Rai and Co.(P)Ltd, New Delhi R. S. Khurmi and J. K.Gupta

## 3. A Text book of Thermal Engineering

S. Chand and Co.Ltd P K Nag Basic and applied thermodynamics Tata McGraw Hill Publication Rai&Sarao

## 4. Applied Thermodynamics.

Satya Prokashan

Dr. D.S. Kumar Heat & Mass Transfer S.K. Kataria & sons A.S. Sarao

## 5. Thermal Engineering

Satya Prokashan H.B.Kaswani

## 6. Heat and Mass Transfer

Satya Prokashan Brijlal N. Subrahmanyam P.S.Hemen

## 7. Heat Thermodynamics and Statistical Physics

S. Chand and Co.Ltd.

SUBJECT: ENGINEERING THERMODYNAMICS

CAPTER -03

SUBJECT CODE: 27131

### 3. UNDERSTAND THE LAWS OF PERFECT GASES.

(আর্দশ গ্যাসের সূত্রাবলি)

Define perfect gas

Explain the variables of perfect gases.

আদর্শ গ্যাসের সংজ্ঞাঃ যে কোনো স্থির তাপমাত্রায় যে সকল গ্যাসের আয়তন সকল চাপে বয়েলের সূত্র মেনে পরিবর্তিত হয় তাদেরকে সাধারণভাবে আদর্শ গ্যাস বলে। বাস্তবে আদর্শ গ্যাস দৃষ্টিগোচর হয় না। নিম্নচাপে এবং উচ্চ তাপমাত্রায় প্রায় সকল গ্যাস(যেমন-হাইড্রোজেন, হিলিয়াম গ্যাস) আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

State Boyle's law, Charles' law and Gay-Lussac law, Avogadro's law.

**বয়েলের সূত্রঃ** কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির থাকলে তার আয়তন চাপের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

**চালসের সূত্রঃ ১ম সূত্র,** স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার পরমতাপমাত্রার সমানুপাতিক।

**চালসের সূত্রঃ ২য় সূত্র,** চাপ স্থির থাকলে নির্দিষ্ট কোনো গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য তার  $0^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রার আয়তনের  $1/273$  ভাগ বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

State Boyle's law, Charles' law and Gay-Lussac law, Avogadro's law.

**গেলুসাকের সূত্রঃ** স্থির আয়তনে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের চাপ ওই গ্যাসের পরম বা কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

**প্রমান তাপমাত্রা ও চাপঃ** যে তাপমাত্রায় প্রমান চাপে বরফ গলে পানিতে পরিনত হয় বা পানি জমে বরফে পরিনত হয় সেই তাপমাত্রাকে প্রমান তাপমাত্রা বলে। শূন্য ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড বা ২৭৩ কেলভিন।

**প্রমান চাপঃ** 760 mm of Hg or 1.01325 kg/cm<sup>2</sup>

State Boyle's law, Charles' law and Gay-Lussac law,  
**Avogadro's law.**

**অ্যাভোগাদ্রোর সূত্র [Avogadro's law]:-**

বার্জিলিয়াসের প্রকল্প (একই চাপ ও উষ্ণতায় সম-আয়তন সকল গ্যাসের মধ্যে সমান সংখ্যক পরমাণু থাকে) সংশোধন করে অ্যাভোগাদ্রো একটি সূত্র প্রকাশ করেন। এটি অ্যাভোগাদ্রোর সূত্র নামে খ্যাত। সূত্রটি হল— একই চাপ ও উষ্ণতায় সম-আয়তন সকল গ্যাসের মধ্যে সমান সংখ্যক অণু থাকে।



Define perfect gas.

Explain the variables of perfect gases.

State Boyle's law, Charles' law and Gay-Lussac law, Avogadro's law.

বিভাগ-৩। আদর্শ গ্যাসের সূত্রাবলি  
- The Laws of Perfect Gases

\* আদর্শ গ্যাসের সীমিত ক্ষেত্র।  
উক্তি: যে সকল গ্যাস যে কোন স্থির তাপমাত্রায় একই চাপে  
বয়েলের সূত্রকে পরিবর্তিত হয় তাহলে আদর্শ গ্যাস বলে হয়।

\* বয়েলের সূত্র বিস্তারিত।  
উক্তি: তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন  
চাপের ব্যস্তানুগায়ে পরিবর্তিত হয়।  
অর্থাৎ  $V \propto \frac{1}{P}$  [যখন T স্থির]  
বা,  $V = c \times \frac{1}{P}$  [c একটি ধ্রুবক]  
বা,  $PV = c$   
বা  $P_1 V_1 = P_2 V_2 = \dots = P_n V_n = \text{ধ্রুবক}$

\* চার্লসের সূত্র বিস্তারিত।  
উক্তি: চাপ স্থির থাকলে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন  
তার সর্বময় তাপমাত্রার সমানুগায়ে।  
অর্থাৎ  $V \propto T$  [যখন P স্থির]  
বা,  $V = cT$  [c একটি ধ্রুবক]  
বা,  $\frac{V}{T} = c$   
বা,  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \dots = \text{ধ্রুবক}$

\* গ্যাসের চাপের সূত্র বিস্তারিত।  
উক্তি: আয়তন স্থির থাকলে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ  
তার সর্বময় তাপমাত্রার সমানুগায়ে।  
অর্থাৎ  $P \propto T$  [যখন V স্থির]  
বা,  $P = cT$  [c একটি ধ্রুবক]  
বা  $\frac{P}{T} = c$   
বা  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n}{T_n} = c$

Explain the general gas equation, characteristic gas equation and universal gas constant or molar constant.

প্রশ্ন: প্রমাণ তাপমাত্রা (Standard Temperature):

সে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বসন্ত গলে পরিষ্কার পরিচ্ছন্ন হওয়া বা সঠিকভাবে বসন্ত পরিষ্কার হওয়া, সেই তাপমাত্রাকে প্রমাণ তাপমাত্রা বলে। প্রমাণ তাপমাত্রা, MKS ও CGS পদ্ধতিতে  $0^\circ\text{C}$  এবং SI পদ্ধতিতে  $273^\circ\text{K}$ ।

\* প্রমাণ চাপ বলতে কী বুঝ?

উত্তর: সমুদ্রপৃষ্ঠে  $45^\circ$  অক্ষাংশে  $273^\circ\text{K}$  তাপমাত্রায় উল্লম্বভাবে স্থাপিত  $76\text{ cm}$  উচ্চতা বিশিষ্ট স্তম্ভ ও বিশুদ্ধ পারদ স্তম্ভ যে চাপ দেয় তাকে প্রমাণ চাপ বলে।

$\therefore$  প্রমাণ চাপ =  $76\text{ cm}$  পারদ স্তম্ভ =  $0.76\text{ m}$

আয়তন ঘনত্ব,  $P = Wh$

$\therefore$  প্রমাণ চাপ,  $P = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0.76\text{ m} \times 13.6$

$= 101396.16 \text{ N/m}^2$  [CGS পদ্ধতি]

$= 101.396 \text{ kN/m}^2$  [SI পদ্ধতি]

$= 1.0139 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  বা Pascal [প্রমাণ চাপ পদ্ধতি]

$= 10^4 \text{ kgf/m}^2$  [প্রমাণ চাপ পদ্ধতি]

\* STP ও NTP কি?

উত্তর: STP হন Standard Temperature and Pressure.  
এবং NTP হন Normal Temperature and Pressure.  
যদি STP কে NTP বলা হত!

Explain the general gas equation, characteristic gas equation and universal gas constant or molar constant.

\* আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রমাণ করলে,  $PV = nRT$

উত্তর: জানেবরি, কোন নির্দিষ্ট গ্যাসের ক্ষেত্রে, চাপ, আয়তন ও পদার্থের ওপর সমস্ত গুণ  $m, P, V$  ও  $T$  এবং আদর্শ গ্যাসের  $V_s$  বস্তুটির ক্ষেত্রে হলে পাঠে,  $V \propto \frac{1}{P}$  [যখন  $T$  স্থির]

চাপের ক্ষেত্রে হলে পাঠে,  $V \propto T$  [যখন  $P$  স্থির]

$\therefore$  যুগ্মভাবে উপরোক্ত দুটি সমীকরণ পাঠে,

$$V \propto \frac{T}{P}$$

বা  $V = c \frac{T}{P}$  [c একটি ধ্রুবক]

বা,  $PV = cT$

বা,  $PV_s = RT$  [যখন  $V_s = V$  এবং  $m = 1 \text{ kg}$  ও  $c = R$  ধরে]

বা,  $m PV_s = nRT$  [যখন  $m$  ও  $n$  স্থির]

বা  $PV = nRT$  [যখন  $mV_s = V$ ]

$\therefore PV = nRT$  (Proved)

\* MKS ও SI পদ্ধতিতে R এর একক নির্ণয় করে দেখাও।

উত্তর: আমরা জানি,  $PV = nRT$

$$\text{বা, } R = \frac{PV}{nT}$$

$\therefore$  MKS পদ্ধতিতে R এর একক =  $\frac{\text{kgf/cm}^2 \times \text{m}^3}{\text{kg} \times ^\circ\text{K}}$

$$= \frac{\text{kgf} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

এবং SI পদ্ধতিতে R এর একক =  $\frac{\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \text{m}^3}{\text{kg} \times ^\circ\text{K}}$

$$= \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$= \text{J/kg} \cdot ^\circ\text{K}$$

Explain the general gas equation, characteristic gas equation and **universal gas constant or molar constant.**

**Solve problems using gas laws and equations**

সর্বজনীন (Universal) বা স্ফটিক গ্যাস ধ্রুৱক সংজ্ঞা  
 আন নিয়ম।  
 উক্তিঃ গ্যাস ধ্রুৱককে যখন আনবিক ভৰ দিয়ে উল্লেখ হয়,  
 তখন তাকে সর্বজনীন (Universal) বা স্ফটিক গ্যাস ধ্রুৱক  
 বলা হয়।  
 সামগ্ৰিক ভাৱে,  $R_u = MR$  | য'ত  $M =$  গ্যাসৰ আনবিক ভৰ  $\text{kg-mole}^{-1}$   
 $R =$  গ্যাস ধ্রুৱক  
 যদি  $M_1, M_2, M_3$  ইত্যাদি বিভিন্ন গ্যাসৰ আনবিক ভৰ এবং  
 গ্যাস ধ্রুৱক  $R_1, R_2, R_3$  ইত্যাদি হয়, তেন্তে  
 $M_1 R_1 = M_2 R_2 = M_3 R_3 = \dots = R_u$   
 SI একক  $R$  ৰ মান  $8.314 \text{ kJ/kg-mole}^\circ\text{K}$ ।  
 উদাহৰণ-৩) ST.P তে  $1 \text{ kg}$  বায়ু  $0.799$  ঘনমিটাৰ আয়তন দখল  
 কৰে।  $R$  ৰ মান নিৰ্ণয় কৰা,  $20^\circ\text{C}, 22, 22^\circ\text{C}$ ।  
 Solution: আনবিক ভৰ,  $R = \frac{PV}{mT}$   
 দেয়া অনুসৰি,  
 $m = 1 \text{ kg}$   
 $V = 0.799 \text{ m}^3$   
 $R = ?$  [MKS পদ্ধতিত]  
 আনবিক ভৰ,  $P = 10^4 \text{ kgf/m}^2$  [MKS পদ্ধতিত]  
 তাপমাত্ৰা  $T = 273^\circ\text{K}$   
 $\therefore R = \frac{10^4 \text{ kgf/m}^2 \times 0.799 \text{ m}^3}{1 \text{ kg} \times 273^\circ\text{K}}$   
 $\therefore R = 29.27 \text{ kgf-m/kg}^\circ\text{K}$  Ans

# Solve problems using gas laws and equations

প্রশ্ন-২। একটি গ্যাস  $3 \text{ kgf/cm}^2$  চাপে  $10 \text{ m}^3$  বায়ু আয়তন। যদি বায়ু  
তাপমাত্রা পরিবর্তন না করে আর কুণ্ডি করে আয়তন  $2 \text{ m}^3$   
করা হয়। অতঃপর গ্যাস বায়ুর চাপ কত হবে?

Soln:

বসেলেট সূত্র হাট আয়তন জগিত,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\therefore P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{3 \text{ kgf/cm}^2 \times 10 \text{ m}^3}{2 \text{ m}^3}$$

$$\therefore P_2 = 15 \text{ kgf/cm}^2 \text{ Ans}$$

দিয়া আছে,

$$P_1 = 3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$V_1 = 10 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 2 \text{ m}^3$$

$$P_2 = ?$$

প্রশ্ন-৩। নির্দিষ্ট ভলিমে বায়ু  $15^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $2 \text{ m}^3$  আয়তন  
দখল করে। চাপ স্থির রেখে যদি বায়ুর তাপমাত্রা  $400^\circ\text{C}$  করলে  
আয়তন কত হবে?

Soln:

চার্লস এর সূত্র অনুসরণ করে,

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

$$\therefore V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{2 \text{ m}^3 \times 673^\circ\text{K}}{288^\circ\text{K}}$$

$$\therefore V_2 = 4.67 \text{ m}^3 \text{ Ans}$$

দিয়া আছে,

$$T_1 = 15^\circ\text{C} = 15 + 273 = 288^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 400^\circ\text{C} = 400 + 273 = 673^\circ\text{K}$$

$$V_1 = 2 \text{ m}^3$$

$$V_2 = ?$$

প্রশ্ন-৪।  $0^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় কোন গ্যাসের আয়তন  $500 \text{ cm}^3$  হলে  
 $10^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় তার আয়তন কত হবে? [বিকল্পিতা-২০ ১০]

Soln:

$$\text{আয়তন জগিত, } V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

$$= 500 \left(1 + \frac{10}{273}\right)$$

$$= 500 \times 1.0366$$

$$\therefore V_t = 518.1 \text{ cm}^3 \text{ Ans}$$

দিয়া আছে,

$$V_0 = 500 \text{ cm}^3$$

$$t = 10^\circ\text{C}$$

$$V_t = ?$$

# Solve problems using gas laws and equations

সং: ৭। কোন গ্যাস  $7 \text{ kgf/cm}^2$  চাপে এবং  $200^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $5.6$  সেনিমিটার আয়তন দখল করে।  $R = 29.27 \text{ kgf}\cdot\text{m}/\text{kg}^\circ\text{K}$  হলে গ্যাসের ভর নির্ণয় কর।

সমাধানঃ

$$PV = mRT$$

$$m = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{7 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2 \times 5.6 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{29.27 \text{ kgf}\cdot\text{m}/\text{kg}^\circ\text{K} \times 473 \text{ K}}$$

$$= 28.31 \text{ kg} \quad \text{Ans}$$

দিয়া আছে

$$P = 7 \text{ kgf/cm}^2 = 7 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2$$

$$V = 5.6 \text{ m}^3$$

$$T = 200^\circ\text{C} = 200 + 273 = 473 \text{ K}$$

$$R = 29.27 \text{ kgf}\cdot\text{m}/\text{kg}^\circ\text{K}$$

$$m = ?$$

উদাঃ- ৮।  $2 \text{ kg}$  ভরের অক্সিজেন গ্যাস  $300^\circ\text{K}$  তাপমাত্রায় এবং  $120 \text{ kPa}$  চাপে বর্তমান আয়তন দখল করবে?  $R = 287 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$

সং: ৮।

$$PV = mRT$$

$$\therefore V = \frac{mRT}{P}$$

$$= \frac{2 \text{ kg} \times 287 \text{ J/kg}^\circ\text{K} \times 300 \text{ K}}{120 \text{ N/m}^2}$$

$$= 1.43 \frac{\text{J}}{\text{N/m}^2}$$

$$= 1.43 \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{1} \times \frac{\text{m}^2}{\text{N}}$$

$$\therefore V = 1.43 \text{ m}^3 \quad \text{Ans}$$

[বিঃদ্রঃ: এখানে  $V$  এর একক সঠিক হলে দেখানো চক্রে সঠিক উত্তর দেয়া হবে। এককের হিসাব দেখানো হল।]

দিয়া আছে,

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$T = 300^\circ\text{K}$$

$$P = 120 \text{ kPa} = 120 \text{ Pa} = 120 \text{ N/m}^2$$

$$R = 287 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

# **Mymensingh Polytechnic Institute**

**DIPLOMA IN POWER ENGINEERING**

**THIRD SEMESTER POWER**

**Sub : ENGINEERING THERMODYNAMICS.**

Sub. Code: 27131

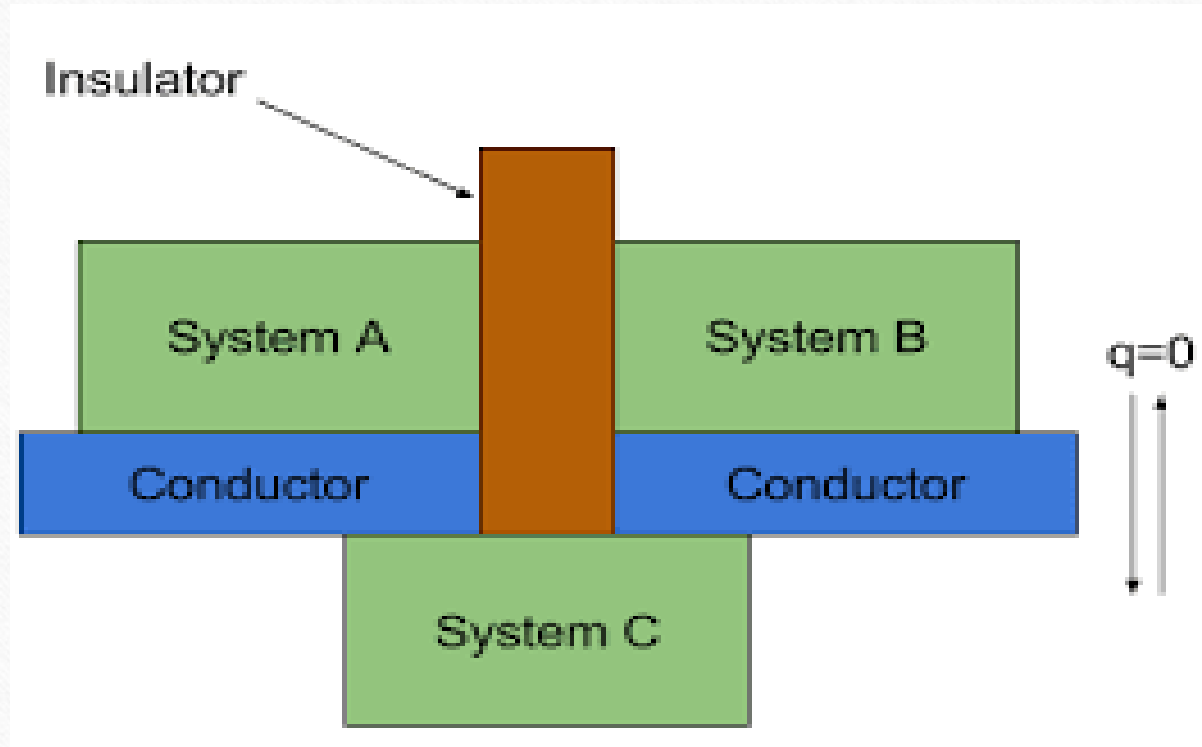
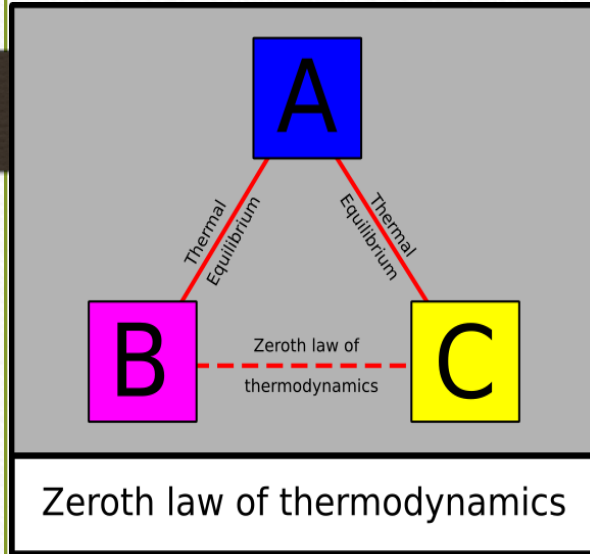
4. UNDERSTAND THE  
LAWS OF  
THERMODYNAMICS.

(তাপ গতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ)



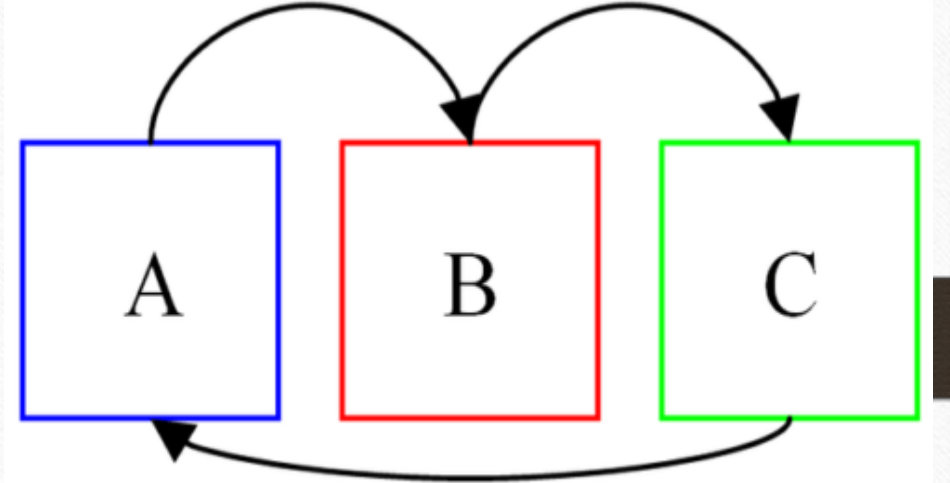
# অধ্যায়-৪ তাপ গতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ

তাপ গতিবিজ্ঞানের শূন্যতম সূত্রঃ যখন দুটি বস্তু একটি তৃতীয় বস্তু দিয়ে তাপীয় ভারসাম্য আসে তখন এরা প্রত্যেকেই তাপীয় ভারসাম্য প্রাপ্ত হয়। *যদি দুটি বস্তু A ও B পৃথক পৃথকভাবে একটি তৃতীয় বস্তু C-এর সাথে তাপীয় সাম্যে থাকে, তবে A ও B একে অপরের সাথে তাপীয় সাম্যে থাকবে।*



**তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্র :** Zeroth Law of Thermodynamics) থেকে জানা যায়, যদি  $A$  ও  $B$  দুটি **বস্তু** হয় এবং এদের মধ্যস্থতাকারী একটি **বস্তু**  $C$  হয়, তাহলে  $A$  ও  $B$  সমতাপীয় অবস্থায় থাকলে  $A$  ও  $C$  এবং  $B$  ও  $C$  সমতাপীয় অবস্থায় থাকবে।

একে শূন্যতম সূত্র বলার কারণ হলো, এটি তাপগতিবিদ্যার প্রথম দুটি সূত্রের পরে আবিষ্কৃত হয়েছিলো; কিন্তু বিষয়বস্তু এবং বৈশিষ্ট্যের দিক থেকে এটা ওই দুই সূত্রের চেয়ে মৌলিক ছিলো। এই সূত্রটিকে ওই দুই সূত্রের ভিত্তি বলে মনে করা হয়। এ সূত্রটিই আমাদেরকে **তাপ** ও **তাপমাত্রার** ধারণা দেয়।



## অধ্যায়-৪ তাপ গতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ

তাপ গতিবিজ্ঞানের ১ম সূত্রঃ তাপ শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে অথবা যান্ত্রিক শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তর হলে রূপান্তরিত যান্ত্রিক শক্তি ও উৎপন্ন তাপ শক্তি সর্বদাই সমানুপাতিক।

