

MINOR DISCIPLINE SPECIFIC COURSE (For A-Group NEP-2023)

COURSE CODE: SC23 MID SCPHY102

B.Sc.Sem-1, Paper: CC-Phy-101, Unit-2

: Syllabus:

Thermodynamics:

: Syllabus :

- **Thermodynamics:**
- **Second Law of Thermodynamics (2.8)**
- **Carnot's theorem (2.9)**
- **Thermodynamic Scale of Temperature (2.10)**
- **Thermodynamic of Refrigeration (4.2)**
- **Entropy (2.13)**
- **Change of Entropy in a reversible process (2.14)**
- **Change of Entropy in an irreversible process (2.15)**
- **Principle of increase of Entropy of degeneration of energy (2.16)**
- **Formulation of the Second law of Thermodynamics (Nernst's theorem (2.17)**
- **Entropy and second law(2.18)**
- **Third law of Thermodynamics (Nernst's Heat Theorem)(2.19)**
- **Related Examples & Problem**
- **Basic Reference Book:**
 - (1) Thermodynamics and Statistical Physics**
 - By J.P. Agrawal and Satya Prakash (Pragati Prakashan)**

Course Outcomes: (COs)

Course Content:

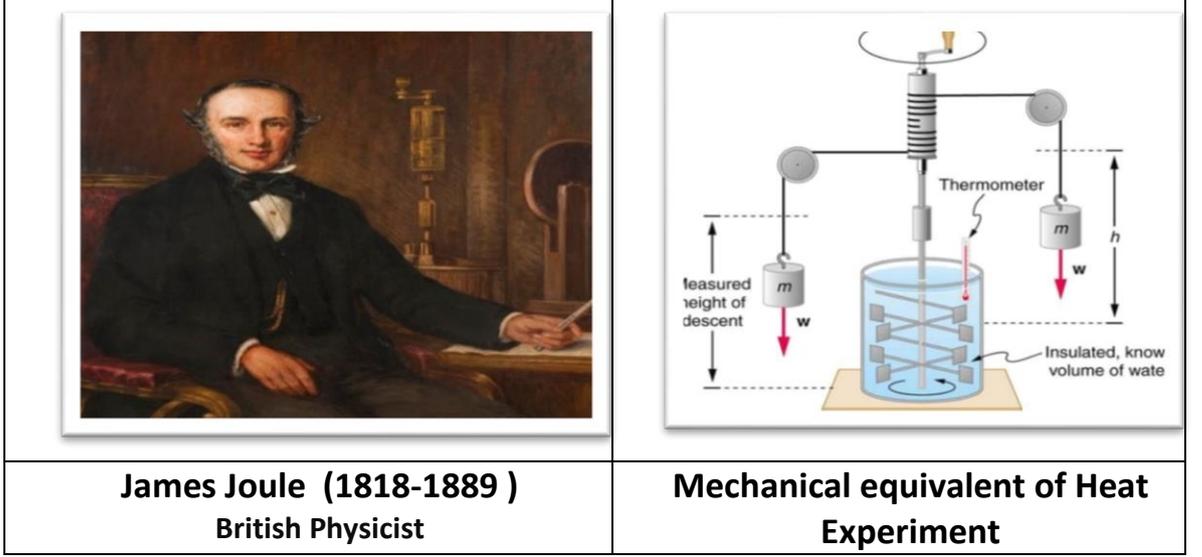
- Introduction to thermodynamics.
- Definition of system, surrounding, open system and closed system & isolate system.
- Concept of internal energy.
- Reversible & irreversible process.
- Zeroth law of thermodynamics.
- First law of thermodynamics.
- Second law of thermodynamics.
- Concepts of entropy.

Outcomes for the course:

Upon completion of the course students will be able to:

- Use thermodynamic terminology correctly.
 - Understand concepts of heat, work, and energy.
 - Explain fundamental thermodynamic properties and units.
 - Derive and discuss the Zeroth law, first law and second laws of thermodynamics.
 - Solve problems using the properties & relationships of thermodynamic.
-
- उष्मा-गतेशास्त्र (Thermodynamics)

- ભૌતિક વિજ્ઞાનની જે શાખામાં ઉષ્માશક્તિ (Heat Energy) અને યાંત્રિકશક્તિ (Mechanical Energy) ના પરસ્પર રૂપાંતરણનો અભ્યાસ કરવામાં આવે છે આ શાખા ને થર્મોડાયનેમિક્સ થી ઓળખવામાં આવે છે
- ડો. જેમ્સ જૂલ નામના વૈજ્ઞાનિકે સૌપ્રથમ યાંત્રિકશક્તિ નું ઉષ્માશક્તિમાં રૂપાંતરણ ફરવાના અનેક શ્રેણીબદ્ધ પ્રયોગો કર્યા હતા.



- આ પ્રયોગ દ્વારા સાબિત કર્યું કે જ્યારે યાંત્રિકશક્તિ નું ઉષ્માશક્તિમાં રૂપાંતર થાય ત્યારે ઉદ્ભવતી ઉષ્માશક્તિ એ યાંત્રિકશક્તિ ના સપ્રમાણ હોય છે.
- જો યાંત્રિક કાર્ય W ના પરિણામે Q કેલરી ઉષ્મા ઉત્પન થતી હોય તો

$$W \propto Q \quad \therefore W = JQ$$

- જ્યાં J ને જૂલ નો અચળાંક અથવા ઉષ્માનો યાંત્રિક તુલ્યાંક (Mechanical equivalent of Heat) કહે છે. J નો એકમ જૂલ/કેલરી છે અને તેનું મૂલ્ય 4.186 જૂલ/કેલરી છે.

થર્મોડાયનેમિક તંત્ર અને પરિસર:

(Thermodynamics System & Surrounding):

તંત્ર (System) એટલે શું?

થર્મોડાયનેમિક પ્રક્રિયામાં સંકળાયેલ કોઈ વસ્તુ કે પદાર્થ ને વ્યાપક રીતે તંત્ર (System) કહેવામાં આવે છે.

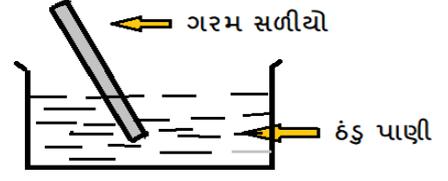
પરિસર (Surrounding) એટલે શું?

- તંત્ર જે માધ્યમ માં આવેલું હોય તે માધ્યમને પરિસર (Surrounding) કહેવામાં આવે છે.

અથવા

- જે પદાર્થો વચ્ચે થર્મોડાયનેમિક પ્રક્રિયા થતી હોય તેમાં એક પદાર્થને તંત્ર અને બીજા પદાર્થ ને પરિસર ગણવામાં આવે છે.

ઉદાહરણ તરીકે ગરમ સળીયાને ઠંડા પાણીમાં રાખવામાં આવે તો સળીયા ને તંત્ર અને પાણીને પરિસર તરીકે લઈ શકાય.



તંત્રના પ્રકારો : (Types of Systems)

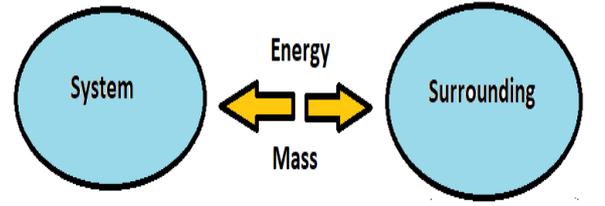
તંત્ર ના મુખ્ય ત્રણ પ્રકારો છે.

- (૧) ખુલ્લું તંત્ર (Open System),
- (૨) બંધિત તંત્ર (Closed System) અને
- (૩) અલગ કરેલ તંત્ર (Isolated System)

(૧) ખુલ્લું તંત્ર (Open System) :

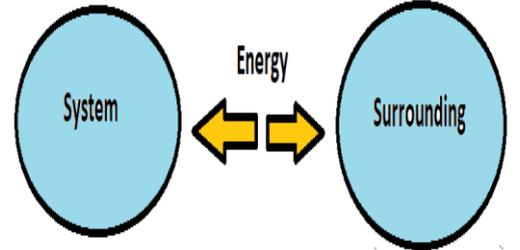
જો તંત્ર અને પરિસર વચ્ચે શક્તિ અને દ્રવ્ય બંનેનો વિનિમય થતો હોય તો તેને ખુલ્લું તંત્ર (Open System) કહે છે.

દા.ત. બોઇલર(Boiler), ન્યુક્લિયર રીએક્ટર(Nuclear reactor), ટર્બાઇન(Turbine)



(૨) બંધિત તંત્ર (Closed System) :

જો તંત્ર અને પરિસર વચ્ચે માત્ર શક્તિનો વિનિમય થતો હોય તો તેને બંધિત તંત્ર (Closed System) કહે છે. દા.ત. રેફ્રિજન્ટ(કુલીંગ ગેસ / પ્રવાહી), શીતક (ન્યુક્લિયર પાવર પ્લાન્ટમાં), થર્મોસમાં રહેલ ગરમ પાણી.

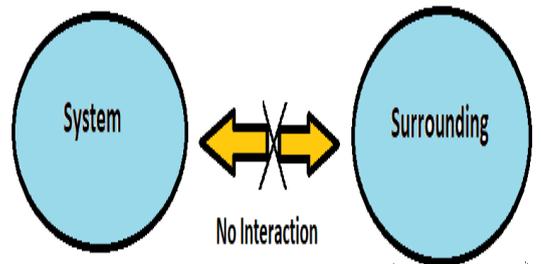


(૩) અલગ કરેલ તંત્ર (Isolated System)

:

જો તંત્રને પરિસર વચ્ચે કોઈ પ્રકારનો વિનિમય થતો ન હોય તો તેને અલગ કરેલ તંત્ર કહે છે.

દા.ત. રેડિયેશન શીલ્ડ ફ્લાસ્ક માં રહેલ કોઈ પદાર્થ ને કહી શકાય.



- **થર્મોડાયનેમિક ચલો (Thermodynamic Variables)**

સંતુલિત અવસ્થામાં તંત્રની થર્મોડાયનેમિક સ્થિતિને દબાણ (Pressure-P), કદ (Volume-V), તાપમાન (Temperature-T) અને આંતરિક શક્તિ (Internal Energy-U) વડે દર્શાવવામાં આવે છે. જેને થર્મોડાયનેમિક ચલો કહેવામાં છે.