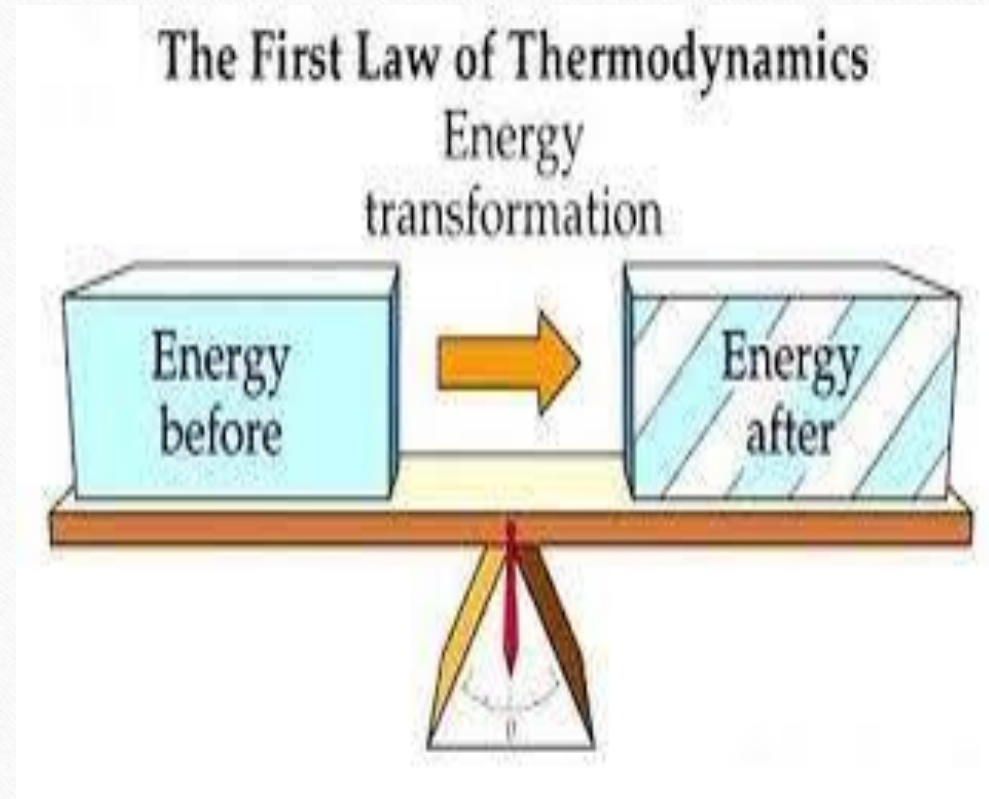
$W =$  কাজ

$Q$  or  $H =$  সরবরাহকৃত তাপ

$W @ Q$  or  $W @ H$

$W = JQ$  or  $W = JH$ ,  $J =$  যান্ত্রিক তুল্যাংক  
(Mechanical Equivalent)

$J = 427 \text{ kg-m/kcal}$ ,  $4.2 \text{ kJ/kcal}$ ,  $778 \text{ ft-lb/BTU}$

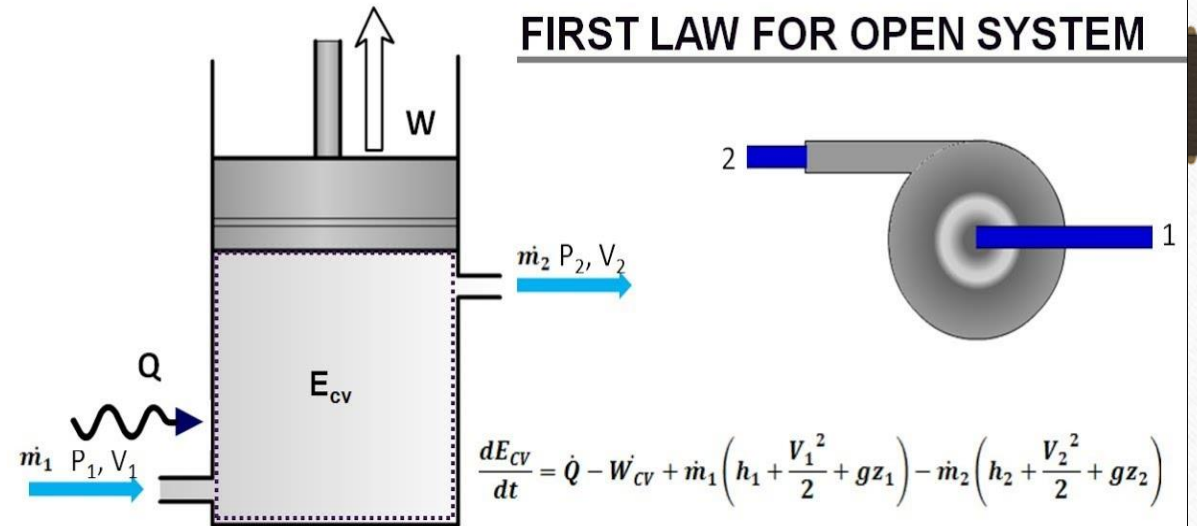


# তাপ গতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ

এই সূত্র থেকে আরও বলা যায় যে,  
সরবরাহকৃত তাপশক্তির কিছু অংশ  
অন্তর্নিহিত শক্তি বৃদ্ধি করে এবং বাকি  
অংশ কাজে পরিণত হয়।

$H=W+E$  ,  $H$ =Heat Supplied,  
 $W$ = Work done, $E$ =Enternal  
Energy

## CONSERVATION OF ENERGY



## 4.2 Explain the 1st law of thermodynamics and its limitation.

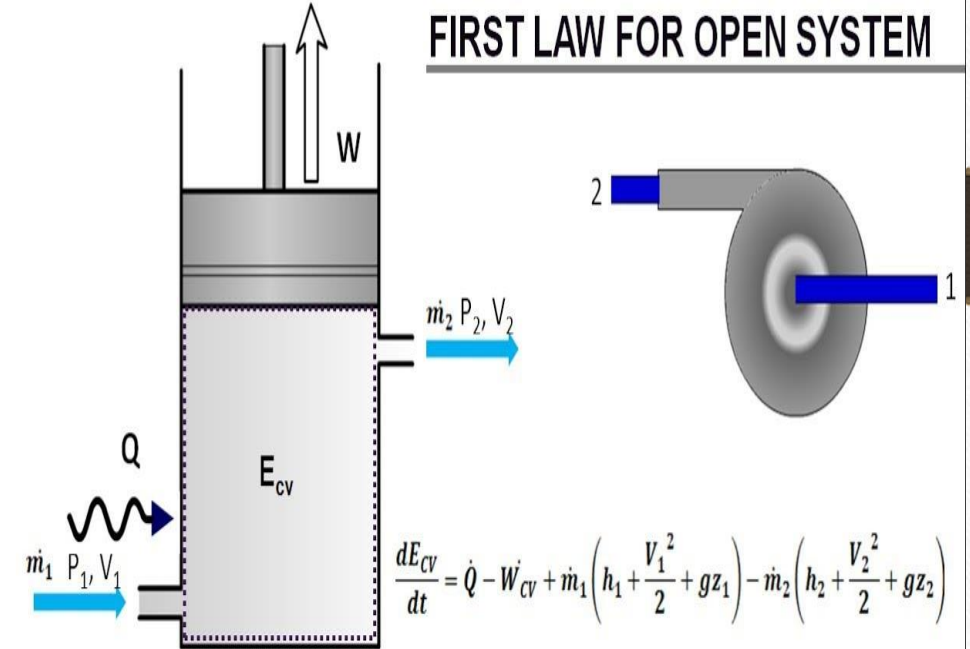
**তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র** ( First Law of Thermodynamics) প্রকৃতপক্ষে শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ।

বিজ্ঞানী জেমস প্রেসকট জুল সর্বপ্রথম কাজ ও তাপের মধ্যে একটি সঠিক সম্পর্ক নির্ণয় করেন এবং একে সূত্র আকারে প্রকাশ করেন। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটিকে সাধারণত বিবৃত করা হয় এভাবে যে,

কোনো বদ্ধ সিস্টেম বা ব্যবস্থায় তাপশক্তি প্রদান করা হলে তার কিছু অংশ অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধিতে আর কিছু অংশ কাজ সম্পাদনে ব্যবহৃত হয়। ক্ষুদ্রাক্ষুদ্র প্রদানকৃত তাপ  $dQ$ , অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি  $dU$  এবং সম্পাদিত কাজ  $dW$  হলে, গাণিতিক বিবৃতিটি হবে:

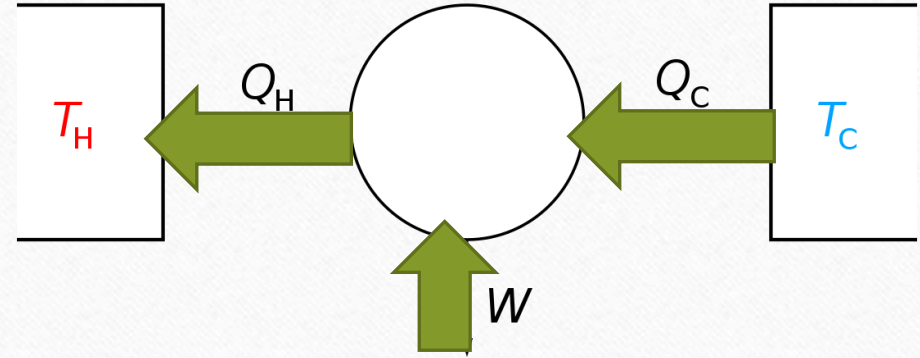
## CONSERVATION OF ENERGY

### FIRST LAW FOR OPEN SYSTEM

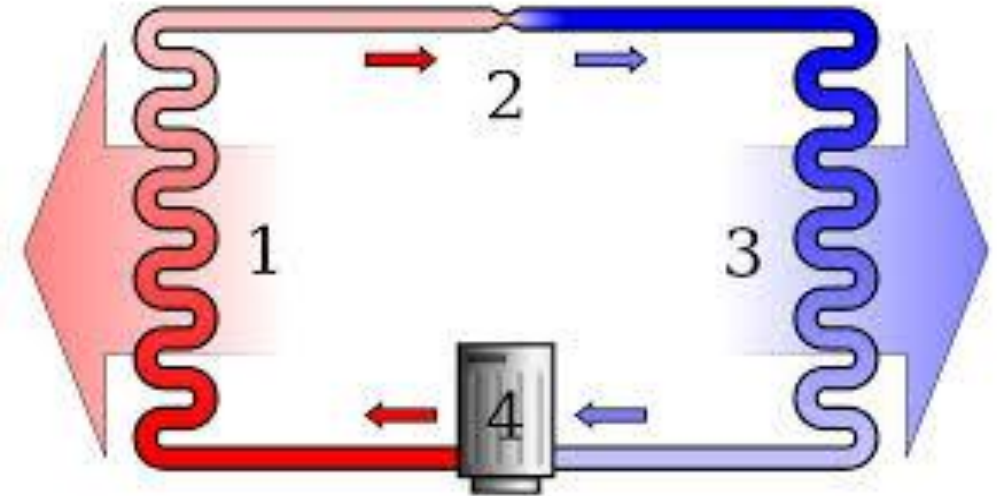
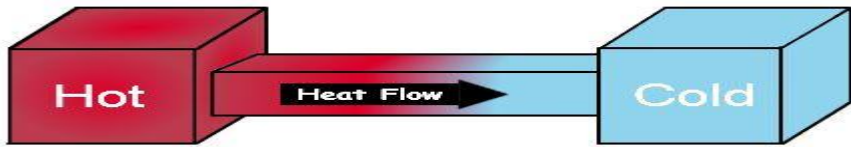


# তাপ গতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ

তাপ গতিবিজ্ঞানের ২য় সূত্রঃ ক্লসিয়াস দ্বিতীয় সূত্রের যে সংজ্ঞা প্রদান করেন তা নিম্নরূপঃ বাইরের কোনো কারকের সাহায্য ব্যতিরেকে একটি স্বংক্রিয় যন্ত্রেও পক্ষে নিম্ন উষ্ণতার বস্তু হতে উচ্চ উষ্ণতার বস্তুতে তাপ স্থানান্তর করা সম্ভব নয়।



*Second law of Thermodynamics*

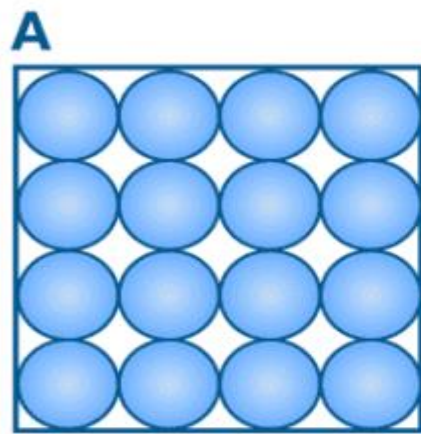


## তাপ গতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ

প্লাঙ্ক দ্বিতীয় সূত্রকে নিম্নলিখিত ভাষায় বিবৃত করেন : কোনো তাপ উৎস হতে অবিরত তাপ শোষণ করবে এবং তা সম্পূর্ণ রূপে কাজে পরিণত করবে কিন্তু যন্ত্রেও কার্যপ্রণালির কোনোরূপ পরিবর্তন ঘটবে না, এরূপ একটি তাপ ইঞ্জিন তৈরি অসম্ভব।

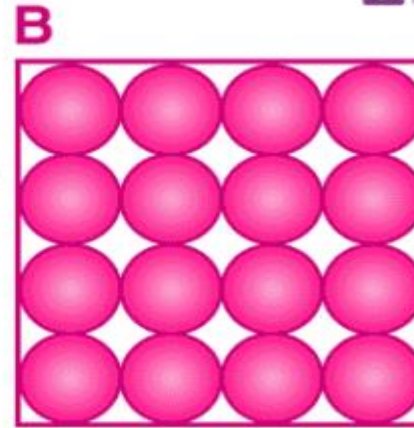
# তাপ গতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ

তাপ গতিবিজ্ঞানের ৩য় সূত্রঃ বিশুদ্ধ বস্তুর এন্ট্রপি শূন্য হবে যখন এর পরম তাপমাত্রা শূন্য হবে।



$$\begin{aligned}T &= 0\text{K} \\S &= 0 \\W &= 1\end{aligned}$$

Increasing  
temperature



$$\begin{aligned}T &> 0 \\S &> 0 \\W &> 1\end{aligned}$$

BYJU'S  
The Learning App



## Explain the 2nd law of thermodynamics and its limitation.

তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রটি লেখ এবং ব্যাখ্যা করো।

উত্তর : বিভিন্ন বিজ্ঞানী তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রকে বিভিন্নভাবে সংজ্ঞায়িত করেছেন, সেগুলো নিম্নে বিবৃতি করা হলো :

**ব্লসিয়াসের বিবৃতি :** বাইরের সাহায্য ছাড়া কোনো স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন তাপমাত্রার কোনো বস্তু থেকে উচ্চ তাপমাত্রার বস্তুতে তাপের স্থানান্তর সম্ভব নয়।  
**কার্নোর বিবৃতি :** কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপশক্তিকে সম্পূর্ণভাবে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর সম্ভব এমন যন্ত্র নির্মাণ সম্ভব নয়।

**প্লাংকের বিবৃতি :** এমন কোনো ইঞ্জিন তৈরি সম্ভব নয়, যেটা কোনো বস্তু থেকে তাপ গ্রহণ করে অবিরত কাজে পরিণত করবে অথচ পরিবেশের কোনো পরিবর্তন হবে না।

**কেলভিনের বিবৃতি :** কোনো বস্তুকে এর পারিপার্শ্বের শীতলতম অংশ থেকে অধিকতর শীতল করে শক্তির অবিরাম সরবরাহ সম্ভব নয়।

ব্যাখ্যা : তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা জেনেছি যে তাপ ও যান্ত্রিক শক্তি উভয়ই শক্তির বিভিন্ন রূপ এবং এক রূপ থেকে অন্য রূপে পরিবর্তন সম্ভব। এটি ছাড়াও রূপান্তরের সময় একে অন্যের সমতুল্য এটি এবং প্রথম সূত্রের সাহায্যে জানা যায়। বাস্তব ক্ষেত্রে যদিও আমরা একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ কার্যকে সম্পূর্ণভাবে তাপে রূপান্তরিত করতে পারি কিন্তু একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপকে সম্পূর্ণভাবে কার্যে রূপান্তরিত করার পরিকল্পনা কখনো বাস্তবায়িত করা সম্ভব নয়। কিংবা তাপের উৎপত্তি কোথায়- কোনো

উত্তপ্ত বস্তু, না শীতল বস্তু। এসব প্রশ্নের উত্তর প্রথম সূত্র থেকে পাই না। এসব প্রশ্নের উত্তর তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র থেকে পাই। তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রানুসারে যখন তাপ কাজে রূপান্তরিত হয়, তখন তার কিছু অংশ কাজে রূপান্তরিত হয়, সব তাপই কাজে রূপান্তরিত হয় না। সর্বোপরি ওই রূপান্তরের জন্য সর্বদা একটি উত্তপ্ত ও একটি শীতল বস্তুর যুগপৎ উপস্থিতি প্রয়োজন। উত্তপ্ত বস্তু হতে শীতল বস্তুতে তাপ গমনকালে কিছু কাজ সম্পন্ন হবে।

## Mention the corollaries of 2nd law of thermodynamics.

তাপ গতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ

৪.৫ তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের অনুসিদ্ধান্তসমূহ (The corollaries of 2<sup>nd</sup> law of thermodynamics) :

তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের অনেকগুলো অনুসিদ্ধান্ত আছে। তাদের মধ্যে নিচে তিনটি উল্লেখ করা হল।

অনুসিদ্ধান্ত-১ : এমন একটি ইঞ্জিন তৈরি করা অসম্ভব যা দুটি তাপ আধার দিয়ে পরিচালিত হবে এবং ইঞ্জিনটির দক্ষতা ওই দুটি তাপ আধার দিয়ে পরিচালিত প্রত্যাবর্তী ইঞ্জিন এর চেয়ে বেশি হবে।

অনুসিদ্ধান্ত-২ : নির্দিষ্ট দুটি আধার দিয়ে পরিচালিত সকল প্রত্যাবর্তী ইঞ্জিনের দক্ষতা সমান হয়।

অনুসিদ্ধান্ত-৩। যখন কোনো বদ্ধ সিস্টেম চক্রিয় প্রক্রিয়ায় স্থানান্তরিত হয়, তখন প্রত্যাবর্তী চক্রে মোট এন্ট্রপি শূন্য হয় এবং অপ্রত্যাগামী চক্রে মোট এন্ট্রপি ঋণাত্মক হয়।

গাণিতিকভাবে  $\frac{dQ}{T} = 0$  প্রত্যাবর্তী চক্রিয় প্রক্রিয়ায়

$\frac{dQ}{T} < 0$  অপ্রত্যাবর্তী চক্রিয় প্রক্রিয়ায়

ওপরের দুটির সমন্বয়  $\frac{dQ}{T} \leq 0$  সাধারণভাবে।

## 4.5 Mention the corollaries of 2nd law of thermodynamics.

### ৪.৬ তাপ গতিবিজ্ঞানের প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রের তাৎপর্য (Physical significance of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> law of thermodynamics) :

#### তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের তাৎপর্য (Significance of the first law of thermodynamics) :

তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের নিম্নলিখিত তাৎপর্য রয়েছে :

- ১। এটি তাপ ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে।
- ২। এ সূত্র অনুযায়ী নির্দিষ্ট পরিমাণ কাজ পেতে গেলে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপের প্রয়োজন অথবা নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ পেতে গেলে নির্দিষ্ট পরিমাণ কাজ সম্পাদন করা প্রয়োজন।
- ৩। কোনো কিছু ব্যয় না করে কাজ বা শক্তি পাওয়া অসম্ভব।
- ৪। কাজ ও তাপ একে অপরের তুল্য মূল্য।
- ৫। এটি শক্তির সংরক্ষণ সূত্র ছাড়া আর কিছুই নয়।
- ৬। এমন কোনো যন্ত্রের উদ্ভাবন হয় নাই যা জ্বালানি বা শক্তি ব্যতিরেকে কাজ করতে সক্ষম অর্থাৎ অনন্ত গতিযুক্ত যন্ত্র (Perpetual motion machine) উদ্ভাবন সম্ভব নয় বা শক্তি ব্যয় না করে কোনো কাজ পাওয়া সম্ভব নয়।

## Mention the corollaries of 2nd law of thermodynamics.

তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের তাৎপর্য (Significance of the second law of thermodynamics) :

- ১। দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে এমন কোনো যন্ত্র তৈরি করা সম্ভব হয় নাই যা একটি পূর্ণ আবর্তনে কেবল উৎস হতে তাপ নিয়ে সম্পূর্ণ তাপকে কাজে পরিণত করতে পারে।
- ২। দ্বিতীয় সূত্র বলে- ব্যবহার্য কাজের মাত্রা কমেই চলেছে অর্থাৎ এন্ট্রপি বেড়েই চলেছে।
- ৩। দ্বিতীয় সূত্রের গাণিতিক রূপ হল  $dQ = Tds$  এখানে  $dQ =$  সরবরাহিত তাপ,  $ds =$  এন্ট্রপির পরিবর্তন এবং  $T =$  পরম তাপমাত্রা।
- ৪। দ্বিতীয় সূত্র তাপ গতি তত্ত্বে এন্ট্রপি (S) এই অপেক্ষকটির জন্ম দিয়েছে।
- ৫। দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে দ্বিতীয় শ্রেণীর অবিরাম গতি অসম্ভব। কেবল তাপ উৎস হতে তাপ গ্রহণ করে ওই তাপের সবটুকুর বিনিময়ে কাজ করা সম্ভব হলে তাকে দ্বিতীয় শ্রেণীর অবিরাম গতি (Perpetual motion of the second kind) বলে।
- ৬। দ্বিতীয় সূত্রের প্রাস্তব প্রয়োগ হিমায়ন যন্ত্রে দেখা যায়।

**SUBJECT: ENGINEERING THERMODYNAMICS**

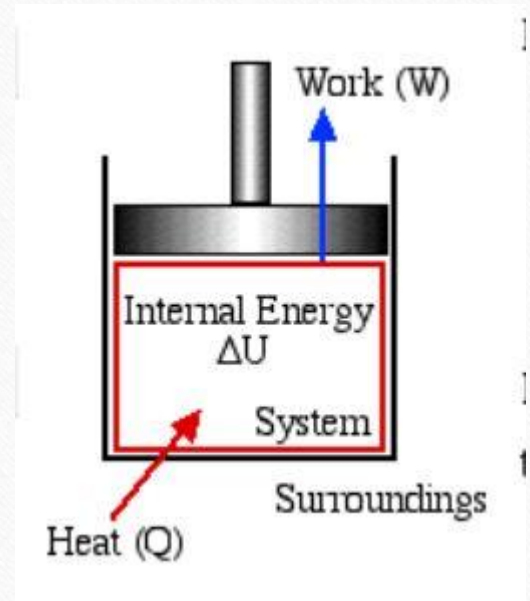
**CAPTER -05**

**SUBJECT CODE: 27131**

5. UNDERSTAND THE  
INTERNAL ENERGY AND  
ENTHALPY OF GASES.

# Define internal energy.

**অন্তর্নিহিতশক্তির সংজ্ঞাঃ** যদি কোনো বস্তু বা গ্যাস তার আয়তন স্থির রেখে কিছু পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে অর্থাৎ যদি গ্যাসটি কোনো বাহ্যিক কাজ সম্পাদন ব্যতীত সবটুকু তাপ শোষণ করে, তা হলে গৃহিত তাপের সবটুকুই এর ভেতর সঞ্চিত শক্তি বৃদ্ধি করতে ব্যয়িত হবে। একেই বলে অন্তর্নিহিত শক্তি।



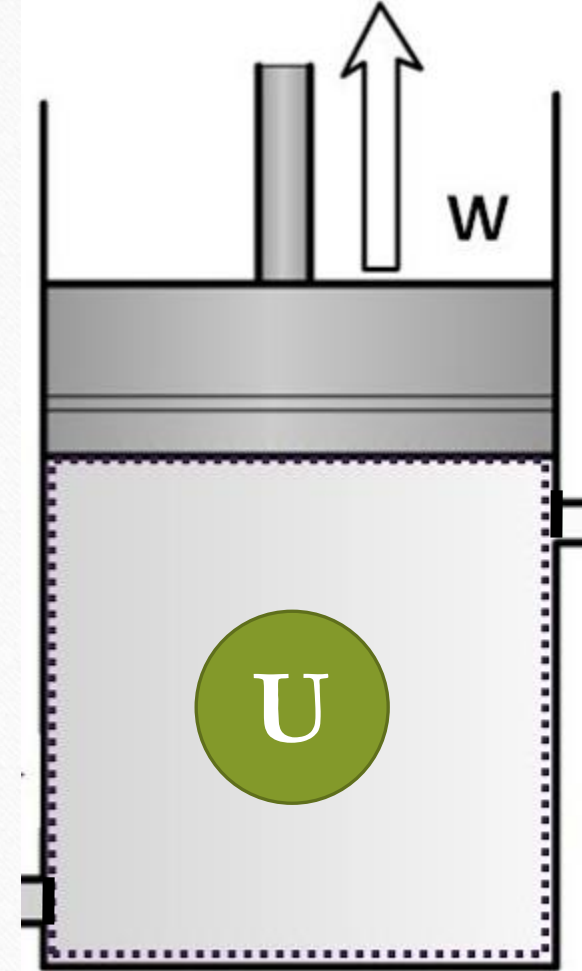


**এনথালপিঃ** কোনো প্রবাহীর প্রবাহজনিত কাজ ও অন্তর্নিহিত শক্তির যোগফলকে এনথালপি বলে।

## ENTHALPY

$$H = U + PV$$

H = Enthalpy  
P = Pressure  
V = Volume  
U = Internal Energy



## Explain the internal energy of a gas heated at constant volume and constant pressure.

৫.৩ সমচাপ ও সমায়তন প্রক্রিয়ায় গ্যাসে তাপ প্রয়োগে অন্তর্নিহিত শক্তির ব্যাখ্যা (Explanation of the internal energy of gas heated at constant volume and constant pressure) :

সমায়তন প্রক্রিয়ায় অন্তর্নিহিত শক্তি (Internal energy of gas heated at constant volume) : ধরি,  $m$  কেজি ভরের কোনো গ্যাসকে সমায়তন প্রক্রিয়ায় তাপ দিয়ে  $T_1$  তাপমাত্রা হতে  $T_2$  তাপমাত্রায় উন্নীত করা হল।

আমরা জানি, সমায়তন প্রক্রিয়ায় সরবরাহকৃত মোট তাপ,  $H = mC_v (T_2 - T_1)$

যেহেতু, আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় নাই। সুতরাং এই প্রক্রিয়ায় কোনো কাজ হয় নাই, অর্থাৎ  $W = 0$

তাপ গতিবিজ্ঞানের প্রথম সূত্র হতে আমরা জানি  $H = E + W$

সমায়তন প্রক্রিয়ার জন্য সূত্র দাঁড়ায়  $H = E + 0$

বা,  $H = E$  বা,  $H = mC_v (T_2 - T_1)$

ওপরের সমীকরণ হতে বুঝা যায় যে, সমায়তন প্রক্রিয়ায় অন্তর্নিহিত শক্তি সরবরাহকৃত মোট তাপের সমান।

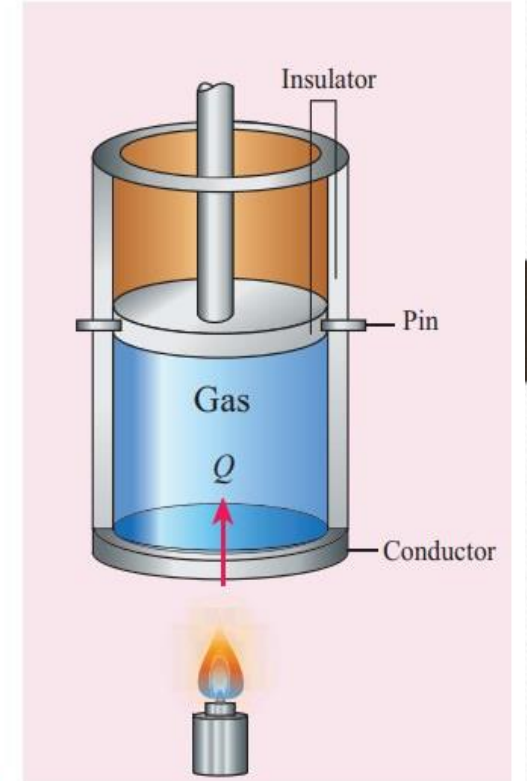


Figure 8.24 Specific heat capacity at constant volume

## Explain the internal energy of a gas heated at constant volume and constant pressure.

সমচাপ প্রক্রিয়ায় অন্তর্নিহিত শক্তি (Internal energy of gas at constant pressure)  
সমচাপে তাপ প্রয়োগ করে  $T_1$  তাপমাত্রা হতে  $T_2$  তাপমাত্রায় উন্নীত করা হল। আমরা

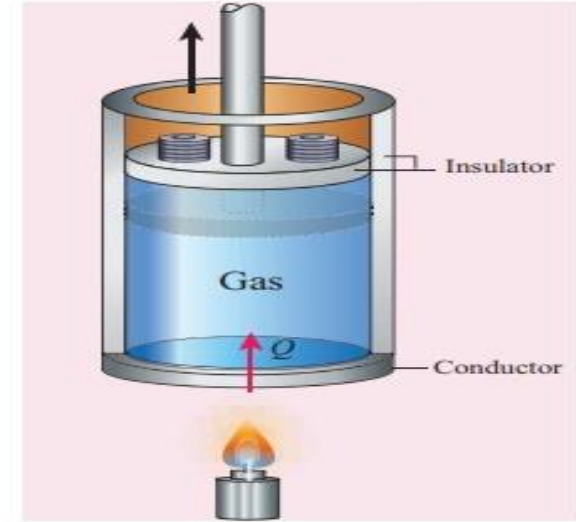
$$\text{সম্পাদিত কাজ } W = \frac{p(V_2 - V_1)}{J} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{J}$$

$$\text{এবং অন্তর্নিহিত শক্তির বৃদ্ধি } E = mC_v(T_2 - T_1)$$

তাপ গতিবিজ্ঞানের প্রথম সূত্র হতে আমরা জানি,  $H = E + W$

$$\text{সমচাপ প্রক্রিয়ার জন্য সূত্রটি দাঁড়ায় } H = mC_v(T_2 - T_1) + \frac{mR(T_2 - T_1)}{J}$$

ওপরের সমীকরণ হতে বুঝা যায় যে, সমচাপ প্রক্রিয়ায় সরবরাহকৃত তাপের কিছু অংশ অন্তর্নিহিত শক্তি বৃদ্ধিতে ব্যয় হয় এবং বাকি অংশ বাহ্যিক কাজ সম্পাদনে ব্যয় হয়।



**Figure 8.23** Specific heat capacity at constant pressure

# Relate between internal energy and enthalpy

could anyone explain me the fundamental different between internal energy and enthalpy? I searched and found the below definitions for both terms. **INTERNAL ENERGY:** In thermodynamics, the internal energy is the energy contained by a thermodynamic system. **ENTHALPY:** Enthalpy is a measure of the total energy of a thermodynamic system. I really couldn't find the differences. Is enthalpy a subset of internal energy or internal energy a subset of enthalpy?

## Explain Joule's law.

the principle that at constant temperature the internal energy of an ideal gas is independent of volume.

Real gases change their internal energy with volume as a result of intermolecular forces

Solve problems on change of internal energy and enthalpy of gases.

**Mymensingh Polytechnic Institute**

DIPLOMA IN POWER ENGINEERING

THIRD SEMESTER POWER

Sub : ENGINEERING THERMODYNAMICS.

*Sub. Code: 27131*

6. UNDERSTAND THE  
THERMODYNAMIC  
PROCESSES OF PERFECT  
GASES.



## তাপ গতীয় প্রক্রিয়া

তাপ গতিবিদ্যায় ব্যবস্থার অবস্থা চাপ, আয়তন, ও পরম তাপমাত্রার সাহায্য প্রকাশ করা হয়। এই রাশিগুলোকে তাপগতীয় স্থানাঙ্ক বা তাপগতীয় চলরাশি বলে। যে পরিবর্তনের কারণে তাপগতীয় স্থানাঙ্কের মান পরিবর্তন হয়, সে পরিবর্তনকে তাপগতীয় প্রক্রিয়া বলে।

# তাপ গতীয় প্রক্রিয়া

## তাপ গতীয় প্রক্রিয়ার শ্রেণীবিভাগ

সমস্ত তাপগতীয় প্রক্রিয়াগুলোকে দু,টি প্রধান গোত্রে ভাগ করা হয় ।

১.অ-প্রবাহমূলক প্রক্রিয়া

২. প্রবাহমূলক প্রক্রিয়া

প্রবাহমূলক প্রক্রিয়া আবার দু ভাগে ভাগ করা যায়

১.অবিচল প্রবাহ প্রক্রিয়া

২.অনবিচল প্রবাহ প্রক্রিয়া

## তাপ গতীয় প্রক্রিয়া

প্রত্যাগমন অনুসারে প্রবাহকে দু,ভাগে ভাগ করা যায়

১.প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া

২.অপ্রত্যাবর্তক প্যক্রিয়া

এছাড়াও আরও দু ধরনের আছে

১.চক্রিয় প্রক্রিয়া

২. আপাত স্থির প্রক্রিয়া

## তাপ গতীয় প্রক্রিয়া

- অপ্রবাহমূলক প্রক্রিয়া (Non-flow process): বদ্ধ সিস্টেমে যে তাপগতীয় প্রক্রিয়া সংঘটিত হয়, যা ভরকে সীমানা অতিক্রমের অনুমতি দেয় না, তাকে অপ্রবাহমূলক প্রক্রিয়া বলে। তাপ, কাজ সীমানা অতিক্রম করতে পারে।
- প্রবাহমূলক প্রক্রিয়া (flow process): খোলা সিস্টেমে যে তাপগতীয় প্রক্রিয়া সংঘটিত হয়, যা ভরকে সীমানা অতিক্রমের অনুমতি দেয়, তাকে প্রবাহমূলক প্রক্রিয়া বলে।

# তাপ গতীয় অপ্রবাহমূলক প্রক্রিয়াসমূহের তালিকা:

## ১। প্রত্যাবর্তক অ-প্রবাহমূলক প্রক্রিয়াসমূহ

ক. স্থির আয়তন প্রক্রিয়া

খ. স্থির চাপ প্রক্রিয়া

গ. পরাবৃত্তিক বা পরাবৃত্তীয় প্রক্রিয়া

ঘ. স্থির তাপমাত্রা প্রক্রিয়া

ঙ. স্থির এন্ট্রপি বা প্রত্যাবর্তক রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া

চ. পলিট্রপিক প্রক্রিয়া

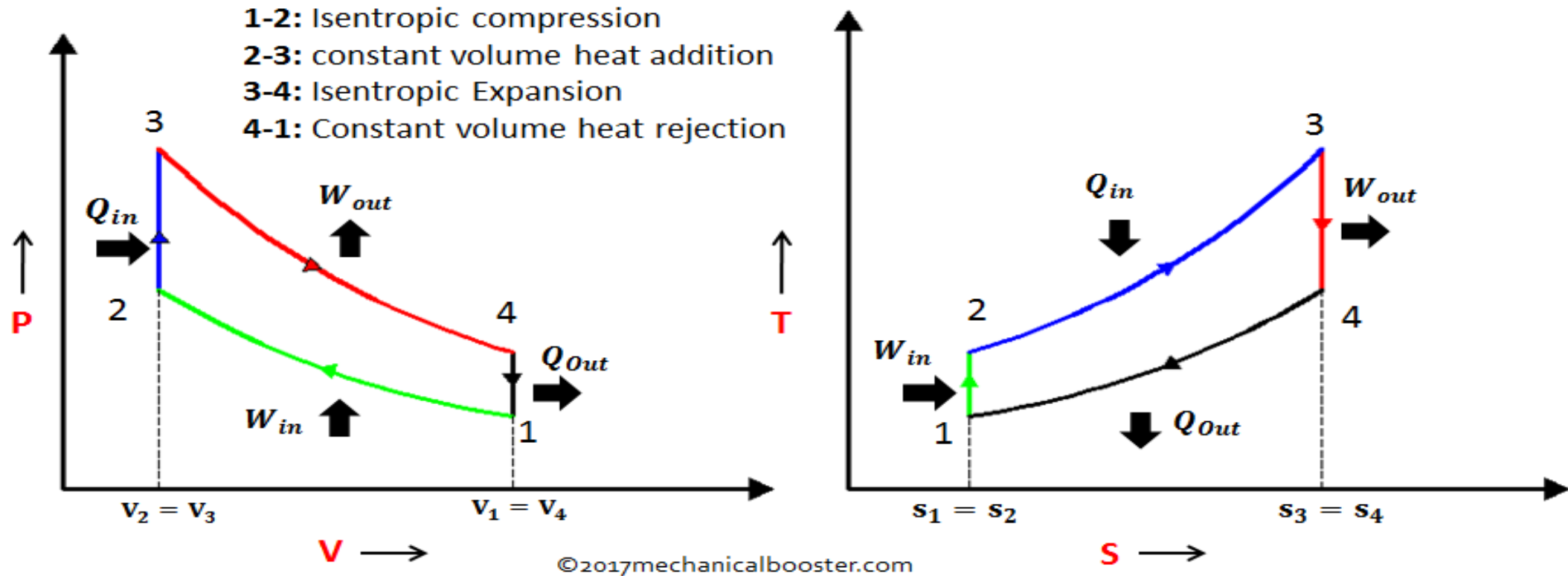
## ২। অপ্রত্যাবর্তক অ-প্রবাহমূলক প্রক্রিয়া

ক. মুক্ত প্রসারণ বা স্থির অন্তর্নিহিত শক্তি প্রক্রিয়া

## ৩। অপ্রত্যাবর্তক অবিচল প্রবাহ প্রক্রিয়া

ক. নিরুদ্ধ প্রক্রিয়া বা স্থির এনথালপি প্রক্রিয়া

স্থির আয়তন বা সমায়তন প্রক্রিয়া পি-ভি ও টি-এস ডায়াগ্রাম এবং কাজের পরিমাণ নির্ণয়।



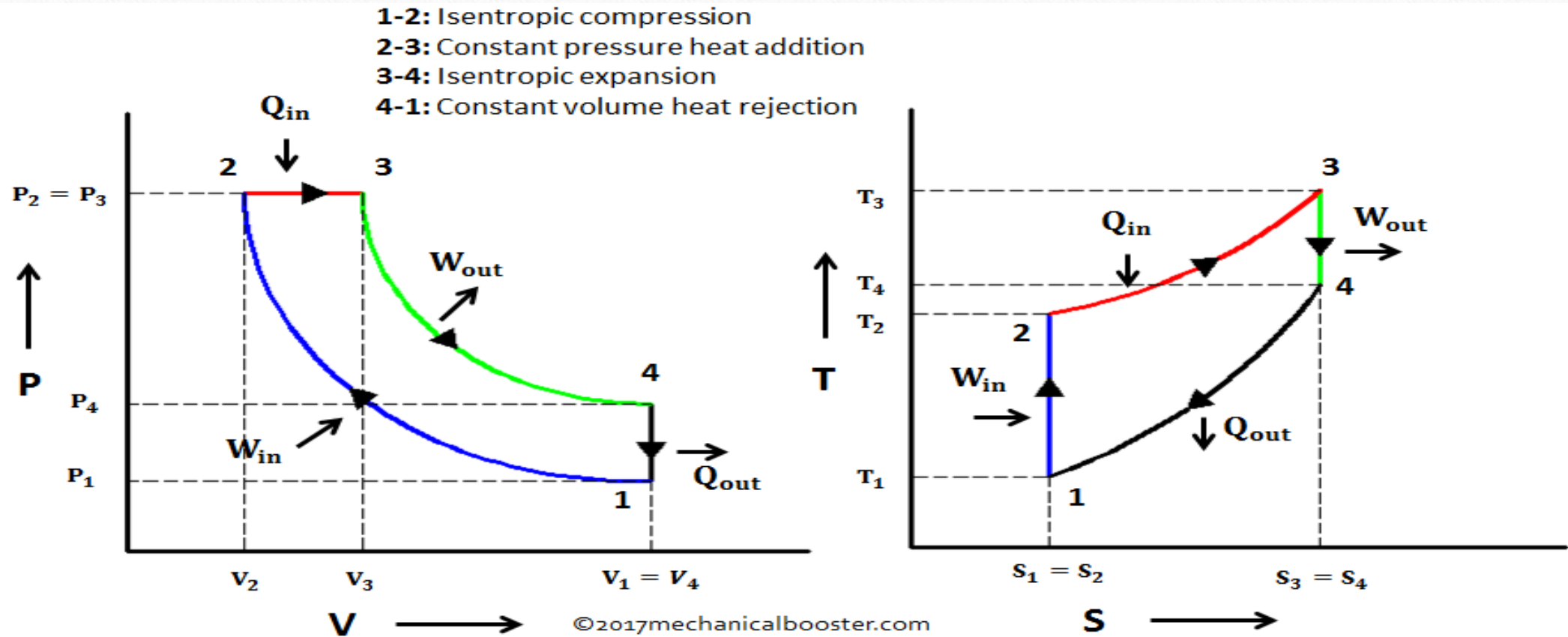
**P-V and T-S Diagram of Otto Cycle**

স্থির আয়তন বা সমায়তন প্রক্রিয়া পি-ভি ও টি-এস ডায়াগ্রাম এবং কাজের পরিমাণ নির্ণয়।

স্থির আয়তনে কাজ শূন্য হয়

- তাপ গতি বিজ্ঞানের ১ম সূত্র হতে
- $H=W+E$
- $H=0+E$
- আমরা জানি,  $E=mcv (T_2-T_1)$  তাপী এককে
- অর্থাৎ গ্যাস কর্তৃক গৃহীত তাপের সবটুকুই অন্তর্নিহিত শক্তির পরিবর্তন করতে ব্যয়িত হয়।

# স্থির চাপ প্রক্রিয়া পি-ভি ও টি-এস ডায়াগ্রাম এবং কাজের পরিমাণ নির্ণয়।



**P-V and T-S Diagram of Diesel Cycle**



# স্থির চাপ বা সমচাপ প্রক্রিয়া পি-ভি ও টি-এস ডায়াগ্রাম এবং কাজের পরিমাণ নির্ণয়।

আমরা জানি সমচাপে তাপ সরবরাহ,  $H = mC_p(T_2 - T_1)$

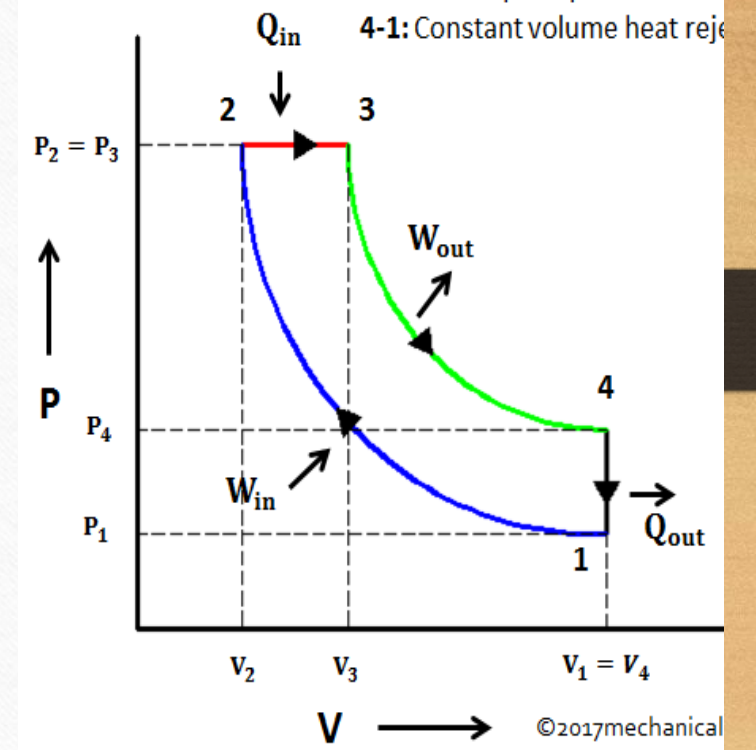
(স্থির চাপ প্রক্রিয়ায় সরবরাহকৃত মোট তাপকে এনথালপি বলে)

অন্তর্নিহিত শক্তির বৃদ্ধি,  $E = mC_v(T_2 - T_1)$

প্রক্রিয়া চলাকালে সম্পাদিত কাজ,

$W =$  চাপ আয়তন লেখচিত্রে 1-2 পর্যন্ত সমপ্রসারণে রেখার আওতাভুক্ত ক্ষেত্রফল বা  $W = P(V_2 - V_1)$  (যান্ত্রিক এককে) =

$$\frac{mRT_2 - mRT_1}{J} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{J} \text{ তাপীয় এককে}$$



# স্থির চাপ বা সমচাপ প্রক্রিয়া পি-ভি ও টি-এস ডায়াগ্রাম এবং কাজের পরিমাণ নির্ণয়।

যদি গ্যাসকে ঠাণ্ডা করা হয় তবে তা সংকুচিত হবে এবং এর তাপমাত্রা ও আয়তন হ্রাস পাবে এবং গ্যাসের ওপর কাজ সম্পাদন হবে। এ ক্ষেত্রে গ্যাস কর্তৃক তাপ পরিত্যাগের পরিমাণ,  $H_1 = mC_p(T_1 - T_2)$

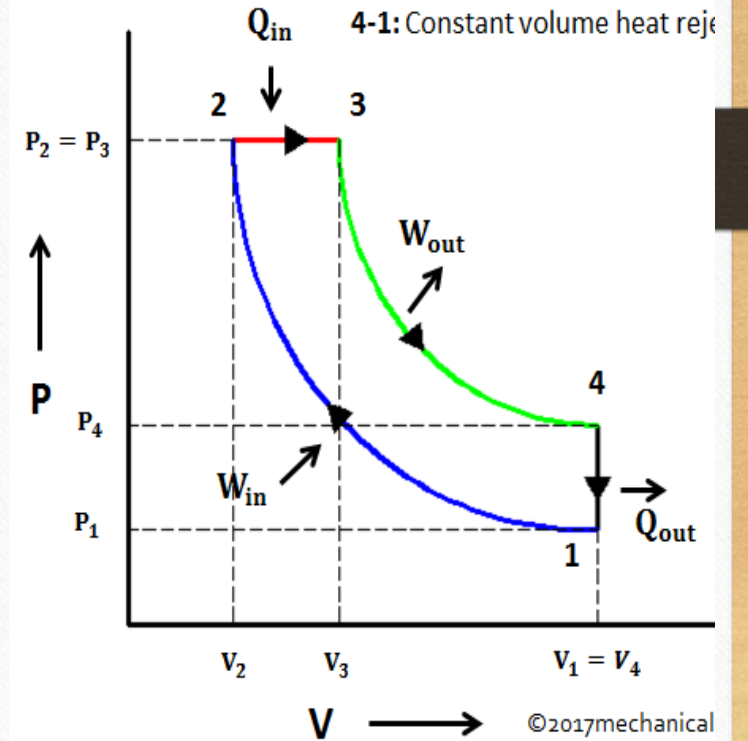
অন্তর্নিহিত শক্তির হ্রাস,  $E = mC_v(T_1 - T_2)$

সম্পাদিত কাজ,  $W = P(V_1 - V_2)$  [যান্ত্রিক এককে]

$$= \frac{P(V_1 - V_2)}{J} \text{ [তাপীয় এককে]}$$

$$= \frac{mR(T_1 - T_2)}{J} \text{ [তাপীয় এককে]}$$

ডিজেল ইঞ্জিনে জ্বালানি প্রজ্বলন স্থির চাপ প্রক্রিয়ায় সংগঠিত হয়। তা ছাড়া এ প্রক্রিয়ায় বয়লারে প্রবিষ্ট পানিকে ফুটনাঙ্ক পর্যন্ত উত্তপ্ত করে বাষ্প পরিণত করা হয়। অতঃপর বাষ্পকে অতিতাপিত (superheated) করা হয় স্থির চাপ প্রক্রিয়ায়।



স্থির আয়তন এবং স্থির চাপ প্রক্রিয়া পি-ভি ও টি-এস ডায়াগ্রাম এবং কাজের পরিমাণ নির্ণয়।

---

স্থির আয়তন এবং স্থির চাপ প্রক্রিয়া পি-ভি ও  
টি-এস ডায়াগ্রাম এবং কাজের পরিমাণ নির্ণয়।  
(পিডিএফ)

**SUBJECT: ENGINEERING THERMODYNAMICS**

**CAPTER -07**

**SUBJECT CODE: 27131**

7. UNDERSTAND THE  
ENTROPY OF  
PERFECT GASES.

Define entropy. 7.2 Mention the importance of entropy  
Describe the principle of increase of entropy. 7.4 Establish  
the relation between heat & entropy

এই লেখাটার মূল উদ্দেশ্য হলো, কীভাবে কোনো বস্তুর মাঝের বিশৃঙ্খলার পরিমাপ (এন্ট্রপি) বস্তুটির সেই অবস্থায় পৌঁছানোর সম্ভাবনার/সম্ভাব্যতার উপর নির্ভর করে সেটা বুঝা এবং তাদের মধ্যকার বিখ্যাত গাণিতিক সম্পর্ক, যেটা “বোল্টজম্যান-এন্ট্রপি সূত্র” নামে পরিচিত, সেটা সহজ ভাবে বুঝা এবং প্রমাণ করা।

মূল অংশে যাওয়ার আগে কিছু ছোট ছোট বিষয় আগেই বলে রাখি। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র বলে যে, তাপশক্তি ব্যবহার করে কাজ করা যাবে এবং উল্টাভাবে কাজকেও তাপে পরিণত করা যাবে। এটা শক্তির নিত্যতা সূত্রেরই অন্য রূপ। কিন্তু এটা বলে না যে, তাপকে কতটুকু কাজে লাগানো যাবে। এখানেই তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের আবির্ভাব।

দ্বিতীয় সূত্র বলে, তাপশক্তিকে কখনোই পুরোপুরি কাজে লাগানো যাবে না, যদিও কাজকে পুরোপুরি তাপে পরিণত করা যাবে। দ্বিতীয় সূত্র থেকেই আমাদের এই আলোচনার সূচনা।

মনে প্রশ্ন আসতে পারে এই যে, তাপকে যেহেতু পুরোপুরি কাজে লাগানো গেল না, তাহলে অকেজো অংশগুলো গেল কোথায়?