- **તંત્રની આંતરિક ઊર્જા : (Internal Energy) :**

- વાયુ જેવા તંત્રમાં અણુ-પરમાણુઓ સતત અસ્ત વ્યસ્ત ગતિ કરતા હોય છે જેને કારણે તેઓ ગતિશક્તિ (Kinetic Energy) ધરાવતા હોય છે.
- આ ઉપરાંત આંતર અણુ બળોના કારણે તેઓ સ્થિતિશક્તિ (Potential Energy) પણ ધરાવતા હોય છે. આ બધી શક્તિ નો સરવાળો તંત્રની આંતરિક શક્તિ કહેવાય છે.

આંતરિક શક્તિ = ગતિશક્તિ (Kinetic Energy) + સ્થિતિશક્તિ (Potential Energy)

- આદર્શવાયુ માં આંતર અણુબળો અવગણ્ય હોવાથી આદર્શવાયુના અણુઓ સ્થિતિશક્તિ ધરાવતા નથી પરિણામે આદર્શવાયુના તંત્રની આંતરિક શક્તિ માત્ર અણુઓની ગતિ શક્તિ ના કારણે હોય છે.
- જ્યારે તંત્ર એક થર્મોડાયનેમિક સ્થિતિમાંથી બીજી થર્મોડાયનેમિક સ્થિતિમાં જાય ત્યારે તેની આંતરિક શક્તિમાં ફેરફાર થાય છે. આ ફેરફાર તંત્રની પ્રક્રિયાના માર્ગ પર આધાર રાખતો નથી. તેની આંતરિકશક્તિ તંત્રની સ્થિતિનું અનન્ય વિધેય (Unique function of System) કહેવાય છે.

- **પ્રતિવર્તી અને અપ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાઓ:**

(Reversible & irreversible process)

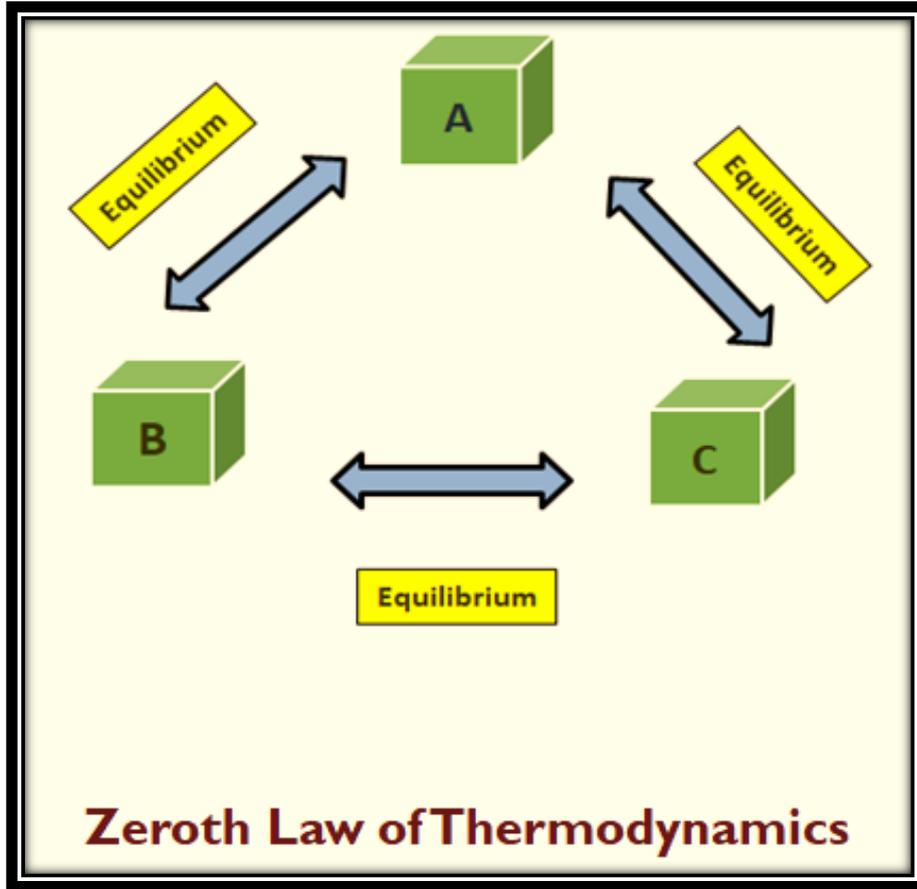
- થર્મોડાયનેમિક્સ તંત્રને પ્રારંભિક અવસ્થામાં-*i* થી અંતિમ અવસ્થા-*f* માં લઈ જતા જે ફેરફારો થાય તે બધાજ ફેરફારો તંત્રને અંતિમ સ્થિતિ-*f* માંથી પ્રારંભિક સ્થિતિ-*i* માં લઈ જતા ઉલટાય જાય તો આ પ્રકારની પ્રક્રિયા ને પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા કહે છે અને જો ઉલટાય નહીં તો તેને અપ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા કહે છે.
- પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા માં દરેક તબક્કે તંત્ર સંતુલિત અવસ્થામાં પસાર થતું હોવું જોઈએ તથા તંત્રમાં ઘર્ષણબળો કે અન્ય અવરોધક બળો હોવા જોઈએ નહીં. બધી જ સમતાપી અને સમોષ્મી પ્રક્રિયાઓ ખુબજ ધીમે ધીમે થાય તો તે પ્રતિવર્તી ગણી શકાય છે. કુદરતમાં થતી બધી જ પ્રક્રિયાઓ અપ્રતિવર્તી છે.

- થર્મોડાયનેમિક્સ નો શૂન્ય ક્રમનો નિયમ :

(Zeroth law of Thermodynamics) :

“ જો કોઈ બે થર્મોડાયનેમિક્સ તંત્રો ત્રીજા થર્મોડાયનેમિક્સ તંત્ર સાથે સમતુલન માં હોય તો આ બંને તંત્ર એકબીજા સાથે સમતોલનમાં હોય છે.”

- કોઈપણ તંત્ર સમતોલનમાં છે કે નહી તે તંત્ર અને પરિસર ના તાપમાન પરથી નક્કી થાય છે.
- આથી આ નિયમ નો ઉપયોગ કરી તાપમાન ને વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે.



- થર્મોડાયનેમિક્સ નો પ્રથમ નિયમ:

(First law of Thermodynamics)

- જ્યારે તંત્ર ને ઉષ્માશક્તિ આપવામાં આવે છે ત્યારે અમુક ઉષ્મા શક્તિ તંત્ર ની આંતરિક શક્તિ વધારવામાં વપરાય છે અને બાકીની શક્તિ બાહ્ય કાર્ય કરવામાં વપરાય છે.
- જો તંત્ર ને Q જેટલી ઉષ્માશક્તિ આપતા તેની આંતરિકશક્તિ U_i માંથી વધીને U_f થાય તથા તંત્ર વડે જેટલું કાર્ય થાય તો શક્તિ સંરક્ષણ ના નિયમપ્રમાણે

$$Q = (U_f - U_i) + W \quad \text{or} \quad Q = U + W \quad \dots\dots\dots(1)$$

- સમીકરણ (1) ને થર્મોડાયનેમિક્સ નો પ્રથમ નિયમ કહે છે.
- જો તંત્ર માં થતા ફેરફારો અતિ સૂક્ષ્મ હોય તો

$$dQ = dU + dW$$

- જો તંત્ર નું દબાણ P હોય અને કદમાં dV જેટલો સૂક્ષ્મ ફેરફાર થાય તો થયેલ કાર્ય

$$dW = PdV$$

$$\therefore dQ = dU + PdV \dots\dots(2)$$

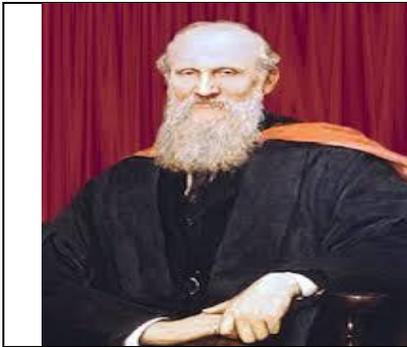
સમીકરણ (2) માં

- જો તંત્ર ઉષ્મા શોષે તો dQ ધન (Positive) અને ઉષ્મા ગુમાવે તો dQ ઋણ (Negative) લેવામાં આવે છે. આજ રીતે
- જો તંત્ર દ્વારા કાર્ય થાય તો dW ધન (Positive) અને તંત્ર પર કાર્ય થાય તો dW ઋણ (Negative) લેવામાં આવે છે.

• થર્મોડાયનેમિક્સ નો બીજો નિયમ : (Second law of Thermodynamics)

- થર્મોડાયનેમિક્સ નો બીજો નિયમ ઉષ્મા શક્તિ નું આંતરિક શક્તિ માં રૂપાંતરણ ની શરતો અને મર્યાદાઓ દર્શાવે છે.
- આ નિયમના જુદા જુદા કથનો આ મુજબ છે.

(૧) કેલ્વિન નું કથન :



કેલ્વિન નું કથન :

“ એવી કોઈ પ્રક્રિયા શક્ય નથી કે જેના અંતિમ પરિણામ સ્વરૂપ એકજ તાપમાને રહેલ પદાર્થ માંથી ઉષ્માનું શોષણ થઈ તેનું સમગ્રપણે યાંત્રિક કાર્યમાં રૂપાંતરણ થાય.

(૨) ક્લોશિયસ નું કથન :



ક્લોશિયસ નું કથન :

ઉષ્માનું પ્રસરણ ઠંડા પદાર્થ માંથી ગરમ પદાર્થ માં આપમેળે (Itself) થતું નથી

(3) મેક્સ પ્લાંક નું કથન :



મેક્સ પ્લાંક નું કથન :

“ એકજ વસ્તુ માંથી ઉષ્મા શોષી ને કાર્યવાહક રચનામાં કોઈપણ પ્રકારનો ફેરફાર કર્યા સિવાય તેનું સમગ્રપણે યાંત્રિક કાર્યમાં રૂપાંતરણ કરે તેવું ચક્રીય પ્રક્રિયા પર આધારિત ઉષ્મા એન્જીન રચવું અશક્ય છે.”