উত্তর হলো, এই অকেজো অংশগুলো শক্তির এমন কিছু রূপে পরিবর্তিত হয়, যেগুলোকে আর প্রয়োজনীয় কাজে রূপান্তর করা যায় না। শক্তির এই অংশটুকু হলো বিশৃঙ্খল অংশ, কারণ এই অংশটুকু নিয়ন্ত্রণ করা যায় না। নিয়ন্ত্রণ করা যায় না বলা হয় এ কারণে, যদি নিয়ন্ত্রণ করা যেত তাহলে তাকে কাজেও পরিণত করা যেত! যেহেতু তাকে আর কাজে লাগাতে পারছি না, তাই সেটা আর নিয়ন্ত্রণের মাঝেও নেই। এভাবেই বিশৃঙ্খলা ব্যাপারটা তাপের অকেজো অংশের সাথে আমরা যুক্ত করি।

এই বিশৃঙ্খলা বোঝার জন্য যে রাশিটা আমরা ব্যবহার করি, সেটা হলো এন্ট্রপি। এই রাশি কেন বিশৃঙ্খলার সাথে যুক্ত, সেটাও সহজে বুঝা উচিত। তাই এই রাশির ব্যাপারে আগে ছোট একটা আলোচনা করি।

এন্ট্রপির সবচেয়ে সহজ সংজ্ঞা ধাপে ধাপে এখান থেকে পাওয়া যায় –  
“বস্তুতে তাপ দিলে যদি তার তাপমাত্রা বাড়ে, তাহলে প্রতি একক তাপমাত্রায় যতটুকু তাপ বেড়েছে, সেটাই হলো এন্ট্রপির পরিবর্তন”।  
দেখা যাচ্ছে, এন্ট্রপিকে একটা নতুন রকম রাশি চিন্তা করে তার পরিবর্তন কীভাবে মাপা যায়, তার ব্যাপারে বলা হয়েছে। মাথায় রাখতে হবে, এখানে কেবল এন্ট্রপির কতটুকু পরিবর্তন হয়েছে সেটা বলা হয়েছে। এন্ট্রপি আসলে নিজেই ব্যাপারটা কী, সেটা এখনো আসেনি। এই সংজ্ঞার পরের অংশেই ব্যাপারটা এসে পড়বে।

ধরলাম,  $\Delta Q$  পরিমাণ তাপ দেওয়ার ফলে বস্তুর তাপমাত্রা  $T$  তে গিয়ে পৌঁছায়। তাহলে এন্ট্রপি বাড়লো  $S$  পরিমাণ। সাধারণত এন্ট্রপিকে ‘ $S$ ’ দিয়ে প্রকাশ করা হয়। তাই এর পরিবর্তনকে লেখা হয়  $\Delta S$ ।

সুতরাং,

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$



এখন যদি কোন প্রক্রিয়ায় তাপের পরিবর্তন না হয়, তাহলে  $\Delta Q=0$ , ফলে এন্ট্রপির পরিবর্তন  $\Delta S=0$ । এখন, যে প্রক্রিয়ায় তাপের পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ বাইরে থেকেও তাপ আসে না, আবার ভেতর থেকেও তাপ বের হতে পারে না, এমন প্রক্রিয়াকে বলা হয় রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া (রুদ্ধ মানে নিষেধাজ্ঞা, অর্থাৎ আটক অবস্থা। রুদ্ধতাপীয় মানে তাপের ভেতরে বা বাইরে যাওয়া নিষেধ)।

তাহলে দেখা যাচ্ছে, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় এন্ট্রপির কোনো পরিবর্তন হয় না। অর্থাৎ আগে যা ছিলো, তাই থাকে। ঠিক এই জায়গা থেকেই এন্ট্রপির মূল সংজ্ঞাটা দেয়া যায়। যদি এন্ট্রপি একটা রাশি হয় (ভর, দৈর্ঘ্য, সময় – এগুলোর মত), তাহলে সেটার মান রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় পরিবর্তিত হয় না, বরং স্থির থাকে। তাই এন্ট্রপির সংজ্ঞায় উল্টাভাবে বলা হয়, “রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় কোনো বস্তুর মাঝে তাপের সাথে সম্পর্কিত যে রাশিটির মান স্থির থাকে, তাকেই এন্ট্রপি বলে”।

এখন আসি, কোনো তাপ প্রবাহের সাথে এন্ট্রপি বাড়ে নাকি কমে – সে প্রসঙ্গে। কারো মনে চিন্তা আসতে পারে, “যদি তাপ দেয়ার ফলে কোনো বস্তুর এন্ট্রপি বাড়ে, তাহলে কোনো বস্তু থেকে তাপ নিলে তো তার এন্ট্রপি কমার কথা!” হ্যাঁ, অবশ্যই কমে।

তাপ দিলে যদি  $\Delta Q$  কে ধনাত্মক ধরা হয়, তাহলে তাপ বের হয়ে গেলে  $\Delta Q$  কে ঋণাত্মক ধরতে হবে। তখন তার এন্ট্রপির পরিবর্তন  $\Delta S$ -ও ঋণাত্মক হবে, অর্থাৎ এন্ট্রপি কমবে। এখন আসি আরো একটা ব্যাপারে। যে তাপটুকু বের হয়ে গেলো, সেটা নিশ্চয়ই অন্য কোনো বস্তু বা স্থানে গেছে! তাহলে সেই স্থানের এন্ট্রপি কিন্তু আবার বেড়ে গেলো। তাই আলাদাভাবে যদিও এন্ট্রপি বাড়তে বা কমতে পারে, কিন্তু যদি দুটো বস্তুর মোট এন্ট্রপির পরিবর্তন যোগ করে দেখা হয়, তাহলে দেখা যাবে মোট পরিবর্তনের মান ধনাত্মক হবে।

খুব সহজ একটা উদাহরণ দিয়ে এটা বুঝা যায়। তাপ সাধারণভাবে বেশি তাপমাত্রার জায়গা থেকে কম তাপমাত্রার জায়গায় প্রবাহিত হয়। ধরা যাক,  $T_1$  তাপমাত্রার গরম জায়গা থেকে  $\Delta Q$  পরিমাণ তাপ  $T_2$  তাপমাত্রার অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা জায়গায় গেছে। যেহেতু প্রথম গরম জায়গাটি কিছু তাপ হারিয়েছে, তাই তার এন্ট্রপি কমেছে। একে

$$\Delta S_1 = - \frac{\Delta Q}{T_1} ;$$

ঋণাত্মক চিহ্ন দেয়া হয়েছে তাপ কমার ব্যাপারটা বুঝানোর জন্য। এখন এই তাপ যেহেতু দ্বিতীয় বস্তু পেয়েছে, তাই তার এন্ট্রপি বেড়েছে। একে  $\Delta S_2$  ধরা হলে,

$$= -\frac{\Delta Q}{T_1} + \frac{\Delta Q}{T_2} = \frac{\Delta Q}{T_2} - \frac{\Delta Q}{T_1}$$
$$= \Delta Q \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\text{যেহেতু } T_1 > T_2 \text{ তাই } \frac{1}{T_2} > \frac{1}{T_1}$$

$$[ \text{যেমন, } 3 > 2, \text{ তাই } \frac{1}{2} > \frac{1}{3} ]$$

$$\text{সুতরাং } \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) > 0,$$

$$\text{তাই } \Delta Q \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

এর মান ধনাত্মক।

সুতরাং পুরো প্রক্রিয়ায় মোট এন্ট্রপির পরিবর্তন =  $\Delta S_1 + \Delta S_2$

অর্থাৎ পুরো প্রক্রিয়ায় মোট এন্ট্রপির পরিবর্তনও ধনাত্মক। এখান থেকেই সাধারণ সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, তাপের প্রবাহ সম্পর্কিত যেকোনো ঘটনা ঘটলে সেই প্রবাহের সাথে সম্পর্কিত সবগুলো বস্তুর এন্ট্রপির পরিবর্তন যোগ করলে তার মান ধনাত্মক হবে। আর যদি তাপের প্রবাহ না থাকে (যেমন রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায়) তাহলে তার পরিবর্তন হবে শূন্য। গাণিতিকভাবে বললে,

যেকোনো প্রক্রিয়ায়  $\Delta S \geq 0$

যেহেতু দেখা যাচ্ছে, কিছু একটা ঘটলেই তার সাথে যুক্ত থাকা মোট এন্ট্রপির পরিবর্তনের মান কোনোমতেই কমানো যাবে না, তাই ব্যাপারটা নিয়ন্ত্রণের কোন সুযোগ নেই। অর্থাৎ ব্যাপারটা আমাদের হাতের বাইরে, বা

শৃঙ্খলিত না। সেজন্যই একে বিশৃঙ্খলার পরিমাপক হিসেবে ধরা হয়।

এখন এন্ট্রপির ব্যাপারটা আলোচনা করতে গিয়ে যেহেতু নিয়ন্ত্রণ কিংবা নিয়ন্ত্রণহীনতার কথা উঠে এসেছে, তাই এই কথার সূত্র ধরেই আমরা এর সাথে সম্ভাবনা বা সম্ভাব্যতার ব্যাপারটা আনতে পারি। উদাহরণ হিসেবে সম্ভাব্যতার একটা ছোট উদাহরণ দেয়া যায়।

যদি ৫টা সবুজ কলম থেকে কাউকে যেকোনো একটা বেছে নিতে বলা হয়, তাহলে তার একটা সবুজ কলম পাবার সম্ভাবনাই একদম পুরোপুরি থাকে। কিন্তু যদি ৩টা সবুজ ও ২টা বেগুণী কলম থেকে যেকোনো একটা বেছে নিতে বলা হয়, তাহলে বেছে নেয়া কলমটি সবুজ হবার সম্ভাবনা কমে যায়। প্রথম ক্ষেত্রে সবুজ কলম পাবার পুরো ব্যাপারটার উপর পূর্ণ নিয়ন্ত্রণ ছিল, কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সবুজ কলম পাবার উপর নিয়ন্ত্রণটুকু কমে গেছে। তাহলে দেখা যাচ্ছে, সম্ভাবনার সাথে গাণিতিকভাবে নিয়ন্ত্রণের ব্যাপারটা যুক্ত। আবার একটু আগেই আমরা এন্ট্রপির সাথেও যে নিয়ন্ত্রণের ব্যাপারটা (শৃঙ্খলা বা বিশৃঙ্খলা) জড়িত, সেটা বলেছি। তাহলে একটু ভাবলেই এই ধারণাটা বুঝা যায় যে, এন্ট্রপির সাথেও কোনোভাবে হয়ত সম্ভাব্যতার বিষয়টা জড়িত থাকতে পারে।

আরো সহজভাবে বললে বলা যায়, একই তাপমাত্রায় রাখা পাশাপাশি দুটো বস্তুর মাঝে যেটাতে এন্ট্রপির বৃদ্ধি বেশি হয়েছে, সেখানে বিশৃঙ্খলা বেশি বলে সেখান থেকে তাপের রূপান্তরের মাধ্যমে দরকারি কাজ পাওয়ার সম্ভাবনা অন্য বস্তুটির তুলনায় কমে যাবে। যদি ধরে নিই এন্ট্রপির মান বস্তুটির সেই অবস্থায় পৌঁছানোর সম্ভাব্যতার উপর নির্ভরশীল, তাহলে গাণিতিকভাবে এন্ট্রপিকে সম্ভাব্যতার যেকোনো একটি ফাংশন ধরা যায়। 'যেকোনো' বলার কারণ হলো, আমরা এখনো নির্দিষ্টভাবে সেই ফাংশনটি কেমন, তা জানি না। তাই সম্ভাব্যতাকে ' $\omega$ ' দিয়ে প্রকাশ করে এন্ট্রপিকে ( $S$ ) যদি সম্ভাব্যতার যেকোনো ফাংশন  $f$  ধরা হয় তাহলে,

$$S = f(\omega)$$

এখন ধরি, একটি বস্তুর এন্ট্রপির মান  $S_1$  এবং তার সম্ভাবনার মান  $\omega_1$  এবং অন্য একটি বস্তুর এন্ট্রপির মান  $S_2$  এবং তার সম্ভাবনার মান  $\omega_2$  ; তাহলে তাদের মাঝে ফাংশন  $f$  দিয়ে সম্পর্ক স্থাপন করলে,

$$S_1 = f(\omega_1) \quad \text{এবং} \quad S_2 = f(\omega_2)$$

এই অংশে এসে আমরা সম্ভাব্যতার একটি সাধারণ বৈশিষ্ট্য ঝালাই করে নেবো। দুটি ঘটনা একসাথে ঘটার সম্ভাবনা তাদের আলাদা আলাদাভাবে ঘটার সম্ভাবনার গুণফলের সমান। ব্যাপারটা সহজ করে বুঝার জন্য উদাহরণ হিসেবে একটা ভিন্ন বিষয় দিয়ে শুরু করা যাক।

ধরা যাক A, B এবং C তিনটা ভিন্ন ভিন্ন স্থান। A থেকে B তে যাওয়ার ৩টি পথ আছে। তাদের নাম p, q, এবং r। B থেকে C তে যাওয়ার ২টি পথ আছে। তাদের নাম m এবং n। কোন ব্যক্তি যদি A থেকে B তে গিয়ে তারপর C তে পৌঁছাতে চায়, তাহলে সে মোট  $৩ \times ২ = ৬$  উপায়ে সেটা করতে পারে (pm, pn, qm, qn, rm, rn)। দেখা যাচ্ছে, একস্থান থেকে অন্যস্থানে যাওয়ার পথের সংখ্যাগুলোকে গুণ করে দিলেই মোট কতভাবে যাওয়া যায়, সেটা বের হয়ে যায়।

একই কথা পরপর দু'টা ঘটনা ঘটার সম্ভাবনার বেলাতেও প্রযোজ্য। যেমন, একটা সবুজ ও দু'টি খয়েরী রঙের মোট তিনটা বল থেকে খয়েরী রঙের বল আসার সম্ভাবনা  $\frac{2}{3}$  ( $2$ =খয়েরী বলের সংখ্যা,  $3$ =মোট বলের সংখ্যা)। একই ভাবে একটা নীল বল ও একটা বেগুনী বল থেকে বেগুনী বল আসার সম্ভাবনা  $\frac{1}{2}$ । এখন, প্রথমবার ঠিক খয়েরী এবং এর পরের বার ঠিক বেগুনী আসার সম্ভাবনা হবে  $\frac{2}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$ । এটাকে সহজে এভাবেও ব্যাখ্যা করা যায়, প্রথম তিনটা বল ও পরের দু'টা বলকে মোট  $3 \times 2 = 6$  উপায়ে নেয়া যায় [(সবুজ, নীল), (সবুজ, বেগুনী), (খয়েরী ১ম, নীল), (খয়েরী ১ম, বেগুনী), (খয়েরী ২য়, নীল), (খয়েরী ২য়, বেগুনী)]। এই ৬টা উপায়ের মাঝে আমাদের দরকার প্রথমে খয়েরী ও পরে লাল। এদের পাওয়া যেতে পারে  $2 \times 1 = 2$  ভাবে [(খয়েরী ১ম, বেগুনী), (খয়েরী ২য়, বেগুনী)]। তাই প্রথমবার ঠিক খয়েরী এবং এর পরের বার ঠিক বেগুনী আসার সম্ভাবনা হবে  $\frac{2}{6} = \frac{1}{3}$ , যা আসলে দু'টা সম্ভাবনার গুণফল।

এখন যদি  $S_1$  এন্ট্রপির বস্তুর সাথে  $S_2$  এন্ট্রপির বস্তুকে রাখা হয়, তবে তাদের মোট এন্ট্রপি হবে  $S = S_1 + S_2$ । শেষ অবস্থায় পৌঁছানোর সম্ভাব্যতা যদি ' $\omega$ ' হয়, তাহলে সম্ভাব্যতার নিয়মে তা হবে দুটি বস্তুর আলাদাভাবে সম্ভাব্যতার গুণফলের সমান। অর্থাৎ  $\omega = \omega_1 \times \omega_2$ ।  $f$  এর ফাংশন আকারে  $S = S_1 + S_2$  কে লিখলে দাঁড়াবে

$$f(\omega) = f(\omega_1) + f(\omega_2)$$

$$\text{বা, } f(\omega_1 \times \omega_2) = f(\omega_1) + f(\omega_2)$$

উপরের সমীকরণে দেখা যাচ্ছে, এটি দুটি পারস্পরিক সম্পর্কবিহীন চলক  $\omega_1$  ও  $\omega_2$  -এর সমন্বয়ে তৈরি। এখানে আমরা ক্যালকুলাসের দুটি সহজ বিষয় প্রয়োগ করবো। প্রথমটা হলো, 'অব্যক্ত ফাংশনের অন্তরীকরণ (Implicit function)' এবং পরেরটা হল 'ফাংশনের ফাংশান এর অন্তরীকরণ (function of a function)' [এগুলোর ধারণা পোক্ত হলে সামনের অংশে আগানো যাবে। এগুলোর ব্যাখ্যা সহজ করার জন্য লেখার শেষে কিছু ওয়েব লিংক দিয়ে দেয়া আছে।

যেহেতু সমীকরণ থেকে কেউ চট করে  $\omega_1$  এবং  $\omega_2$  এর মাঝে একটাকে দিয়ে অন্যটাকে সরাসরি প্রকাশ করতে পারবেনা [যেমন  $\omega_1 = g(\omega_2)$  বা  $\omega_2 = h(\omega_1)$  আকারে, যেখানে  $g$  এবং  $h$  অন্য দুটি ফাংশান] তাই  $f(\omega_1 \times \omega_2) = f(\omega_1) + f(\omega_2)$  এর উভয় পাশকে প্রথমে  $\omega_1$  এর সাপেক্ষে অন্তরীকরণ করলে পাওয়া যাবে



$\omega_2 \times f'(\omega_1 \times \omega_2) = f'(\omega_1) + 0$  [  $f'$  দিয়ে প্রথম অন্তরক সহগ বুঝানো হচ্ছে ]

বা,  $\omega_2 \times f'(\omega_1 \times \omega_2) = f'(\omega_1) + 0$  ———(1)

একই ভাবে  $f(\omega_1 \times \omega_2) = f(\omega_1) + f(\omega_2)$  এর উভয়পাশকে  $\omega_2$  এর সাপেক্ষে অন্তরীকরণ করলে পাওয়া যাবে

$\omega_1 \times f'(\omega_1 \times \omega_2) = f'(\omega_1) \times \omega_2 + f'(\omega_2) \times \omega_1$  ——— (2)

(1) কে (2) দিয়ে ভাগ করলে

বা,  $\omega_1 \times f'(\omega_1) = \omega_2 \times f'(\omega_2)$

উপরের সম্পর্ক একটু ভালভাবে পর্যবেক্ষণ করলে বুঝা যাবে প্রথম বস্তুর সম্ভাব্যতা ও এন্ট্রপি ফাংশনের প্রথম অন্তরকের গুণফল এবং দ্বিতীয় বস্তুর সম্ভাব্যতা ও এন্ট্রপি ফাংশনের প্রথম অন্তরকের গুণফল একই। সাধারণভাবে বললে যেকোন বস্তুর সম্ভাব্যতা ও এন্ট্রপি ফাংশনের প্রথম অন্তরকের গুণফল সবসময় একই থাকছে। অতএব, এই গুণফলকে যে কোনো ধ্রুবক  $C$  ধরে নিলে এবং শেষ অবস্থার উপর সেটা প্রয়োগ করলে,

এবার উভয়পক্ষে  $\omega$  এর সাপেক্ষে যোগজীকরণ করলে পাওয়া যাবে,

সুতরাং,

এখন মান বের করার জন্য আমরা এন্ট্রপি এবং সম্ভাব্যতার মূল ধারণাটা প্রয়োগ করবো।

যদি কোন বস্তুর ভেতরকার শক্তির অবস্থার ব্যাপারে আমরা সম্পূর্ণ নিশ্চিতভাবে জানি, তাহলে তার সম্ভাব্যতা হবে 1। যেহেতু বস্তুটির ব্যাপারে আমরা পুরোপুরি নিশ্চিত, তাই বস্তুটি পুরোপুরি একটি সুশৃঙ্খল বস্তু। তার মাঝে কোন বিশৃঙ্খলা নেই। আর বিশৃঙ্খলা না থাকায় তার মাঝে কোন এন্ট্রপিও থাকবে না, অর্থাৎ এন্ট্রপির মান হবে শূন্য (0)।

সুতরাং  $\omega = 1$  হলে  $S = 0$ । এইদুটি মান (3) নং সমীকরণে বসালে,

$$0 = C \ln(1) + CM \text{ বা, } 0 = 0 + CM \text{ বা, } CM = 0$$

CM এর মান (3) নং সমীকরণে বসালে অবশেষে আমাদের কাঙ্ক্ষিত এন্ট্রপি এবং সম্ভাব্যতার মধ্যকার সম্পর্ক পাওয়া যাবে। সেটি হলো,

এটিই হল বোল্টজম্যানের বিখ্যাত এন্ট্রপি-সূত্র।

এই সূত্র প্রয়োগের আগে কিছু পর্যালোচনা করা দরকার, না হলে ভুলভাবে ব্যবহারের সম্ভাবনা থেকে যায়।  
যেমনঃ

১) যে কোনো জিনিস ঘটার সম্ভাবনার মান ( $\omega$ ) 1 এর চেয়ে কম বা 1 এর সমান। তাই  $\omega$  এর মান 1 এর চেয়ে কম হলে  $\ln(\omega)$  এর মান ঋণাত্মক। কিন্তু এন্ট্রপির মান কোনোভাবেই ঋণাত্মক হতে পারবে না। এই সমস্যা দূর করা হয় ধ্রুবক C এর মাধ্যমে। C এর মান যেহেতু আমরা জানি না, তাই সেটার মান ধনাত্মক বা ঋণাত্মক যে কোনো কিছুই হতে পারে। তাই যুক্তি থেকে বলা হয়,  $\ln(\omega)$  এর সহগের মান ঋণাত্মক হবে। তাই মূল সূত্রটি লেখার সময় একটা ঋণাত্মক চিহ্ন এনে দেখানো হয়। কেবল তখনই C এর মান ধনাত্মক হবে।

সুতরাং,  $S = -C \ln(\omega)$ ; C ঋণাত্মক  
অথবা,  $S = -C \ln(\omega)$ ; C ধনাত্মক

২) কেবলমাত্র আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে C এর মান অণুপ্রতি গ্যাস ধ্রুবক বা বোল্টজম্যান-ধ্রুবক k এর সমান হয়। ( $k = R/N_A$ ; R = আদর্শ গ্যাস ধ্রুবক,  $N_A$  = এভোগ্যাড্রো সংখ্যা)। এর ব্যাখ্যা পরের নোটে বলার আশা রাখি।

---

আরো সহজে বর্ণনা করার কোনো উপায় জানা থাকলে নিঃসঙ্ক্ষেপে জানানোর অনুরোধ রইলো — দীপায়ন  
তুষ

# Entropy Changes in an Ideal Gas

[VW, S & B: 6.5- 6.6, 7.1]

Many aerospace applications involve flow of gases (e.g., air) and we thus examine the entropy relations for ideal gas behavior. The starting point is form (a) of the combined first and second law,

$$du = Tds - Pdv.$$

For an ideal gas,  $du = c_v dT$ . Thus

$$Tds = c_v dT + Pdv \quad \text{or} \quad ds = c_v \frac{dT}{T} + \frac{P}{T} dv.$$

Using the equation of state for an ideal gas ( $Pv = RT$ ), we can write the entropy change as an expression with only exact differentials:

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}.$$

We can think of Equation (5.2) as relating the fractional change in temperature to the fractional change of volume, with scale factors  $c_v$  and  $R$ ; if the volume increases without a proportionate decrease in temperature (as in the case of an adiabatic free expansion), then  $s$  increases.