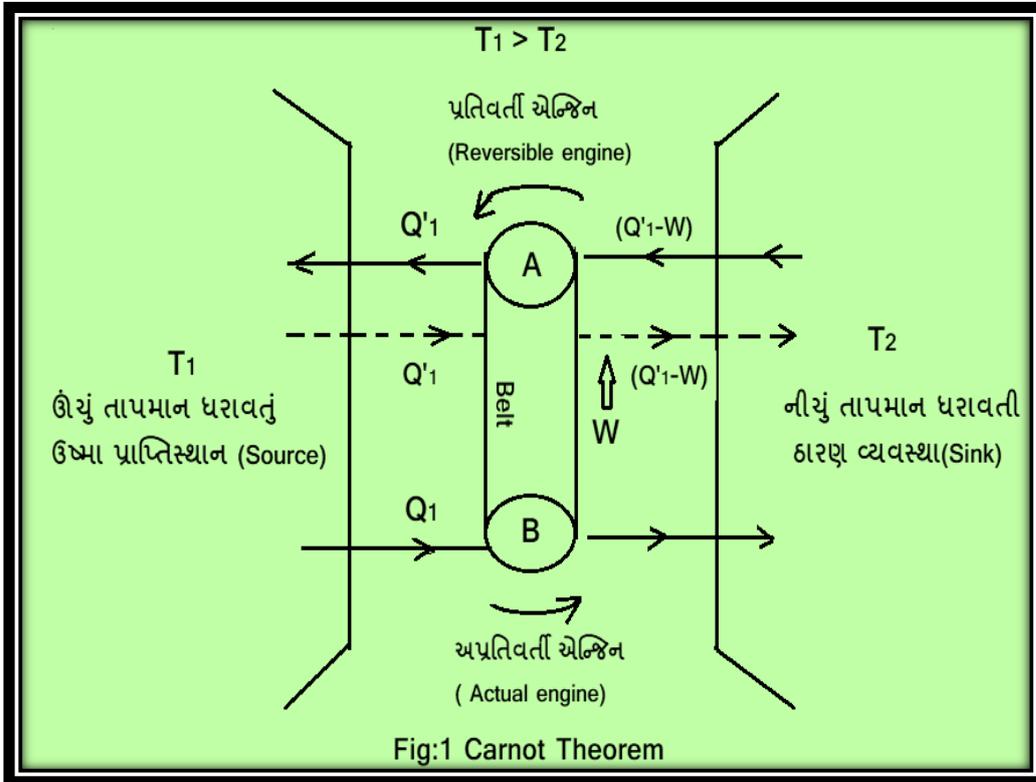
(૪) એન્ટ્રોપીના સંદર્ભમાં કથન :

થર્મોડાયનેમિક પ્રક્રિયા એવી દિશામાં જ થઈ શકે છે કે જેમાં પ્રક્રિયા માં ભાગ લેતા બધાજ ઘટકોની કુલ એન્ટ્રોપી કાં તો વધે છે અથવા અચલ રહે છે. એવી કોઈ પ્રક્રિયા શક્ય નથી કે જેમાં એન્ટ્રોપી ઘટતી હોય.

SEMESTER-2

❖ કાર્નોટ પ્રમેય લખો અને સાબિત કરો.

- **કથન(Statement):** “જુદા જુદા નિશ્ચિત તાપમાન ધરાવતી બે સ્થિતિઓ વચ્ચે કાર્ય કરતાં અપ્રતિવર્તી એન્જિન ની કાર્યક્ષમતા (η_B), પ્રતિવર્તી એન્જિનની કાર્યક્ષમતા(η_A) કરતા વધારે હોઈ શકે નહીં. [$\eta_A > \eta_B$]
- **સાબિતી: (Proof):**



- આકૃતિ-1 માં ઊંચું તાપમાન (T_1) ધરાવતા ઉષ્મા પ્રાપ્તિસ્થાન અને (T_2) જેટલું નીચું તાપમાન ધરાવતી ઠારણ વ્યવસ્થા(sink) વચ્ચે બે એન્જિન A અને B કાર્ય કરતા દર્શાવેલ છે. જેમાં A પ્રતિવર્તી એન્જિન છે. જ્યારે B અપ્રતિવર્તી એન્જિન છે. જેમની કાર્યક્ષમતાઓ અનુક્રમે η_A તથા η_B છે. તેથી પ્રમેય મુજબ $\eta_A > \eta_B$ થાય.

- સાબિતી:**

- ધારો કે અપ્રતિવર્તી એન્જિનની કાર્યક્ષમતા η_B એ પ્રતિવર્તી એન્જિનની કાર્યક્ષમતા η_A કરતાં વધુ છે. $\therefore \eta_B > \eta_A$ (1)
- B એન્જિન T_1 તાપમાન ધરાવતા સોર્સ માંથી Q_1 ઉષ્માનું શોષણ કરે છે, અને W જેટલું કાર્ય કરે છે. તથા બાકી રહેતી ($Q_1 - W$) જેટલી ઉષ્મા T_2 તાપમાન ધરાવતી ઠારણ વ્યવસ્થામાં છોડી દે છે.

$$\therefore \text{B એન્જિન ની કાર્યક્ષમતા } \eta_B = \frac{W}{Q_1} \dots\dots\dots (2)$$

- આજ રીતે A એન્જિન, Q'_1 જેટલી ઉષ્મા સોર્સ માંથી મેળવીને વધારાનું કાર્ય(External Work) W કરે છે, અને ($Q'_1 - W$) જેટલી ઉષ્મા ઠારણ વ્યવસ્થામાં છોડી દે છે.

$$\therefore \text{A એન્જિન ની કાર્યક્ષમતા } \eta_A = \frac{W}{Q'_1} \dots\dots\dots (3)$$