Integrating Equation (5.2) between two states "1" and "2":

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v \frac{dT}{T} + R \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v}.$$

For a perfect gas with constant specific heats

$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_v \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right).$$

In non-dimensional form (using  $R/c_v = (\gamma - 1)$ )

$$\frac{\Delta s}{c_v} = \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) + (\gamma - 1) \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right), \quad \text{Entropy change of a perfect gas.}$$

Equation 5.3 is in terms of specific quantities. For moles of gas, relations ; , we find

$$\frac{\Delta S}{C_v} = N \left[ \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) + (\gamma - 1) \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \right].$$

or

This expression gives entropy change in terms of temperature and volume. We can develop an alternative form in terms of pressure and volume, which allows us to examine an assumption we

have used. The ideal gas equation of state can be written as

$$\ln P + \ln v = \ln R + \ln T.$$

$$\frac{dP}{P} + \frac{dv}{v} = \frac{dT}{T}.$$

Taking differentials of both sides yields

Using both sides of (5.4) as exponents we obtain

$$\frac{P_2 v_2^\gamma}{P_1 v_1^\gamma} = [P v^\gamma]_1^2 = e^{\Delta s / c_v}.$$

Using both sides of (5.4) as exponents we obtain

Equation (5.5) describes a general process. For the specific situation in which  $dS = 0$ , i.e., the entropy is constant, we recover the expression (5.4). It was stated that this expression applied to a reversible, adiabatic process. We now see, through use of the second law, a deeper meaning to the expression, and to the concept of a reversible adiabatic process, in that both are characteristics of a constant entropy, or isentropic, process.

## 7.6 Solve problems on entropy of different thermodynamic processes



SUBJECT: ENGINEERING THERMODYNAMICS

CAPTER -08

SUBJECT CODE: 27131

§. UNDERSTAND THE  
PROPERTIES OF VAPOR  
AND STEAM.

Name the three-state of a substance.  
Discuss the triple point of a substance.

## **Solids**

A solid's particles are packed closely together. The forces between the particles are strong enough that the particles cannot move freely; they can only vibrate. As a result, a solid has a stable, definite shape and a definite volume. Solids can only change shape under force, as when broken or cut.

In crystalline solids, particles are packed in a regularly ordered, repeating pattern. There are many different crystal structures, and the same substance can have more than one structure. For example, iron has a body-centered cubic structure at temperatures below 912 °C and a face-centered cubic structure between 912 and 1394 °C. Ice has fifteen known crystal structures, each of which exists at a different temperature and pressure.

A solid can transform into a liquid through melting, and a liquid can transform into a solid through freezing. A solid can also change directly into a gas through a process called sublimation.

neighboring molecules is much greater than the size of the molecules themselves.

A gas at a temperature below its critical temperature can also be called a vapor. A vapor can be liquefied through compression without cooling. It can also exist in equilibrium with a liquid (or solid), in which case the gas pressure equals the vapor pressure of the liquid (or solid).

A supercritical fluid (SCF) is a gas whose temperature and pressure are greater than the critical temperature and critical pressure. In this state, the distinction between liquid and gas disappears. A supercritical fluid has the physical properties of a gas, but its high density lends it the properties of a solvent in some cases. This can be useful in several applications. For example, supercritical carbon dioxide is used to extract caffeine in the manufacturing of decaffeinated coffee.

## 8.2 Distinguish between the steam and vapors.

### **Liquids**

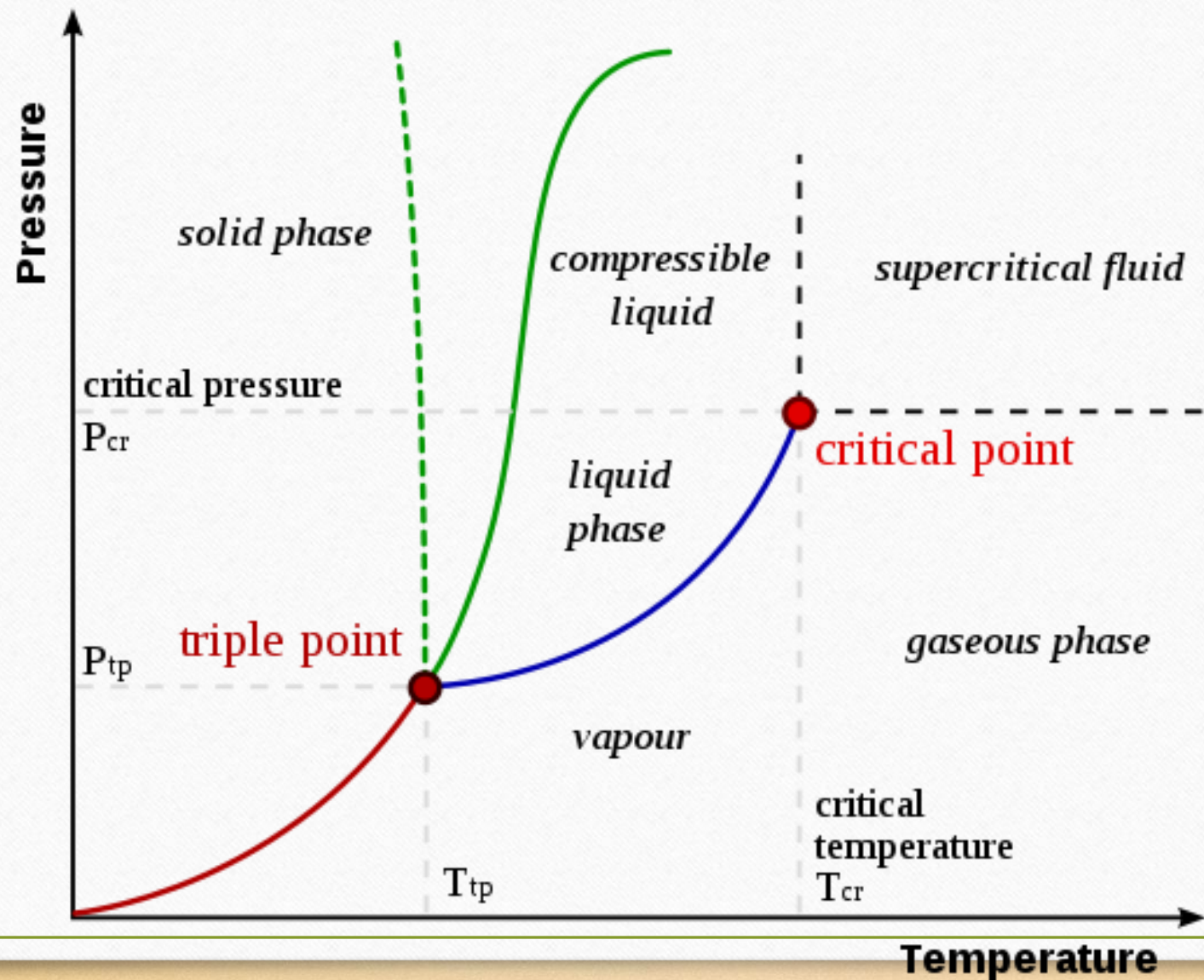
A liquid is a fluid that conforms to the shape of its container but that retains a nearly constant volume independent of pressure. The volume is definite (does not change) if the temperature and pressure are constant. When a solid is heated above its melting point, it becomes liquid because the pressure is higher than the triple point of the substance. Intermolecular (or interatomic or interionic) forces are still important, but the molecules have enough energy to move around, which makes the structure mobile. This means that a liquid is not definite in shape but rather conforms to the shape of its container. Its volume is usually greater than that of its corresponding solid (water is a well-known exception to this rule). The highest temperature at which a particular liquid can exist is called its critical temperature.

A liquid can be converted to a gas through heating at constant pressure to the substance's boiling point or through reduction of pressure at constant temperature. This process of a liquid changing to a gas is called evaporation.

## **Gases**

Gas molecules have either very weak bonds or no bonds at all, so they can move freely and quickly. Because of this, not only will a gas conform to the shape of its container, it will also expand to completely fill the container. Gas molecules have enough kinetic energy that the effect of intermolecular forces is small (or zero, for an ideal gas), and they are spaced very far apart from each other; the typical distance between

# List the properties of vapors.



It is necessary to understand the properties of steam so that we can make proper use of it. Equipment size can be decided, pipe systems can be perfectly designed. It also allows us to make informed decisions affecting the energy usage of the system.

***The properties are:***

**(1) Quality of steam (Dryness fraction)**

Dryness fraction in simple words denotes the mass of dry steam in given steam. Or how much steam is dry or in other words how much water vapour is present in steam. It is denoted by 'x'.

$$x = \frac{M}{M + m}$$

Where M=mass of the dry steam

m=mass of water vapour

The use of dryness fraction allow us to know both the mass of dry steam and mass of water vapour.

Now, see

If  $x = 0.9$  that means dry steam is 0.9 kg and water vapour is 0.1 kg in 1 kg of given steam.

Obviously for dry steam,

$$x = 1$$

Quality is represented in percentage but meaning is same as 'x'.

If quality of steam is 80%, then it has 80% of dry steam and 20 % water vapour by mass.



## Specific volume :

Gases (steam is a gas) occupy less space under higher pressure than under lower pressure. This means 1 kilogram of steam occupies different volumes, depending upon its pressure. The term specific volume refers to the volume that one kg of steam occupies at a given pressure and temperature.

Unit is  $m^3/kg$ , denoted by  $v$

## Enthalpy

The total heat content of a substance is called enthalpy. Actually it has much broad definition in thermodynamics but for 1<sup>st</sup> year BME students this definition works just fine. So, total heat content by steam is termed as its enthalpy. It is denoted by 'H'. SI unit is KJ

'h' is generally used term which represents specific enthalpy, unit for which is KJ/Kg.

In steam tables you will see enthalpy written as  $h_l, h_g, h_{lg}$

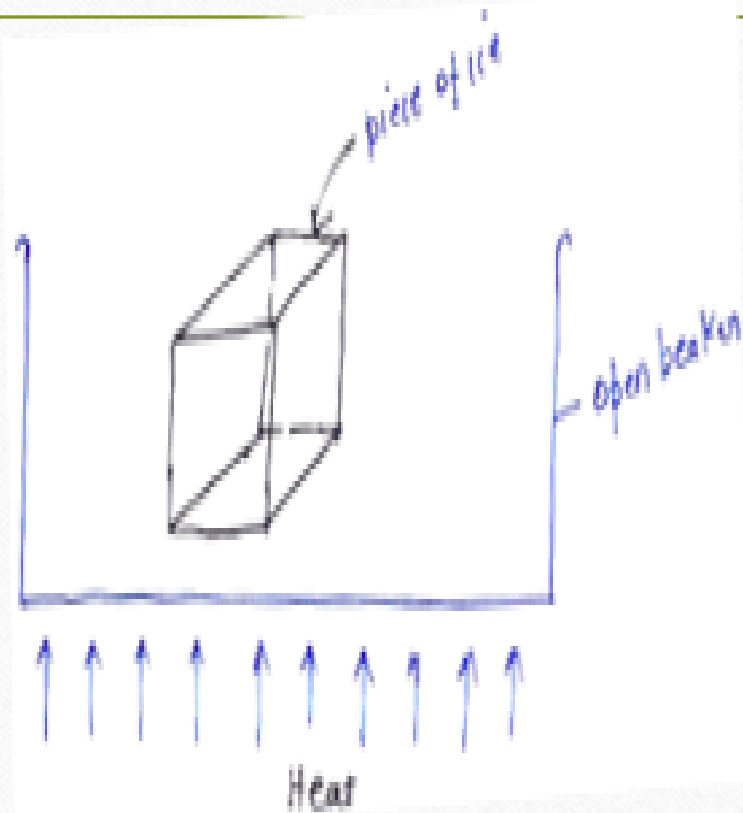
$h_l$  is the enthalpy of liquid that is water at boiling point that's why subscript 'l' is used, point 'D' in h-T diagram. Similarly  $h_g$  is enthalpy of dry saturated steam, point 'E' in h-T diagram and  $h_{lg}$  is the latent heat, Process D to E in h-T diagram.

## **Explain the Formation of steam at constant pressure**

### **Formation of steam at constant pressure:**

Before going into formation of steam, let us understand why steam is being formed/produced at constant pressure.

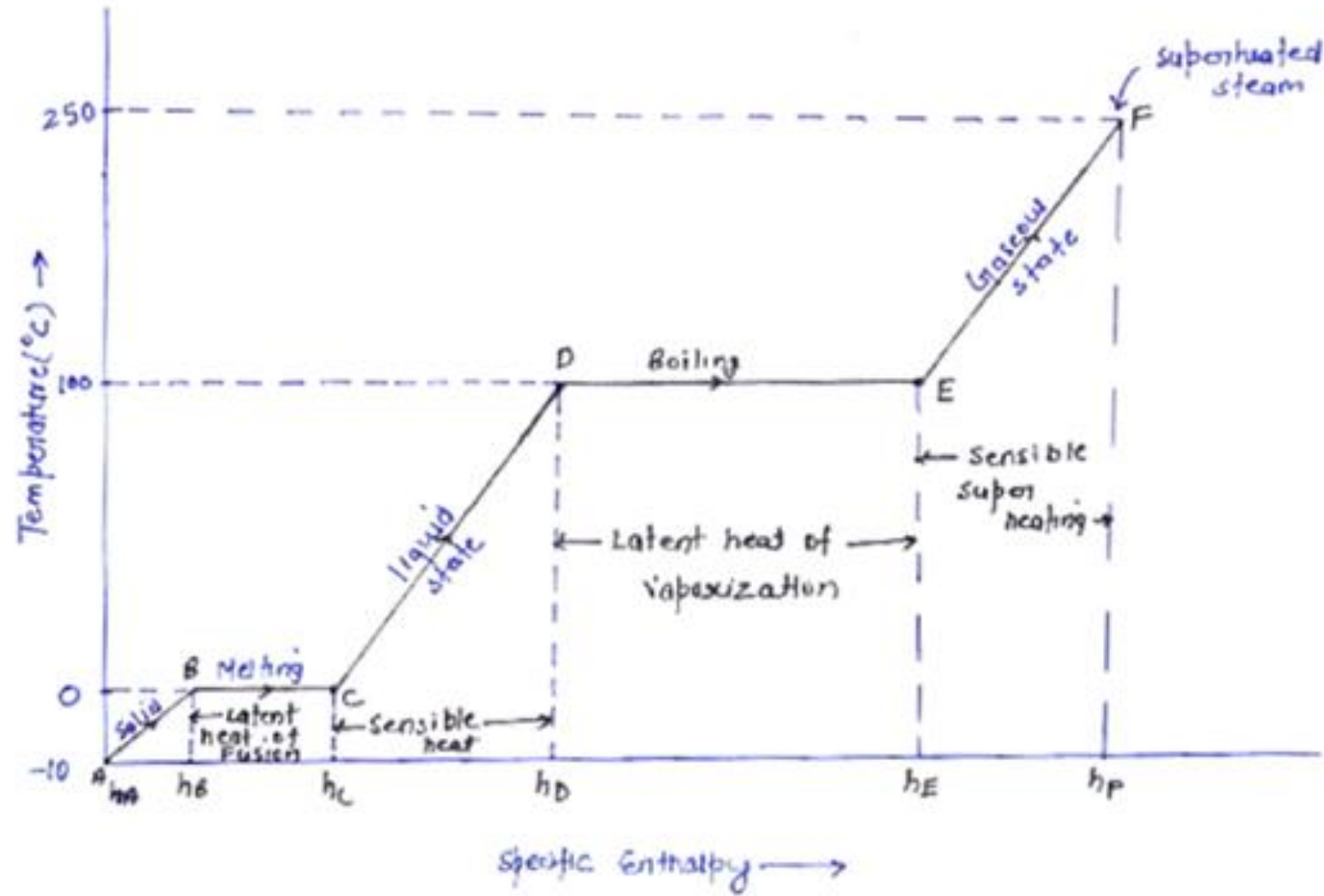
The boiling temperature is 100 °C at one particular pressure that is 1 atm. Now if we change the pressure then the boiling temperature also changes. Since both are directly proportional then if we decrease pressure, boiling temperature decreases and vice versa.



### T-h diagram of formation of steam at constant pressure :

After having understood the temperature and pressure fundamentals, let us discuss how we are going to produce steam from 1 kg piece of ice.

Suppose the initial temperature of ice is a solid phase of water is  $-10^\circ\text{C}$ . Now, keeping pressure constant which is again assumed as 1 atm, we provide continuous heat to the ice



- A → starting point
- B → Melting point (0°C)
- C → Saturated liquid (0°C)
- D → Boiling point (100°C)
- E → saturated steam (100°C)
- F → Superheated steam (250°C)

graph/mmp not to scale

Let us understand what is happening in the above graph.

The graph is plotted between T and h. Let's start with point A at which ice is at temperature  $-10^{\circ}\text{C}$ . Now, as we provide heat to the piece of ice, its temperature as well as enthalpy increases simultaneously upto point 'B'.

Point B is at  $0^{\circ}\text{C}$  at which the phase transformation of solid ice into liquid takes place. This point is called melting point and temperature will remain constant until the whole transformation process is completed i.e all ice will convert in liquid at  $0^{\circ}\text{C}$ . This is so because of latent heat of fusion. All the heat we are providing is actually increasing the energy of the molecules of the water not its temperature, that's why enthalpy increases but the temperature remains constant upto point C. Heat provided from point 'B' to point 'C' is hidden and cannot be measured using thermometer.

Since we are providing continuous heat the temperature and the enthalpy both increases (sensible heating). At 'D' which is boiling point of water. The next phase transformation i.e. liquid to vapour (steam) takes place. Since, the temperature again remains constant and enthalpy keep increasing, the heat absorbed during this is latent heat of vaporization. This process goes upto 'E'. At 'E' we have converted all liquid into steam. If we keep providing heat then ultimately at 'F' superheated steam is obtained.

Describe the important terms for steam (wet steam, dry saturated steam, superheated steam, dryness fraction, specific volume of steam, etc)

**Definition - What does Wet Steam mean?**

Wet steam is a mixture of steam and liquid water. It exists at a saturation temperature containing more than 5% water. It is said to be a two-phase mix: steam contains droplets of water that have not changed phase

Wet steam may cause corrosion in vulnerable equipment such as turbine blades, low-pressure steam piping and heat exchangers. Wet steam lowers the heat transfer efficiency of steam, which results in an inefficient sterilization procedure.

Wet steam is also known as supersaturated steam.



### **Corrosionpedia explains Wet Steam**

Wet steam is generated by heating water, which then turns to steam at the first stage. If additional heat is added to wet steam at a set pressure, the temperature remains the same until all the liquid is evaporated. Only then does the temperature rise above saturation, allowing the formation of wet steam.

The quantity of water in wet steam is designated by the quality. The superiority of steam refers to the percent of steam flow that is steam and water by weight. Steam that is 90% steam and 10% water is known as 90% quality steam. Wet steam is the most difficult type of steam to measure.

### **Definition - What does Dry Steam mean?**

Dry steam is steam that is at the temperature of saturation, but does not contain water particles in suspension. It has a very high dryness fraction, with almost no moisture.

Commercially, dry steam contains not more than one half of one percent moisture. The presence of moisture in steam causes deposition, corrosion and reduction of life expectancy of boilers or other heat exchangers. Therefore, in heating applications, dry steam is preferable, because it has a better energy exchange capacity and does not cause corrosion.

## **Definition - What does Superheated Steam mean?**

Superheated steam is steam at a temperature that is higher than its vaporization (boiling) point at the absolute pressure. It is steam which is formed at the temperature which exceeds that of saturated steam at the same pressure.

Superheated steam is used in turbines to improve thermal efficiency. Other uses include:

- Surface technologies
- Cleaning technologies
- Catalysis/chemical reaction processing
- Surface drying technologies
- Curing technologies
- Soil steaming
- Energy systems
- Nanotechnologies

Pitting, corrosion fatigue and stress corrosion cracking all may be caused by superheated steam.

The properties of superheated steam are close to a perfect gas rather than a vapor. Since superheated steam has no direct relationship between temperature and pressure, at a particular pressure it may be possible for superheated steam to exist at a wide range of temperatures.

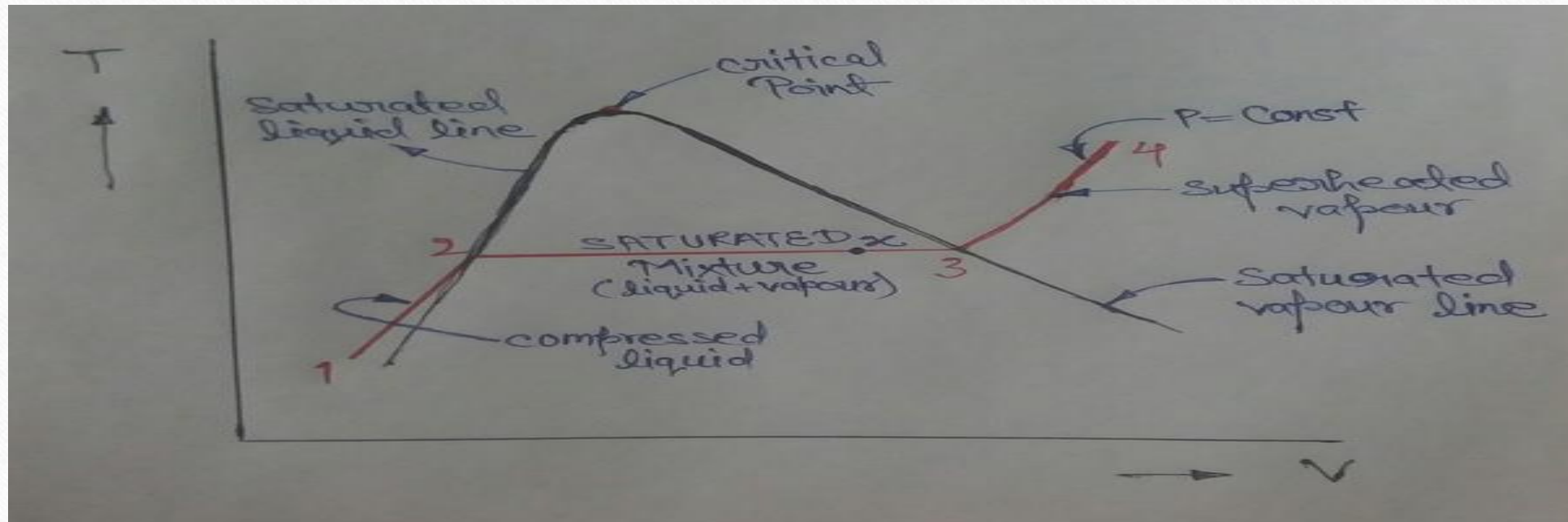
As superheated steam is an insulator, superheated steam farther away from the surface cannot easily cool down and yield its energy.

Superheated steam's greatest value lies in its tremendous internal energy that can be used for kinetic reaction through mechanical expansion against turbine blades and reciprocating pistons, producing rotary motion of a shaft.

**Dryness fraction**( $x$ ) is the ratio of mass of steam to total mass (mass of steam + mass of water).

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

For example if value of  $X$  is 0.85 that means mixture of water and vapour contains 85 % vapour of total mixture in other words mixture of water and vapour contains 15 % of moisture content



### (3) Enthalpy

The total heat content of a substance is called enthalpy. Actually it has much broader definition in thermodynamics but for 1<sup>st</sup> year BME students this definition works just fine. So, total heat content by steam is termed as its enthalpy. It is denoted by 'H'. SI unit is KJ

'h' is generally used term which represents specific enthalpy, unit for which is KJ/Kg.

In steam tables you will see enthalpy written as

$h_l$  is the enthalpy of liquid that is water at boiling point that's why subscript 'l' is used, point 'D' in h-T diagram. Similarly  $h_g$  is enthalpy of dry saturated steam, point 'E' in h-T diagram and  $h_{fg}$  is the latent heat, Process D to E in h-T diagram.

specific volume of steam:

The volume per mass of steam varies with temperature and pressure.

At the temperature of boiling water at atmospheric pressure, it is  $1.67\text{m}^3/\text{kg}$



## 8.7 Explain the method of using steam table.

Till now we had studied that it is very important to study and understand the properties of steam for proper utilization. Steam tables enable us to know these properties directly i.e. without doing any calculation or other thing. These properties can be found out at a given pressure or temperature.

Before obtaining these values let us understand few more things

### **Saturated steam :**

Saturated steam is pure steam at the temperature that corresponds to the boiling temperature of water at the existing pressure.

For example : Saturated steam is obtained at point 'E'. where all the liquid water has converted into steam.

$u_l, h_l, s_l \rightarrow$  These are the internal energy, specific enthalpy, specific entropy of liquid.

$u_g, h_g, s_g \rightarrow$  These are the internal energy, specific enthalpy, specific entropy of gas

Coming back to steam table use, we can use either temperature tables or pressure tables.

If we have to find properties of steam at given temperature, use temperature scale and vice-versa.

For super-heated steam, different table is given. Keep units in mind while using steam tables and use scale for current measurement

### **Example on steam table usage**

**Suppose you have to find all properties of steam at 150 °C . Then first of all use temperature scale.**

**Find out in the temperature where 150 °C is. Then mark it and put a scale across it covering the entire row. This entire row will give you all the properties corresponding to this temperature.**

**Fig. in this way, we can get all the properties,  $(u_l, h_l, s_l, u_g, h_g, s_g)$ .**

**So from above table at 150 °C values of properties of steam are**

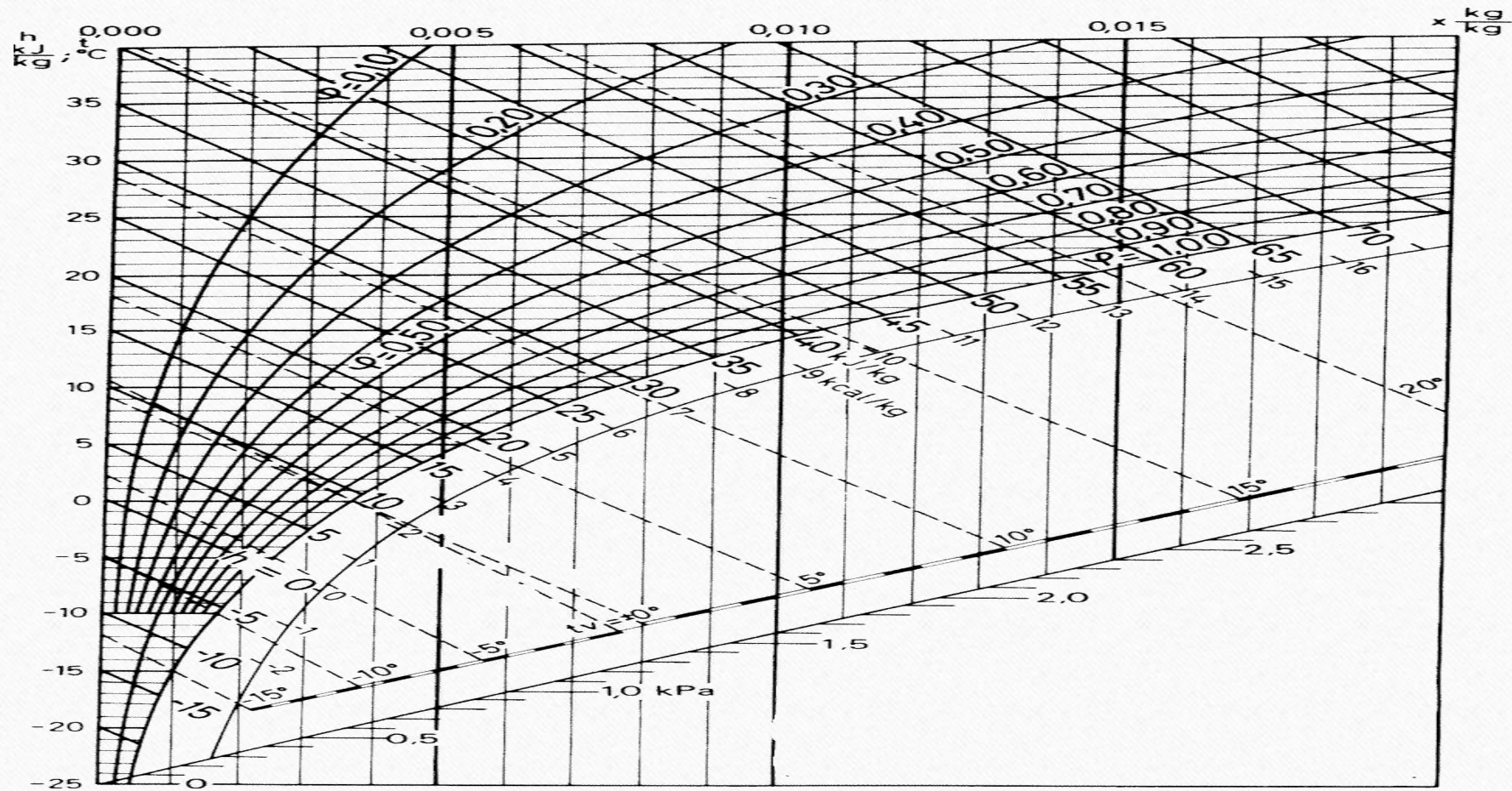
$t(^{\circ}\text{C})$	$P$ bar	$\rho_l$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_g$ kg/m <sup>3</sup>	$h_f$ kJ/kg	$h_g$ kJ/kg	$\Delta h_{fg}$ kJ/kg	$s_f$ kJ/kg-K	$s_g$ kJ/kg-K	$\Delta s_{fg}$ kJ/kg-K	$v_g$ (m <sup>3</sup> /kg $\times 10^3$ )	$v_g$ (m <sup>3</sup> /l $\times 10$ )
110	1.4324	951.00	0.8260	461.34	2691.3	2229.9	1.41857	7.2386	5.8200	1.05153	1210
111	1.4812	950.23	0.8523	465.57	2692.8	2227.2	1.42960	7.2274	5.7978	1.05238	1173
112	1.5313	949.46	0.8793	469.81	2694.3	2224.5	1.44060	7.2163	5.7757	1.05323	1137
113	1.5829	948.69	0.9069	474.05	2695.8	2221.8	1.45158	7.2052	5.7536	1.05409	1102
114	1.6358	947.91	0.9353	478.29	2697.3	2219.0	1.46253	7.1942	5.7317	1.05495	1069
115	1.6902	947.13	0.9643	482.54	2698.8	2216.3	1.47347	7.1833	5.7099	1.05582	1037
116	1.7461	946.34	0.9941	486.78	2700.3	2213.5	1.48437	7.1725	5.6881	1.05670	1005
117	1.8034	945.55	1.0247	491.03	2701.8	2210.8	1.49526	7.1617	5.6664	1.05758	975
118	1.8623	944.76	1.0559	495.28	2703.3	2208.0	1.50612	7.1510	5.6449	1.05847	947
119	1.9228	943.96	1.0880	499.53	2704.7	2205.2	1.51695	7.1403	5.6234	1.05937	919
120	1.9848	943.16	1.1208	503.78	2706.2	2202.4	1.52776	7.1297	5.6020	1.06027	892
121	2.0485	942.35	1.1545	508.03	2707.6	2199.6	1.53855	7.1192	5.5807	1.06118	866
122	2.1139	941.54	1.1889	512.29	2709.1	2196.8	1.54932	7.1087	5.5594	1.06210	841
123	2.1809	940.72	1.2242	516.55	2710.5	2194.0	1.56006	7.0983	5.5383	1.06302	816
124	2.2496	939.90	1.2603	520.81	2712.0	2191.2	1.57078	7.0880	5.5172	1.06395	793
125	2.3201	939.07	1.2972	525.07	2713.4	2188.3	1.58148	7.0777	5.4962	1.06488	770
126	2.3924	938.24	1.3351	529.33	2714.8	2185.5	1.59216	7.0675	5.4753	1.06582	749
127	2.4666	937.41	1.3738	533.60	2716.2	2182.6	1.60281	7.0573	5.4545	1.06677	727
128	2.5425	936.57	1.4134	537.86	2717.6	2179.8	1.61344	7.0472	5.4338	1.06772	707
129	2.6204	935.73	1.4539	542.13	2719.0	2176.9	1.62405	7.0372	5.4131	1.06869	687
130	2.7002	934.88	1.4954	546.41	2720.4	2174.0	1.63464	7.0272	5.3925	1.06965	668
131	2.7820	934.03	1.5378	550.68	2721.8	2171.1	1.64521	7.0172	5.3720	1.07063	650
132	2.8657	933.18	1.5811	554.96	2723.2	2168.2	1.65575	7.0074	5.3516	1.07161	632
133	2.9515	932.32	1.6255	559.23	2724.5	2165.3	1.66628	6.9975	5.3313	1.07260	615
134	3.0393	931.45	1.6708	563.52	2725.9	2162.4	1.67678	6.9878	5.3110	1.07359	598
135	3.1293	930.59	1.7172	567.80	2727.2	2159.4	1.68726	6.9780	5.2908	1.07459	582
136	3.2214	929.71	1.7646	572.08	2728.6	2156.5	1.69772	6.9684	5.2706	1.07560	566
137	3.3157	928.84	1.8130	576.37	2729.9	2153.5	1.70816	6.9587	5.2506	1.07661	551
138	3.4122	927.96	1.8625	580.66	2731.2	2150.6	1.71858	6.9492	5.2306	1.07764	536
139	3.5109	927.07	1.9130	584.95	2732.5	2147.6	1.72898	6.9397	5.2107	1.07866	522
140	3.6119	926.18	1.9647	589.24	2733.8	2144.6	1.73936	6.9302	5.1908	1.07970	508
141	3.7153	925.29	2.0174	593.54	2735.1	2141.6	1.74972	6.9208	5.1711	1.08074	495
142	3.8211	924.39	2.0713	597.84	2736.4	2138.6	1.76006	6.9114	5.1513	1.08179	482
143	3.9292	923.49	2.1264	602.14	2737.7	2135.6	1.77038	6.9021	5.1317	1.08285	470
144	4.0398	922.58	2.1826	606.44	2739.0	2132.5	1.78068	6.8928	5.1121	1.08391	458
145	4.1529	921.67	2.2400	610.75	2740.2	2129.5	1.79096	6.8836	5.0926	1.08498	446
146	4.2685	920.76	2.2986	615.06	2741.5	2126.4	1.80122	6.8744	5.0732	1.08606	435
147	4.3867	919.84	2.3584	619.37	2742.7	2123.3	1.81146	6.8652	5.0538	1.08715	424
148	4.5075	918.92	2.4195	623.68	2743.9	2120.3	1.82169	6.8562	5.0345	1.08824	413
149	4.6310	917.99	2.4818	628.00	2745.2	2117.2	1.83189	6.8471	5.0152	1.08934	402
150	4.7572	917.06	2.5454	632.32	2746.4	2114.1	1.84208	6.8381	4.9960	1.09044	392
151	4.8856	916.12	2.6104	636.64	2747.6	2111.0	1.85224	6.8291	4.9769	1.09156	383
152	5.0171	915.18	2.6766	640.96	2748.8	2107.8	1.86239	6.8202	4.9578	1.09268	373
153	5.1523	914.24	2.7442	645.29	2750.0	2104.7	1.87252	6.8113	4.9388	1.09381	364
154	5.2996	913.29	2.8131	649.62	2751.1	2101.5	1.88263	6.8025	4.9198	1.09495	355
155	5.4299	912.33	2.8834	653.95	2752.3	2098.3	1.89273	6.7937	4.9010	1.09609	346
156	5.5732	911.38	2.9551	658.28	2753.4	2095.2	1.90280	6.7849	4.8821	1.09724	338
157	5.7194	910.41	3.0282	662.62	2754.6	2092.0	1.91286	6.7762	4.8633	1.09840	330
158	5.8687	909.45	3.1028	666.96	2755.7	2088.8	1.92290	6.7675	4.8446	1.09957	322
159	6.0211	908.48	3.1788	671.30	2756.8	2085.5	1.93292	6.7589	4.8260	1.10074	314
160	6.1766	907.50	3.2564	675.65	2758.0	2082.3	1.94293	6.7503	4.8073	1.10193	307
161	6.3353	906.52	3.3354	680.00	2759.1	2079.1	1.95292	6.7417	4.7888	1.10312	299
162	6.4973	905.54	3.4159	684.35	2760.1	2075.8	1.96289	6.7332	4.7703	1.10432	292
163	6.6625	904.55	3.4980	688.71	2761.2	2072.5	1.97284	6.7247	4.7518	1.10552	285
164	6.8310	903.56	3.5817	693.07	2762.3	2069.2	1.98278	6.7162	4.7334	1.10674	279

Explain the mollier diagram.

### Mollier Diagram

The Mollier diagram is a graphic representation of the relationship between air temperature, moisture content and enthalpy - and is a basic design tool for building engineers and designers

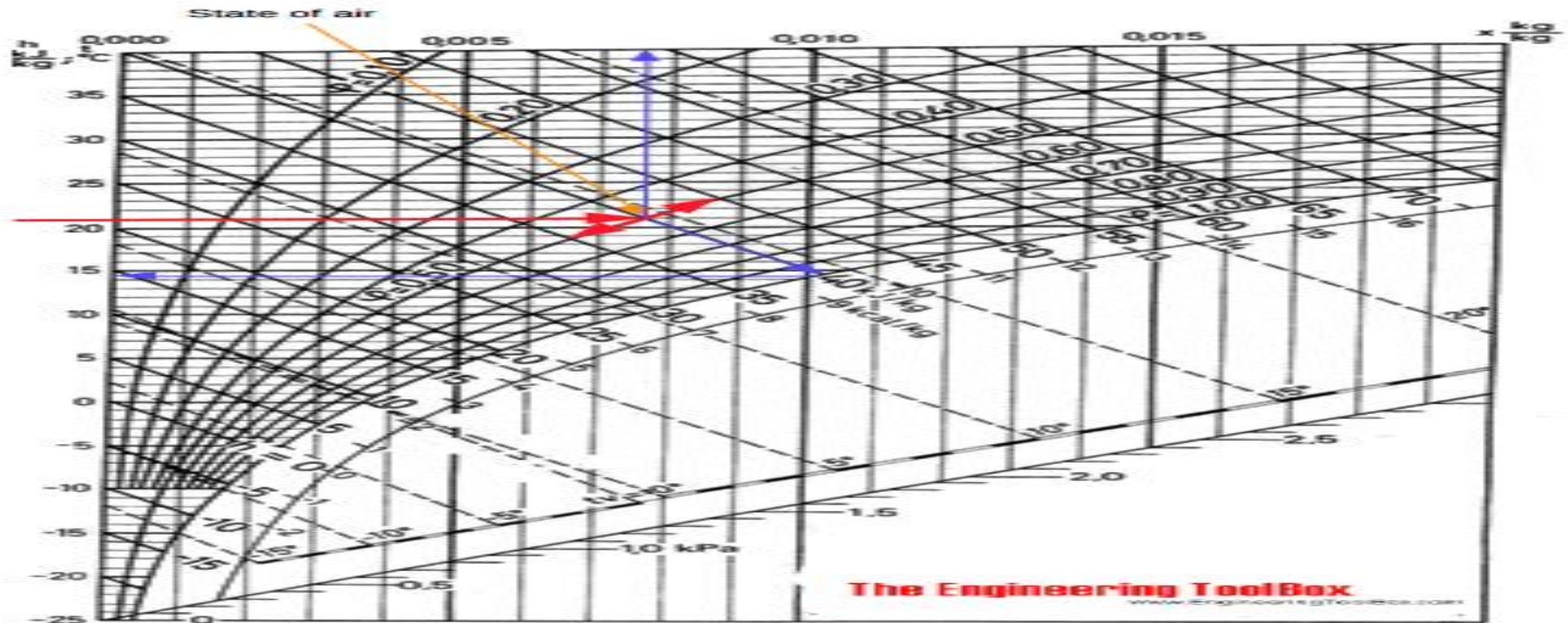
Air is a mixture of mostly oxygen, nitrogen and water vapor. The Mollier diagram is a graphic representation of the relationship between air temperature, moisture content and enthalpy, and is a basic design tool for building engineers and designers.



Find out the different properties of steam from a steam table at a certain pressure and temperature.

### Example - How to use the Mollier Chart

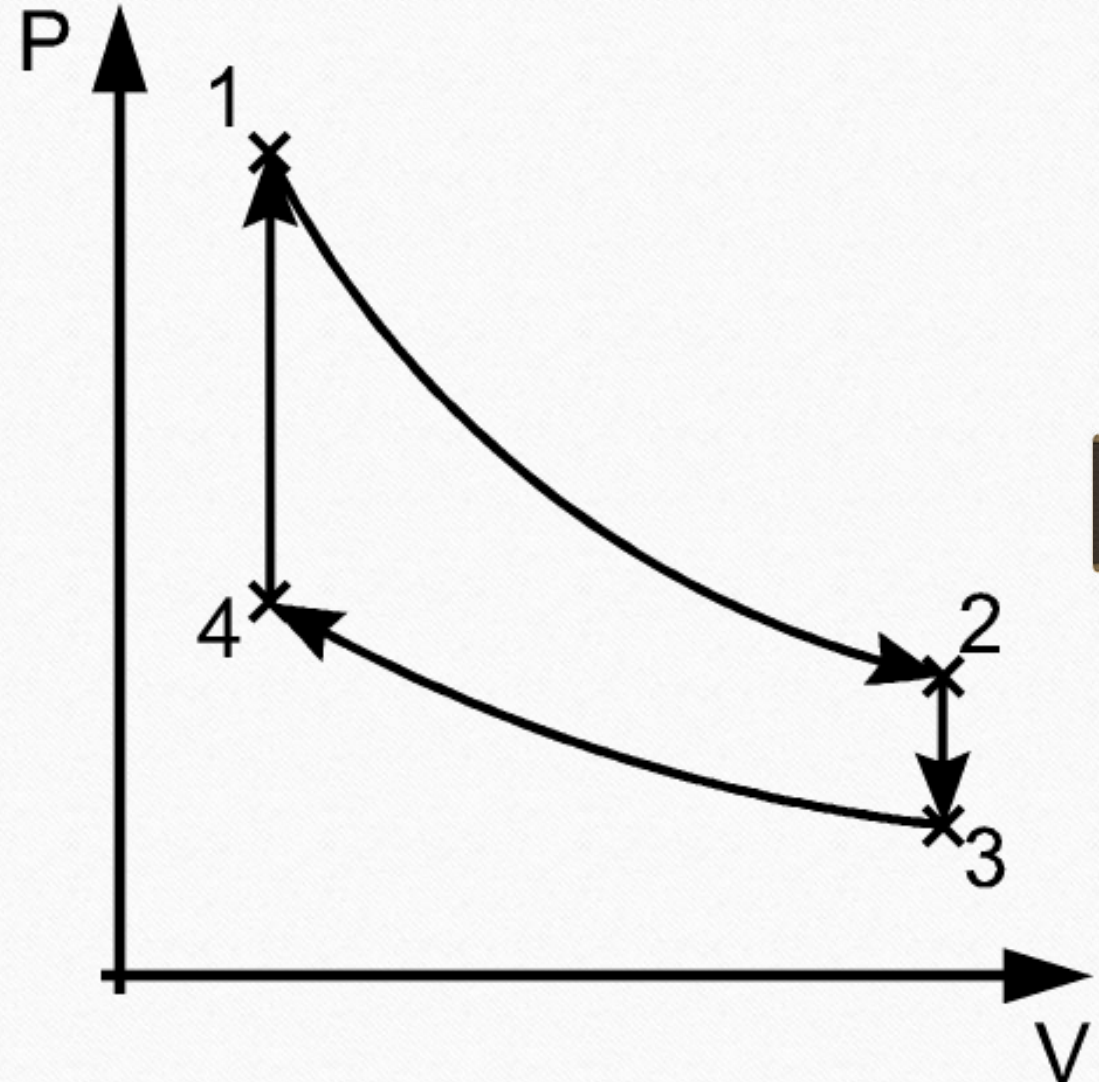
The state of air with dry bulb temperature 21 °C and relative humidity 50% is indicated in the Mollier chart below



9. UNDERSTAND THE  
ASPECTS OF  
THERMODYNAMIC CYCLES.

## 9.1 Define thermodynamic cycle.

A thermodynamic cycle is a series of thermodynamic processes which returns a system to its initial state. Properties depend only on the thermodynamic state and thus do not change over a cycle. Variables such as heat and work are not zero over a cycle, but rather depend on the process. The first law of thermodynamics dictates that the net heat input is equal to the net work output over any cycle. The repeating nature of the process path allows for continuous operation, making the cycle an important concept in thermodynamics.





## Classify the thermodynamic cycle

Two primary classes of thermodynamic cycles are **power cycles** and **heat pump cycles**. Power cycles are cycles which convert some heat input into a mechanical work output, while heat pump cycles transfer heat from low to high temperatures by using mechanical work as the input. Cycles composed entirely of quasistatic processes can operate as power or heat pump cycles by controlling the process direction. On a pressure–volume (PV) diagram or temperature–entropy diagram, the clockwise and counterclockwise directions indicate power and heat pump cycles, respectively.

### Relationship to work

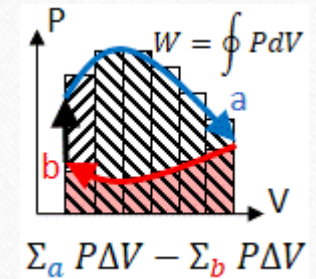
The net work equals the area inside because it is (a) the Riemann sum of work done on the substance due to expansion, minus (b) the work done to re-compress.

Because the net variation in state properties during a thermodynamic cycle is zero, it forms a closed loop on a PV diagram. A PV diagram's Y axis shows pressure ( $P$ ) and X axis shows volume ( $V$ ). The area enclosed by the loop is the work ( $W$ ) done by the process:

This work is equal to the balance of heat ( $Q$ ) transferred into the system:

Equation (2) makes a cyclic process similar to an isothermal process: even though the internal energy changes during the course of the cyclic process, when the cyclic process finishes the system's energy is the same as the energy it had when the process began.

If the cyclic process moves clockwise around the loop, then  $W$  will be positive, and it represents a heat engine. If it moves counterclockwise, then  $W$  will be negative, and it represents a heat pump.