- સમીકરણ (2) અને (3) ની કિંમત સમીકરણ (1) માં લેતાં,

$$\frac{W}{Q_1} > \frac{W}{Q'_1}$$

$$\therefore \frac{Q_1}{W} < \frac{Q'_1}{W}$$

$$\therefore Q_1 < Q'_1 \quad \text{OR} \quad Q'_1 > Q_1$$

- એટલે કે $Q'_1 - Q_1$ નું મૂલ્ય ધન થાય છે.
- હવે ધારો કે બંને એન્જિન A અને B ને કોઈ યાંત્રિક રચના(mechanical device) Belt વડે એવી રીતે જોડવામાં આવે છે કે જેમાં અપ્રતિવર્તી એન્જિન B સીધું જ કાર્ય (Forward work) કરે અને પ્રતિવર્તી એન્જિન A રેફ્રિજરેટરની માફક back work કાર્ય કરે.(Cold to Hot)
- હવે આ પ્રકારે જોડેલા A અને B એન્જિનના દરેક ચક્રના અંતે T_1 અને T_2 તાપમાને રહેલ ઉષ્મા પ્રાપ્તિસ્થાન તથા ઠારણ વ્યવસ્થાએ મેળવેલ અને ગુમાવેલ ઉષ્મા આ પ્રમાણે થશે.
- T_1 તાપમાને રહેલું ઉષ્મા પ્રાપ્તિસ્થાન Q_1 જેટલી ઉષ્મા B એન્જિન ને આપે છે. અને Q'_1 ઉષ્મા A એન્જિન દ્વારા મેળવે છે. એટલે કે ઉષ્મા પ્રાપ્તિસ્થાન ને મેળવેલી ઉષ્મા = $Q'_1 - Q_1$ થાય.

- આજ રીતે T_2 તાપમાને રહેલ ઠારણ વ્યવસ્થા $(Q_1 - W)$ ઉષ્મા B એન્જિન દ્વારા મેળવે છે અને $(Q'_1 - W)$ જેટલી ઉષ્મા A એન્જિન દ્વારા ગુમાવે છે.
- તેથી , ઠારણ વ્યવસ્થાએ ગુમાવેલ ઉષ્મા $= (Q'_1 - W) - (Q_1 - W)$

$$= Q'_1 - W - Q_1 + W$$

$$= Q'_1 - Q_1$$

- આમ પ્રત્યેક ચક્ર દરમિયાન સંયુક્ત એન્જિન બહારની મદદ વગર ઠંડા પદાર્થ માંથી $(Q'_1 - Q_1)$ ઉષ્મા મેળવે છે અને આટલો જ જથ્થો $(Q'_1 - Q_1)$ ઊંચા તાપમાન વાળા ગરમ પદાર્થ ને પાછો આપે છે.
- આ રીતે કોઈ ઉપયોગી કાર્ય ખર્ચા સિવાય નીચા તાપમાનવાળા ઠંડા પદાર્થ માંથી ઉષ્માને ઊંચા તાપમાનવાળા ગરમ પદાર્થ માં લઈ જવાય છે.
- આ ઘટના થર્મોડાયનેમિક્સ ના બીજા નિયમ મુજબ અસંભવિત છે. માટે આપણી ધારણા $\eta_B > \eta_A$ ખોટી છે. જેથી $\eta_A > \eta_B$ સત્ય થાય .
- આમ કાર્નોટ પ્રમેય સાબિત થાય છે .

• તાપમાન નો થર્મોડાયનેમિક સ્કેલ:

(Thermodynamic Scale of Temperature):

- લોર્ડ કેલ્વિન એ પ્રતિવર્તી ઉષ્માચંત્રની કાર્યક્ષમતા નો આધાર લઈને તાપમાનનો સ્કેલ વ્યાખ્યાયિત કર્યો જે પદાર્થના ગુણધર્મ પર આધાર રાખતો નથી. આ સ્કેલ ને તાપમાનનો થર્મોડાયનેમિક સ્કેલ કહેવામાં આવે છે.
- ધારોકે કોઈ અન્ય સ્કેલના બે તાપમાન θ_1 અને θ_2 વચ્ચે કાર્નોટ એન્જિન કાર્ય કરે છે. (જ્યાં $\theta_1 > \theta_2$)
- આ ઉષ્માએન્જિન θ_1 તાપમાને Q_1 ઉષ્માનું શોષણ કરે છે અને θ_2 તાપમાને Q_2 ઉષ્મા પરિસરમાં છોડે છે.
- તેથી કાર્નોટ એન્જિન ની કાર્યક્ષમતા $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \dots \dots \dots (A)$
- પરંતુ η એ તાપમાન નું વિધેય હોવાથી $\eta = f(\theta_1 , \theta_2)$

$$f(\theta_1 , \theta_2) = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \therefore \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - f(\theta_1 , \theta_2)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1}{1 - f(\theta_1, \theta_2)} \dots \dots \dots (1)$$

- હવે, $\frac{1}{1 - f(\theta_1, \theta_2)}$ ને તાપમાનના બીજા કોઈ વિધેય $F(\theta_1, \theta_2)$ વડે દર્શાવતા

$$\frac{1}{1 - f(\theta_1, \theta_2)} = F(\theta_1, \theta_2)$$

- આ કિમત સમીકરણ (1) માં લેતા,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = F(\theta_1, \theta_2) \dots \dots \dots (2)$$

- આજ રીતે કાર્નોટ એન્જિન θ_2 તાપમાને Q_2 ઉષ્માનું શોષણ કરે છે અને θ_3 તાપમાને Q_3 ઉષ્મા પરિસરમાં છોડે તો સમીકરણ (2) નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$\frac{Q_2}{Q_3} = F(\theta_2, \theta_3) \dots \dots \dots (3)$$

- હવે જો કાર્નોટ એન્જિન θ_1 તાપમાને Q_1 ઉષ્માનું શોષણ કરે છે અને θ_3 તાપમાને Q_3 ઉષ્મા પરિસરમાં છોડે તો સમીકરણ (2) નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$\frac{Q_1}{Q_3} = F(\theta_1, \theta_3) \dots \dots \dots (4)$$

- પરંતુ

$$\frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_3}$$

$$\therefore F(\theta_1, \theta_2) \times F(\theta_2, \theta_3) = F(\theta_1, \theta_3) \dots \dots \dots (5)$$

- સમીકરણ (5)ની ડાબી બાજુ એ θ_2 નું વિધેય છે. જ્યારે જમણી બાજુ એ θ_2 નું વિધેય નથી. આ ત્યારેજ શક્ય બને કે જો ,

$$F(\theta_1, \theta_2) = \frac{\phi(\theta_1)}{\phi(\theta_2)}$$

$$F(\theta_2, \theta_3) = \frac{\phi(\theta_2)}{\phi(\theta_3)}$$

$$F(\theta_1, \theta_3) = \frac{\phi(\theta_1)}{\phi(\theta_3)}$$

.....(6)

- સમીકરણ (6) ના મૂલ્યો સમીકરણ (5) માં લેતા સમીકરણ સંતોષાય છે.

- ઉપરોક્ત સમીકરણ (5) પરથી

$$F(\theta_1, \theta_2) = \frac{F(\theta_1, \theta_3)}{F(\theta_2, \theta_3)} \dots \dots \dots (7)$$

- ઉપરના સમીકરણ (7) માં ડાબી બાજુ સમી.(2) અને જમણી બાજુ સમી.(6) ની કિમતો લેતા,

$$\frac{Q_1}{Q_3} = \frac{\phi(\theta_1)/\phi(\theta_3)}{\phi(\theta_2)/\phi(\theta_3)}$$

$$\frac{Q_1}{Q_3} = \frac{\phi(\theta_1)}{\phi(\theta_2)}$$

- જો વિધેય $\phi(\theta)$ ને τ વડે દર્શાવીએ તો (જ્યાં = thermodynamical Temperature)

$$\phi(\theta_1) = \tau_1 \text{ અને } \phi(\theta_2) = \tau_2 \text{ થાય}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \quad \therefore \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\tau_2}{\tau_1}$$

આ કિમત સમીકરણ (A) માં લેતા,

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{\tau_2}{\tau_1} \dots \dots \dots (8)$$

- સમીકરણ (8) માં τ_1 અને τ_2 ને થર્મોડાયનેમિકલ સ્કેલના તાપમાનો કહેવામા આવે છે.
- આ સ્કેલમાં ઉષ્મા પ્રાપ્તિસ્થાન નું તાપમાન τ_1 અને પરિસરનું તાપમાન τ_2 વચ્ચે કાર્યકરતાં કાર્નોટ એન્જિનની કાર્યક્ષમતા (η) સમીકરણ (8) વડે મળે છે.
- આમ τ_1 અને τ_2 માત્ર કાર્યક્ષમતા η પરથી વ્યાખ્યાયિત થાય છે.

આદર્શ વાયુનો નિરપેક્ષ તાપમાન સ્કેલ અને તાપમાન નાં થર્મોડાયનેમિકલ સ્કેલ વચ્ચેનો સંબંધ: (Identity of Perfect Gas Scale & Absolute Scale):

- એક કાર્નોટ એન્જિન ઉકળતા શુદ્ધ પાણીના તાપમાન અને શુદ્ધ બરફના તાપમાન વચ્ચે કરી કરે છે. તેની કાર્યક્ષમતા (η) છે.
- જો ઉકળતા શુદ્ધ પાણીનું નિરપેક્ષ તાપમાન T_1 or (T_{steam}) અને શુદ્ધ બરફનું તાપમાન T_2 or (T_{ice}) હોય તો,

$$\text{કાર્યક્ષમતા}(\eta) = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \dots \dots \dots (1)$$

- હવે તાપમાનના થર્મોડાયનેમિકલ સ્કેલમાં ઉકળતા શુદ્ધ પાણીનું તાપમાન τ_1 અને શુદ્ધ બરફનું તાપમાન τ_2 હોય તો, સમીકરણ (8) મુજબ,

$$\text{કાર્યક્ષમતા}(\eta) = 1 - \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \dots \dots \dots (2)$$

- સમીકરણ (1) અને (2) ને સરખાવતા,

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \dots \dots \dots (3)$$

- પરંતુ, $T_1 - T_2 = 100 - 0 = 100$ જો તાપમાનના થર્મોડાયનેમિકલ સ્કેલમાં $\tau_1 - \tau_2 = 100$ લેવામાં આવેતો સમીકરણ (3) પ્રમાણે