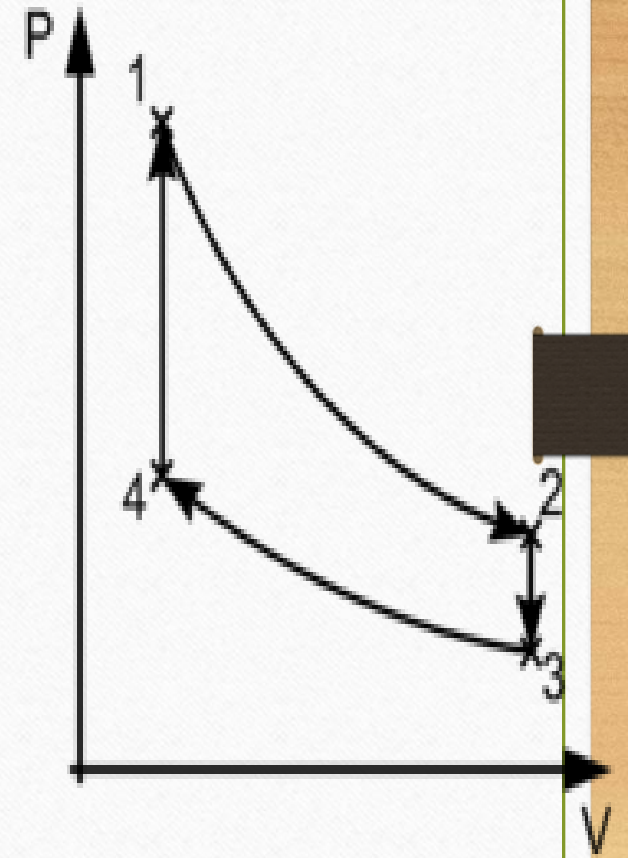
The net work equals the area inside because it is (a) the Riemann sum of work done on the substance due to expansion, minus (b) the work done to re-compress.

### Each point in the cycle

Description of each point in the thermodynamic cycles.

#### Otto Cycle

- 1→2: **Isentropic** expansion: Constant **entropy** (s), Decrease in **pressure** (P), Increase in **volume** (v), Decrease in **temperature** (T)
- 2→3: **Isochoric** Cooling: Constant volume(v), Decrease in pressure (P), Decrease in entropy (S), Decrease in temperature (T)
- 3→4: Isentropic compression: Constant entropy (s), Increase in pressure (P), Decrease in volume (v), Increase in temperature (T)
- 4→1: Isochoric heating: Constant volume (v), Increase in pressure (P), Increase in entropy (S), Increase in temperature (T)



### A list of thermodynamic processes

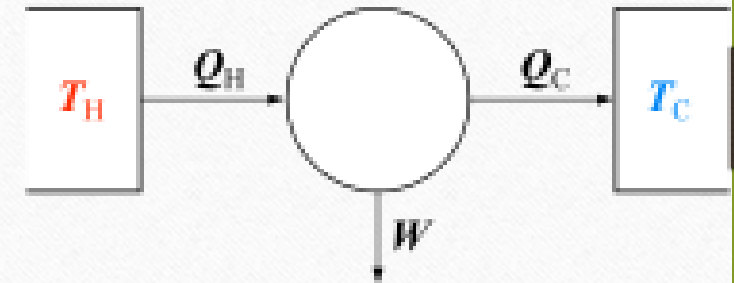
- Adiabatic : No energy transfer as heat ( $Q$ ) during that part of the cycle would amount to  $\delta Q=0$ . This does not exclude energy transfer as work.
- Isothermal : The process is at a constant temperature during that part of the cycle ( $T=\text{constant}$ ,  $\delta T=0$ ). This does not exclude energy transfer as heat or work.
- Isobaric : Pressure in that part of the cycle will remain constant. ( $P=\text{constant}$ ,  $\delta P=0$ ). This does not exclude energy transfer as heat or work.
- Isochoric : The process is constant volume ( $V=\text{constant}$ ,  $\delta V=0$ ). This does not exclude energy transfer as heat or work.
- Isentropic : The process is one of constant entropy ( $S=\text{constant}$ ,  $\delta S=0$ ). This excludes the transfer of heat but not work.
- Isenthalpic: process that proceeds without any change in enthalpy or specific enthalpy
- Polytropic: process that obeys the relation:
- Reversible: process where entropy production is zero

## Power cycles

Heat engine diagram.

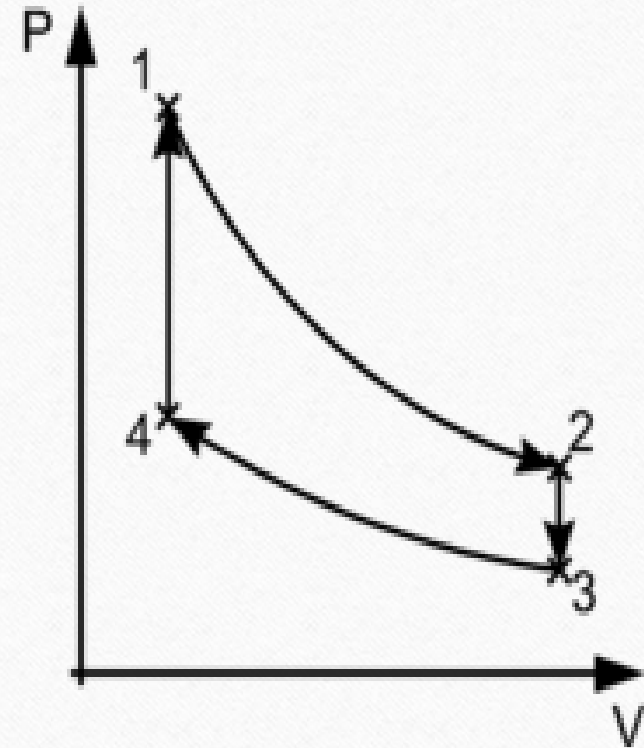
Main article: [Heat engine](#)

Thermodynamic power cycles are the basis for the operation of heat engines, which supply most of the world's [electric power](#) and run the vast majority of [motor vehicles](#). Power cycles can be organized into two categories: real cycles and ideal cycles. Cycles encountered in real world devices (real cycles) are difficult to analyze because of the presence of complicating effects (friction), and the absence of sufficient time for the establishment of equilibrium conditions. For the purpose of analysis and design, idealized models (ideal cycles) are created; these ideal models allow engineers to study the effects of major parameters that dominate the cycle without having to spend significant time working out intricate details present in the real cycle model.



Power cycles can also be divided according to the type of heat engine they seek to model. The most common cycles used to model internal combustion engines are the Otto cycle, which models gasoline engines, and the Diesel cycle, which models diesel engines. Cycles that model external combustion engines include the Brayton cycle, which models gas turbines, the Rankine cycle, which models steam turbines, the Stirling cycle, which models hot air engines, and the Ericsson cycle,

which also models hot air engines



The clockwise thermodynamic cycle indicated by the arrows shows that the cycle represents a heat engine. The cycle consists of four states (the point shown by crosses) and four thermodynamic processes (lines).

For example, the pressure-volume [mechanical work](#) output from the ideal Stirling cycle (net work out), consisting of 4 thermodynamic processes, is<sup>[[citation needed](#)][[dubious](#) – [discuss](#)]</sup>:

$$(3) \quad W_{\text{net}} = W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 4} + W_{4 \rightarrow 1}$$
$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_{V_1}^{V_2} P dV, \text{ negative, work done on system}$$
$$W_{2 \rightarrow 3} = \int_{V_2}^{V_3} P dV, \text{ zero work since } V_2 = V_3$$
$$W_{3 \rightarrow 4} = \int_{V_3}^{V_4} P dV, \text{ positive, work done by system}$$
$$W_{4 \rightarrow 1} = \int_{V_4}^{V_1} P dV, \text{ zero work since } V_4 = V_1$$

For the ideal Stirling cycle, no volume change happens in process 4-1 and 2-3, thus equation (3) simplifies to:

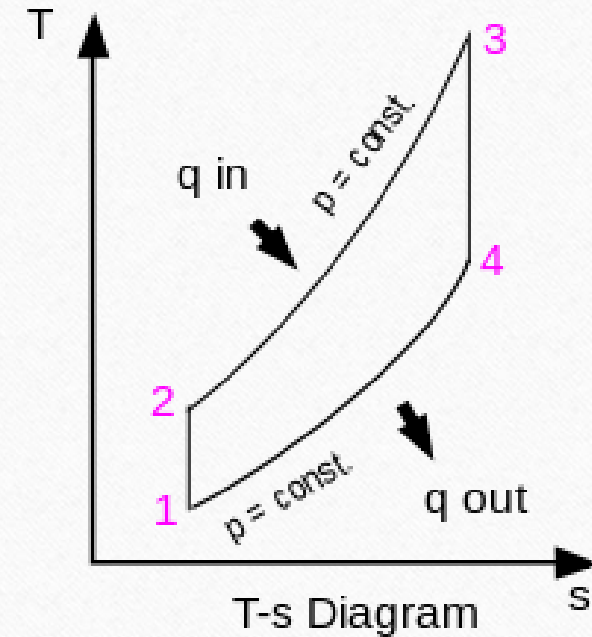
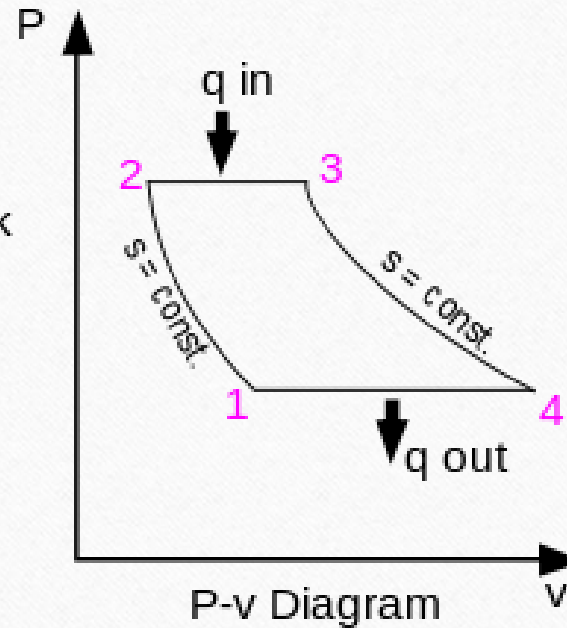
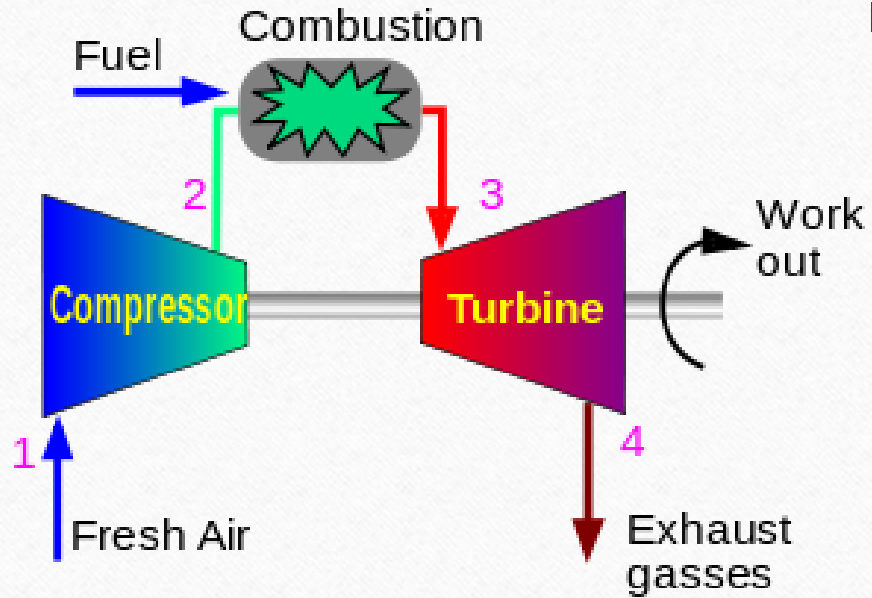
$$(4) \quad W_{\text{net}} = W_{1 \rightarrow 2} + W_{3 \rightarrow 4}$$

## Heat pump cycles

Main article: [Heat pump and refrigeration cycle](#)

Thermodynamic heat pump cycles are the [models](#) for household [heat pumps](#) and [refrigerators](#). There is no difference between the two except the purpose of the refrigerator is to cool a very small space while the household heat pump is intended to warm a house. Both work by moving heat from a cold space to a warm space. The most common refrigeration cycle is the [vapor compression cycle](#), which models systems using [refrigerants](#) that change phase. The [absorption refrigeration cycle](#) is an alternative that absorbs the refrigerant in a liquid solution rather than evaporating it. Gas refrigeration cycles include the reversed Brayton cycle and the [Hampson–Linde cycle](#). Multiple compression and expansion cycles allow gas refrigeration systems to [liquify gases](#).

# Modeling real systems

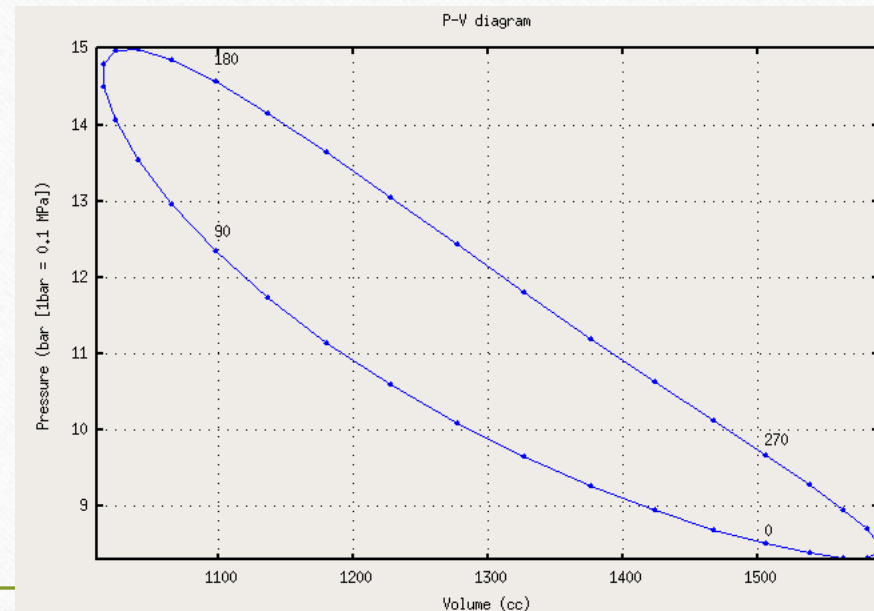
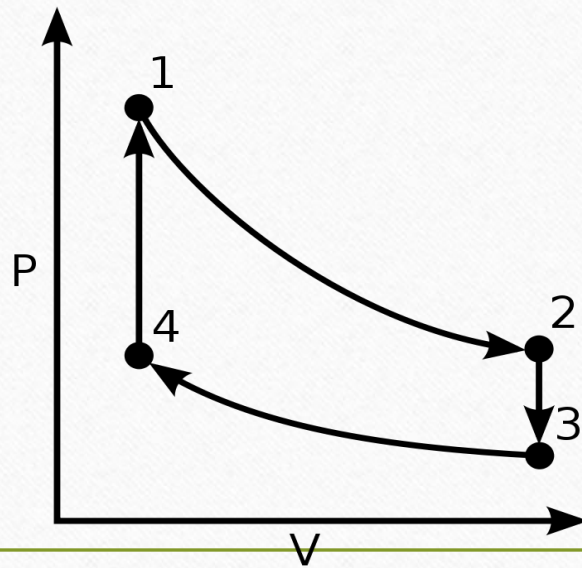


Example of a real system modelled by an idealized process: PV and TS diagrams of a Brayton cycle mapped to actual processes of a gas turbine engine



Thermodynamic cycles may be used to model real devices and systems, typically by making a series of assumptions.<sup>[2]</sup> Simplifying assumptions are often necessary to reduce the problem to a more manageable form.<sup>[2]</sup> For example, as shown in the figure, devices such as a [gas turbine](#) or [jet engine](#) can be modeled as a [Brayton cycle](#). The actual device is made up of a series of stages, each of which is itself modeled as an idealized thermodynamic process. Although each stage which acts on the working fluid is a complex real device, they may be modelled as idealized processes which approximate their real behavior. If energy is added by means other than combustion, then a further assumption is that the exhaust gases would be passed from the exhaust to a heat exchanger that would sink the waste heat to the environment and the working gas would be reused at the inlet stage.

The difference between an idealized cycle and actual performance may be significant.<sup>[2]</sup> For example, the following images illustrate the differences in work output predicted by an ideal [Stirling cycle](#) and the actual performance of a Stirling engine:



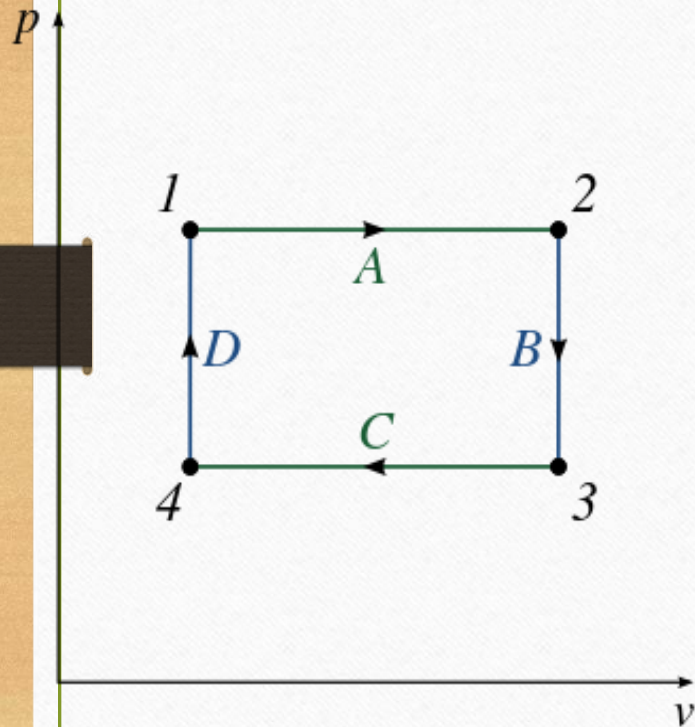
As the net work output for a cycle is represented by the interior of the cycle, there is a significant difference between the predicted work output of the ideal cycle and the actual work output shown by a real engine. It may also be observed that the real individual processes diverge from their idealized counterparts; e.g., isochoric expansion (process 1-2) occurs with some actual volume change.

### **well-known thermodynamic cycles**

In practice, simple idealized thermodynamic cycles are usually made out of four thermodynamic processes. Any thermodynamic processes may be used. However, when idealized cycles are modeled, often processes where one state variable is kept constant are used, such as an isothermal process (constant temperature), isobaric process (constant pressure), isochoric process (constant volume), isentropic process (constant entropy), or an isenthalpic process (constant enthalpy). Often adiabatic processes are also used, where no heat is exchanged.

Some example thermodynamic cycles and their constituent processes are as follows:

Cycle	Compression, 1→2	Heat addition, 2→3	Expansion, 3→4	Heat rejection, 4→1	Notes
<b>Power cycles normally with external combustion - or heat pump cycles:</b>					
<b>Bell Coleman</b>	adiabatic	isobaric	adiabatic	isobaric	A reversed Brayton cycle
<b>Carnot</b>	isentropic	isothermal	isentropic	isothermal	Carnot heat engine
<b>Ericsson</b>	isothermal	isobaric	isothermal	isobaric	The second Ericsson cycle from 1853
<b>Rankine</b>	adiabatic	isobaric	adiabatic	isobaric	Steam engine
<b>Hygroscopic</b>	adiabatic	isobaric	adiabatic	isobaric	Hygroscopic cycle
<b>Scuderi</b>	adiabatic	variable pressure and volume	adiabatic	isochoric	
<b>Stirling</b>	isothermal	isochoric	isothermal	isochoric	Stirling engine
<b>Manson</b>	isothermal	isochoric	isothermal	isochoric then adiabatic	Manson-Guise Engine
<b>Stoddard</b>	adiabatic	isobaric	adiabatic	isobaric	
<b>Power cycles normally with internal combustion:</b>					
<b>Brayton</b>	adiabatic	isobaric	adiabatic	isobaric	Jet engine. The external combustion version of this cycle is known as first Ericsson cycle from 1833.
<b>Diesel</b>	adiabatic	isobaric	adiabatic	isochoric	Diesel engine
<b>Lenoir</b>		isochoric	adiabatic	isobaric	Pulse jets. Note, 1→2 accomplishes both the heat rejection and the compression.
<b>Otto</b>	isentropic	isochoric	isentropic	isochoric	Gasoline / petrol engines



An ideal cycle is constructed out of:

1. TOP and BOTTOM of the loop: a pair of parallel **isobaric** processes
2. LEFT and RIGHT of the loop: a pair of parallel **isochoric** processes

Internal energy of a perfect gas undergoing different portions of a cycle:

Isothermal:  $\Delta U = RT \ln \frac{V_2}{V_1} - RT \ln \frac{V_2}{V_1} = 0$  (Note: U of an isothermal process has to equal 0)

Isochoric:  $\Delta U = C_v \Delta T - 0 = C_v \Delta T$

Isobaric:  $\Delta U = C_p \Delta T - R \Delta T$  (or  $P \Delta V$ ) =  $C_v \Delta T$

An illustration of an ideal cycle heat engine (arrows clockwise).

## Carnot cycle [ edit ]

*Main article: Carnot cycle*

The **Carnot cycle** is a cycle composed of the totally **reversible processes** of **isentropic** compression and expansion and **isothermal** heat addition and rejection. The **thermal efficiency** of a Carnot cycle depends only on the absolute temperatures of the two reservoirs in which heat transfer takes place, and for a power cycle is:

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

where  $T_L$  is the lowest cycle temperature and  $T_H$  the highest. For Carnot power cycles the **coefficient of performance** for a **heat pump** is:

$$COP = 1 + \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

and for a **refrigerator** the coefficient of performance is:

$$COP = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

The second law of thermodynamics limits the efficiency and COP for all cyclic devices to levels at or below the Carnot efficiency. The **Stirling cycle** and **Ericsson cycle** are two other reversible cycles that use regeneration to obtain isothermal heat transfer.

## Stirling cycle

Main article: [Stirling cycle](#)

A Stirling cycle is like an Otto cycle, except that the adiabats are replaced by isotherms. It is also the same as an Ericsson cycle with the isobaric processes substituted for constant volume processes.

1. TOP and BOTTOM of the loop: a pair of quasi-parallel **isothermal** processes

2. LEFT and RIGHT sides of the loop: a pair of parallel **isochoric** processes

Heat flows into the loop through the top isotherm and the left isochore, and some of this heat flows back out through the bottom isotherm and the right isochore, but most of the heat flow is through the pair of isotherms. This makes sense since all the work done by the cycle is done by the pair of isothermal processes, which are described by  $Q=W$ . This suggests that all the net heat comes in through the top isotherm. In fact, all of the heat which comes in through the left isochore comes out through the right isochore: since the top isotherm is all at the same warmer temperature and the bottom isotherm is all at the same cooler temperature, and since change in energy for an isochore is proportional to change in temperature, then all of the heat coming in through the left isochore is cancelled out exactly by the heat going out the right isochore.

## **1. Reversible cycle.**

A process, in which some change in the reverse direction, reverses the process completely, is known as a reversible process. In a reversible process there should not be any loss of heat due to friction, radiation or conduction, etc. A cycle will be reversible if all the processes constituting the cycle are reversible. Thus in a reversible cycle, the initial conditions are restored at the end of the cycle.

A little consideration will show, that when the operations are performed in the reversed order, the cycle draws heat from the cold body and rejects it to the hot body. This operation requires an external power to drive the mechanism according to second law of thermodynamics. A machine which operates on a reversed cycle is regarded as a "heat pump", such as a refrigerator, because it pumps heat from the cold body to the hot body. Following are the conditions for reversibility of a cycle:



1. The pressure and temperature of the working substance must not differ, appreciably, from those of the surroundings at any stage in the process.
2. All the processes, taking place in the cycle ,of operation, must be extremely slow.
3. The working parts of the engine must be friction free.
4. There should be no loss of energy during the cycle of operation.

**Note:** A reversible cycle should not be confused with a mechanically reversible engine. Steam engine cranks may be made to revolve in a reversed direction by mechanically altering the valve settings. But this does not reverse the cycle, on which it works. A two-stroke petrol engine may be made to revolve in reverse direction by altering the timing of ignition. But this also does not reverse the actual cycle.

## **Irreversible cycle.**

A process, in which change in the reverse direction, does not reverse the process, is called irreversible process. In an irreversible process, there is a loss of heat due to friction, radiation or conduction,

In an actual practice, most of the processes are irreversible to some degree. The main causes for the irreversibility are

- (i) mechanical and fluid friction,
- (ii) unrestricted expansion
- (iii) heat transfer with a finite temperature difference.

Moreover, friction converts the mechanical work into heat. This heat cannot supply back the same amount of mechanical work, which was consumed for its production. Thus, if there is some friction involved in the process, it becomes irreversible. A cycle will be irreversible if any of the processes, constituting the cycle, is irreversible. Thus in an irreversible cycle, the initial conditions are not restored at the end of the cycle.

**Notes:**

1. We have discussed the various thermodynamic processes. The processes such as constant volume, constant pressure, isothermal or constant temperature (i.e.  $p.v = C$ ), adiabatic and polytropic are all reversible processes.
2. The throttling is an irreversible process.

List the assumption in thermodynamic cycles.

**Air-Standard Assumptions** - Assumptions used to simplify analysis of complex gas cycles. These assumptions are: (1) The working fluid is air, which continuously circulates in a closed loop and always behaves as an ideal gas. (2) All the processes are internally reversible. (3) The combustion process is replaced by a heat addition process. (4) The exhaust process is replaced by a heat rejection process.

# Explain the reversible and irreversible cycles.

## 1. Reversible cycle.

A process, in which some change in the reverse direction, reverses the process completely, is known as a reversible process. In a reversible process there should not be any loss of heat due to friction, radiation or conduction, etc. A cycle will be reversible if all the processes constituting the cycle are reversible. Thus in a reversible cycle, the initial conditions are restored at the end of the cycle.

A little consideration will show, that when the operations are performed in the reversed order, the cycle draws heat from the cold body and rejects it to the hot body. This operation requires an external power to drive the mechanism according to second law of thermodynamics. A machine which operates on a reversed cycle is regarded as a "heat pump", such as a refrigerator, because it pumps heat from the cold body to the hot body. Following are the conditions for reversibility of a cycle:

1. The pressure and temperature of the working substance must not differ, appreciably, from those of the surroundings at any stage in the process.
2. All the processes, taking place in the cycle ,of operation, must be extremely slow.
3. The working parts of the engine must be friction free.
4. There should be no loss of energy during the cycle of operation.

**Note:** A reversible cycle should not be confused with a mechanically reversible engine. Steam engine cranks may be made to revolve in a reversed direction by mechanically altering the valve settings. But this does not reverse the cycle, on which it works. A two-stroke petrol engine may be made to revolve in reverse direction by altering the timing of ignition. But this also does not reverse the actual cycle.

## **Irreversible cycle.**

A process, in which change in the reverse direction, does not reverse the process, is called irreversible process. In an irreversible process, there is a loss of heat due to friction, radiation or conduction,

In an actual practice, most of the processes are irreversible to some degree. The main causes for the irreversibility are

- (i) mechanical and fluid friction,
- (ii) unrestricted expansion
- (iii) heat transfer with a finite temperature difference.

# State the meaning of air standard cycle. Gas power cycle and vapor power cycle

**Air-Standard Cycle - A cycle for which the air-standard assumptions are applicable.**

## **The air standard cycles**

In what are known as air standard cycles, or ideal cycles, the constant volume, constant pressure and adiabatic processes are put together to form theoretical engine cycles which we can show on the  $p/V$  diagram. The actual  $p/V$  diagram is different from what is possible in practice, because, for instance, we assume that the gas is air throughout the cycle when in fact it may be combustion gas. We also assume that valves can open and close simultaneously and that expansion and compressions are adiabatic



Air standard cycles are reference cycles which give an approximation to the performance of internal combustion engines

### Constant volume (Otto) cycle

This is the basis of the petrol engine cycle

Figure 2.4.2 shows the cycle, made up of an adiabatic compression, 1–2 (piston rises to compress the air in the cylinder), heat energy added at constant volume, 2–3 (the fuel burns), adiabatic expansion, 3–4 (the hot gases drive the piston down the cylinder), and heat energy rejected at constant volume, 4–1 (exhaust)

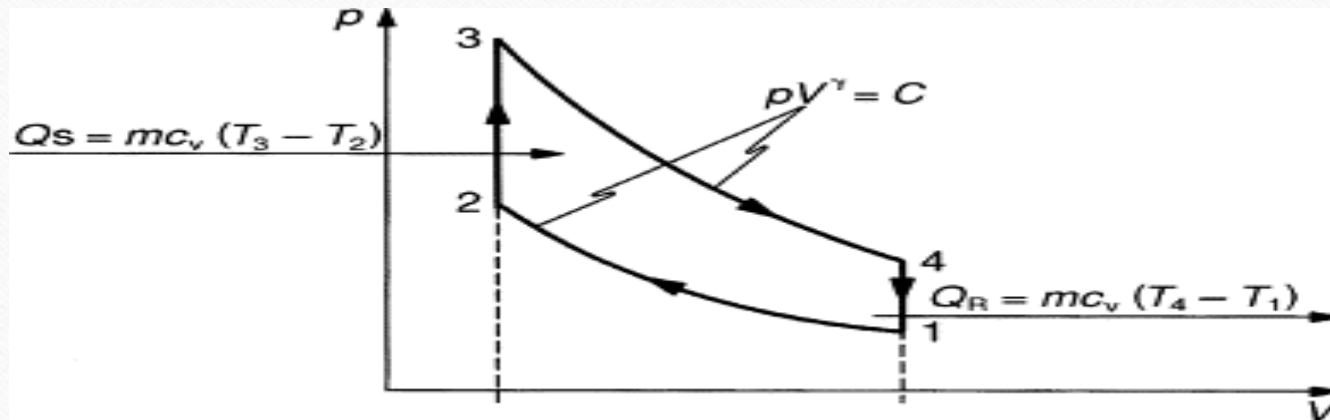


Figure 2.4.2. Constant volume (Otto) cycle

What can we do with this? We can calculate from our knowledge so far:

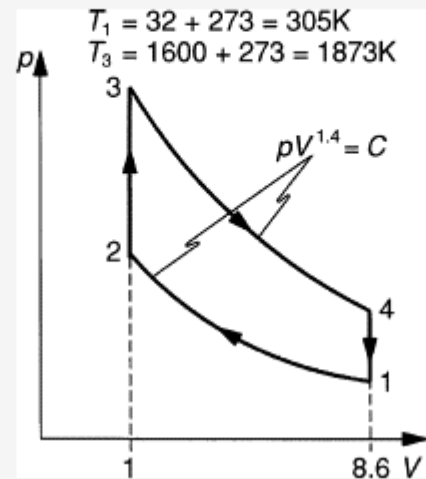
- the pressures, volumes and temperatures around the cycle;
- the work done during each of the processes and therefore the net work done;
- the heat energy transferred during each process;
- the ideal – or air standard – efficiency of the cycle using the expression we derived earlier in this chapter.

### Example 2.4.2

The ratio of compression of an engine working on the constant volume cycle is 8.6:1. At the beginning of compression the temperature is 32°C and at the end of heat supply the temperature is 1600°C. If the index of compression and expansion is 1.4, find:

- the temperature at the end of compression;
- the temperature at the end of expansion;
- the air standard efficiency of the cycle.

Figure 2.4.4 shows the cycle.



- the **compression ratio** is a ratio of volumes,  $V_1/V_2$ , not a ratio of pressures;
- the **dimensionless** ratio values of 8.6 and 1 are used directly in the equations;
- the heat **energy transfer** in a constant volume process is  $(m \cdot c_v \cdot \delta T)$ .

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}, \quad \frac{T_2}{305} = \left(\frac{8.6}{1}\right)^{1.4-1}$$

$$T_2 = 305 \times 8.6^{0.4}$$

= 721.3 K temperature at end of compression.

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1}, \quad \frac{T_4}{1873} = \left(\frac{1}{8.6}\right)^{0.4}$$

$$T_4 = 1873 \times 0.42$$

= 792 K temperature at end of expansion.

Air standard efficiency,  $\eta$

$$= 1 - \frac{\text{heat rejected}}{\text{heat supplied}}$$

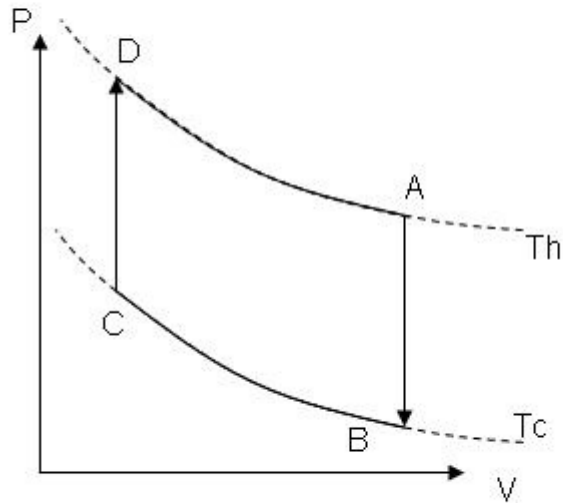
$$= 1 - \frac{m \cdot c_v (T_4 - T_1)}{m \cdot c_v (T_3 - T_2)} \quad m \text{ and } c_v \text{ cancel}$$

$$= 1 - \frac{(792 - 305)}{(1873 - 721.3)} = 1 - \frac{487}{1151.7}$$

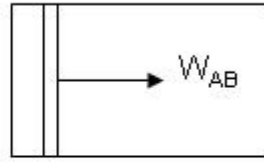
$$= 0.577 = \underline{57.7\%} \text{ air standard efficiency}$$

## Carnot cycle

In 1824 Carnot suggested a particular cycle of operation for a CHPP which avoided all irreversibilities. It consisted of four processes, two isothermal and two adiabatic. The process take place between a heat source at temperature  $T_h$  and a heat sink at temperature  $T_c$ . The system is a mass of gas behind a piston. The cycle on a p-v diagram is shown below:

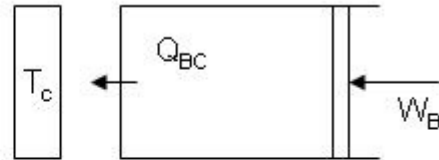


In state A the gas is temperature  $T_h$  and the cylinder is fully insulated



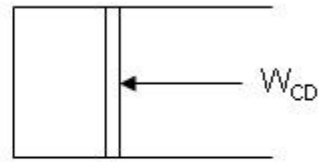
Adiabatic expansion (A to B)

The gas expands adiabatically and very slowly, i.e., quasi-statically (and therefore reversibly). As the gas expands its  $U$  decreases ( $dU=Q-W$ ) and its temperature drops until it reaches  $T_c$ .



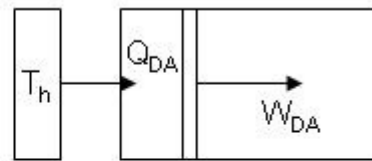
Isothermal Compression (B to C)

When the gas reaches temperatures  $T_c$  the heat reservoir at temperature  $T_c$  is brought into contact with the cylinder end. The gas is then compressed quasi statically from state B to C and at constant temperature with heat transfer from the gas to the reservoir through a negligible temperature difference. Thus process B to C is also reversible



Adiabatic Compression (C to D)

At C the heat reservoir at temperature  $T_C$  is removed and the insulation put back. Then slow compression from C to D. At D the temperature reaches  $T_h$ . Again process is reversible



Isothermal expansion (D to A)

At D the heat reservoir at temperature  $T_h$  is brought into contact with the cylinder and as a result slow isothermal expansion occurs from state D to A, thereby completing the cycle.

It is possible to show that the efficiency of this reversible CHPP depends only on temperature.

### Thermodynamic temperature scale

#### Theorem

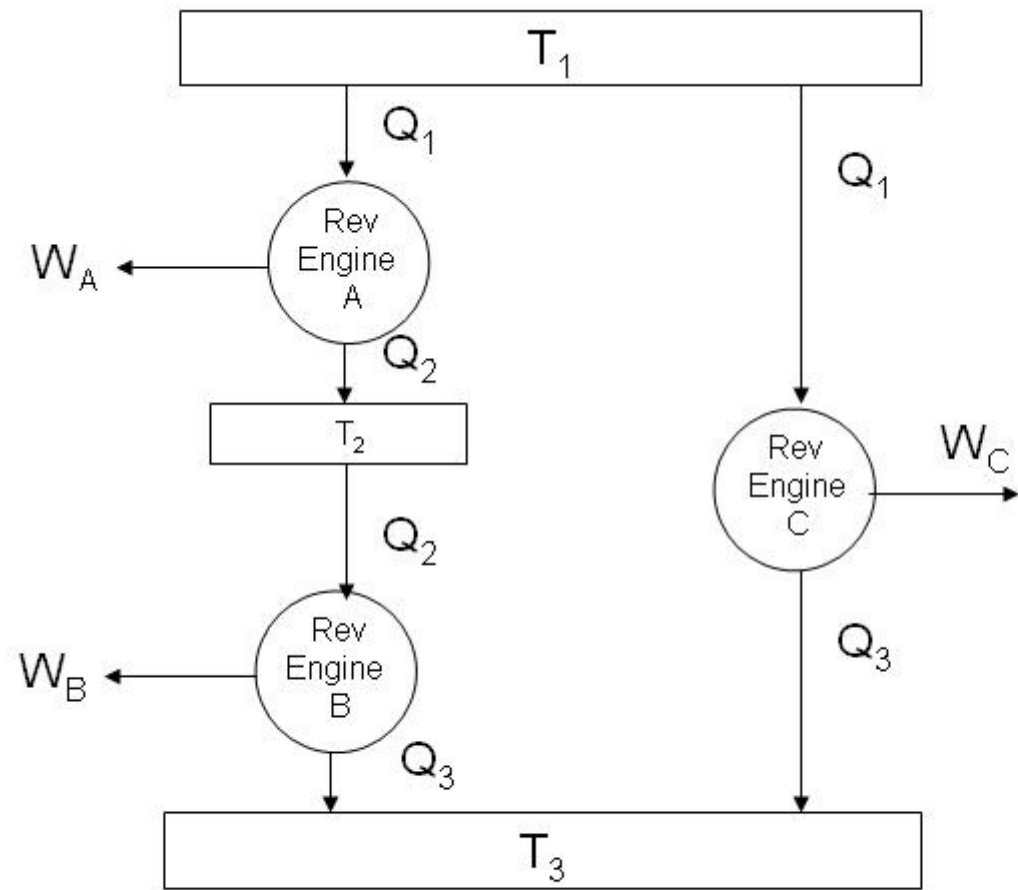
All reversible cyclic engines operating between the same two temperature level have the same (Maximum) efficiency.

#### Proof:

Assume opposite is true and show before that PMM2 is produced.

Because all reversible engines, whatever their internal processes or materials, operating between the same two thermal reservoirs have the same efficiency, then there must be some common factor which determines the efficiency. Clearly the only common factor is the temperature of the two reservoirs. Therefore the efficiency of a reversible heat engine depends upon the temperature of the thermal reservoirs that it exchanges energy with. (We shall show this more rigorously for a Carnot cycle, with a perfect gas as working substance.)

We mentioned earlier that the zeroth law of TD provides the basis for temperature measurements, but that a temperature scale must be defined in terms of particular thermometer and device. Thus a temp scale that is independent of any particular substance is most desirable. Now the efficiency of a Carnot cycle is independent of the working substance and depends only on temperature. This fact may be used to define the TD temperature scale. Now consider the following diagram:



Shows three heat reservoir and three reversible engines working on Carnot Cycle.



Shows three heat reservoir and three reversible engines working on Carnot Cycle.

T1 is the highest temperature, T3 the lowest and T2 is the intermediate temperature.

Q1 is the same for engines A & C.

The two engines in conjunction (A&B) must have the same efficiency as (c) (they operate between the same temperature levels).

Therefore,  $1W_2 + 2W_3 = 1W_3$  and Q3 is the same for both sides.

Since efficiency of Carnot cycle is a function of temperature only then:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{low}}{Q_{high}} = \varphi(T_L, T_H)$$

Applying these to the different engines we get:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \varphi(T_1, T_2)$$

$$\frac{Q_2}{Q_3} = \varphi(T_2, T_3)$$

$$\frac{Q_1}{Q_3} = \varphi(T_1, T_3)$$

$$\frac{Q_1}{Q_3} = \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right) \left( \frac{Q_2}{Q_3} \right)$$

But...

Thus...  $\varphi(T_1, T_3) = \varphi(T_1, T_2) \times \varphi(T_2, T_3)$

Now, the LHS is a function of T1 and T3 (and not T2) and therefore the RHS of the equation must also be a function of T1 and T3 (and not T2) i.e. the function must be

$$\varphi(T_1, T_2) = \frac{f(T_1)}{f(T_2)}$$

$$\varphi(T_2, T_3) = \frac{f(T_2)}{f(T_3)}$$

Thus  $f(T_2)$  will cancel out of the product  $\varphi(T_1, T_2) \times \varphi(T_2, T_3)$

$$\frac{Q_1}{Q_3} = \varphi(T_1, T_3) = \frac{f(T_1)}{f(T_3)}$$

Therefore:

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{f(T_H)}{f(T_L)}$$

In general:

There are several relations that will satisfy this equation, eg:

Logarithmic  $\rightarrow \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{e^{T_H}}{e^{T_L}};$

Linear  $\rightarrow \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_C}$  and so on...

Lord Kelvin proposed the Linear relationship ie.

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_C}$$

(1) This relationship defines the Thermodynamic (or Absolute) temperature scale.

With temperature so defined, the efficiency of a Carnot cycle may be expressed as

$$\eta_R = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (2)$$

Note:

- (i) It is impossible to attain negative temperatures on the absolute scale. If  $T_L$  is negative  $> 1$  i.e. a PMM2 which is impossible.
- (ii) It is impossible (in the absence of a perfect insulator) for a finite system to attain zero temperature on the absolute scale. If  $T_L = 0$  then  $\eta = 1$  i.e. Violates the second law. But we can get very close to  $T = 0$ .

Units

Equation (1) only defines a ratio of absolute temperature but does not give information about the scale. In this case we need to define only one temperature point, since there is zero temperature.

Mark triple point of water 273.16K

Then temperature of melting ice is 273.16K and that of boiling water at 1 atm 373.15K, thus preserving the 100 units between ice and boiling point so that it corresponds in units to temperature difference in Celsius scale.

$$T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 = T(\text{K})$$

Example - maximum Efficiency

We said the maximum achievable efficiency of heat engine is that of the Carnot (or reversible) heat engine.

i.e.,

$$\eta_R = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

The maximum efficiency obtained if we make  $T_C$  as low as possible and  $T_H$  as high as possible.

$T_C$  is practically limited by the temperature of the sea or ocean which is nearby the power plant i.e. 10-20 $^{\circ}\text{C}$  or 283-303K. The upper limit is set by the metallurgical properties and at present it is limited to about 600 $^{\circ}\text{C}$  for alloyed steel. So the maximum achievable efficiency of an engine is

$$\eta_R = \frac{873 - 288}{873} = 0.67$$

Or 67%.

Now if we reduce  $T_C$  to the boiling point of liquid Helium i.e. 4K we get:

$$\eta_a = \frac{873 - 4}{873} = 99.5\%$$

## Gas power cycles

Deal with systems that produce power in which the working fluid remains a gas throughout the cycle ( in other words, there is no change in phase).

Spark Ignition (gasoline) engines, Compression ignition (diesel) engines and conventional gas turbine engines (*generally refer to as Internal Combustion engines or IC Engines*) are some examples of engines that operate on gas cycles.

Spark Ignition (gasoline) engines, Compression ignition (diesel) engines and conventional gas turbine engines (*generally refer to as Internal Combustion engines or IC Engines*) are some examples of engines that operate on gas cycles.

## **Air standard cycles**

Internal combustion engines: Combustion of fuel is non-cyclic process. Working fluid, air-fuel mixture undergoes permanent chemical change due to combustion. Products are thrown out of the engine & Fresh charge is taken in.

Hence, the working fluid doesn't undergo a thermodynamic cycle. In order to analyze this complex gas power cycles, air standard cycles are conceived.

In air standard cycle a certain mass of air operates in a complete thermodynamic cycle where the heat is added and rejected using external *reservoirs*, and all the processes in the cycle are *reversible*.

Summary of assumptions made during such analysis: The working fluid, air behaves like an ideal gas (and specific heats are assumed to be constant)

Combustion process is replaced by heat addition and exhaust process by heat rejection

All the processes are reversible.

Internal combustion engines

There are two types of reciprocating engines:

Spark Ignition- Otto cycle

Compression Ignition- Diesel cycle

## IC Engines overview

Air and fuel mixture flows through inlet valve and exhaust leaves through exhaust valve

Converts *reciprocating motion* to *rotary motion* using piston and crank shaft

TDC; *Top Dead Center*: Position of the piston where it forms the smallest volume

BDC; *Bottom Dead Center*: Position of the piston where it forms the largest volume

Stroke: *Distance between TDC and BDC*

Bore: *Diameter of the piston (internal diameter of the cylinder)*

Clearance volume: minimum volume formed

Compression ratio: ratio of maximum volume to minimum volume  $V_{BDC}/V_{TDC}$

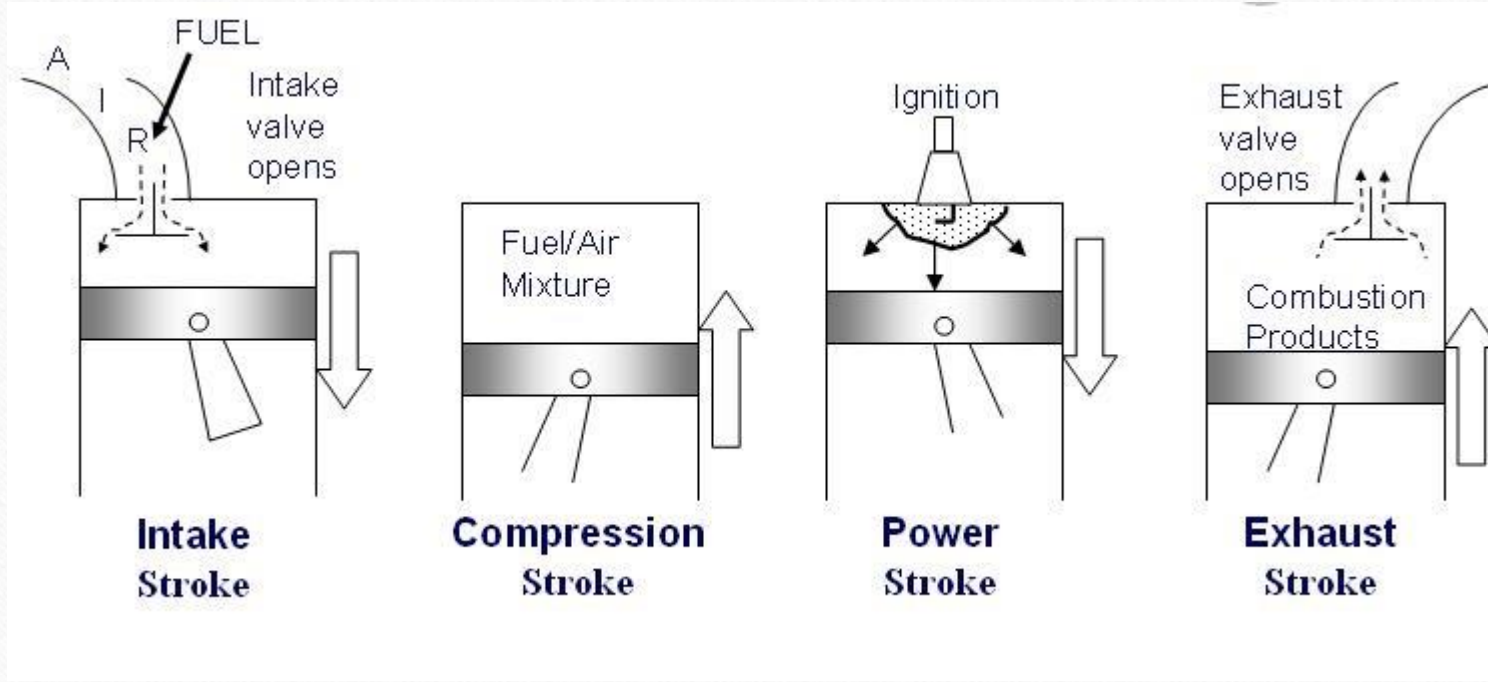
Engine displacement = (# of cylinders) x (stroke length) x (bore area) (usually given in cc or liters)

MEP: mean effective pressure: A const. theoretical pressure that if acts on piston produces work same as that during an actual cycle

$W_{net} = MEP \times \text{Piston area} \times \text{Stroke}$

$= MEP \times \text{displacement volume}$

4 Stroke engine



Cycle consists of *four* distinct strokes (processes):

Intake

Compression stroke

Power stroke

Exhaust







**THANK YOU!**