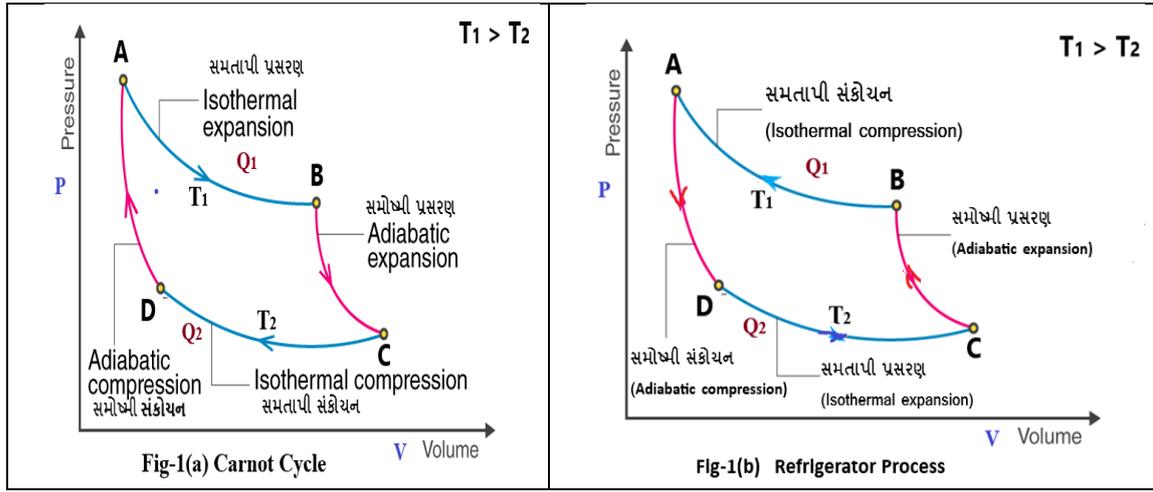
$$\frac{100}{T_1} = \frac{100}{\tau_1}$$

$$\therefore T_1 = \tau_1 \text{ અને } T_2 = \tau_2 \text{ થશે}$$

- જે દર્શાવે છે કે આદર્શવાયુ ના નિરપેક્ષ તાપમાનનો સ્કેલ અને તાપમાનનો થર્મોડાયનેમિકલ સ્કેલ બંને એકરૂપ છે. તેથી નિરપેક્ષ તાપમાનમાં દર્શાવેલું તાપમાન એ થર્મોડાયનેમિકલ સ્કેલનું તાપમાન થશે.

- **થર્મોડાયનેમિક્સ ઓફ રેફ્રિજરેશન:**
(Thermodynamics of Refrigeration)

- કાર્નોટ ચક્રને જો ઉલટા ક્રમમાં લેવામાં આવે તો મળતી ચક્રીય પ્રક્રિયાને રેફ્રિજરેશન પ્રક્રિયા કહે છે. આવી પ્રક્રિયા પર કાર્ય કરતી રચના ને રેફ્રિજરેટર કહે છે.



- રેફ્રિજરેટરમાં કાર્નોટ ચક્ર નો ક્રમ ઉલટાવતા, તેના પ્રત્યેક ચક્ર ADCBA માં નીચું તાપમાન (T_2) ધરાવતી ઠારણ વ્યવસ્થા માંથી અચળ તાપમાને કાર્યકારી પદાર્થ DC સમતાપી ફેરફાર દરમિયાન ધારોકે Q_2 ઉષ્મા નું શોષણ કરે છે. અને ઊંચું તાપમાન (T_1) ધરાવતા ઉષ્મા પ્રાપ્તિસ્થાન માં તેજ તાપમાને ધારોકે Q_1 ઉષ્મા પાછી ફેંકે છે.
- આકૃતિ-1b માં આ પથ BA વડે દર્શાવ્યો છે. આ ચક્ર માટે બહારથી કાર્ય કરવું પડે છે. ધારોકે આ કાર્ય નું મૂલ્ય W છે. અને તેનું સમતુલ્ય મૂલ્ય આકૃતિ-1b માં P વિરુદ્ધ V ના ડાયાગ્રામ માં ABCDA વડે ઘેરાતા ક્ષેત્રફળ જેટલું જ છે.
- ઘર વપરાશના ફીઝ માટે તેમાં મૂકેલો ખોરાક અને બરફ એ નીચા અચળ તાપમાનવાળા ઠંડા પદાર્થ (T_2) તરીકે વર્તે છે. ઇલેક્ટ્રિક મોટર વડે બાહ્ય કાર્ય કરવામાં આવે છે. અચળ ઊંચા તાપમાનવાળા ગરમ પદાર્થ તરીકે રેફ્રિજરેટરની આસપાસ આવેલ ઓરડાની હવા છે. (જે ઓરડાના તાપમાન છે.)
- અહીં તંત્ર Q_2 ઉષ્મા શોષે છે અને તેના પર તંત્ર દ્વારા કાર્ય W થાય છે. અને Q_1 ઉષ્મા પરિસરમાં છોડે છે.

$$\therefore Q_2 + W = Q_1$$

$$\therefore W = Q_1 - Q_2 \dots \dots \dots (1)$$

- રેફ્રિજરેટરની ક્ષમતાના માપન તરીકે તેના કાર્યગુણક(Co-efficient of Performance) નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરવામાં આવે છે.

$$\text{કાર્યગુણક}(\beta) = \frac{\text{ઠંડા પરિસર માથી શોષેલ ઉષ્મા } Q_2}{\text{કાર્યકારી પદાર્થ પર થતું કાર્ય } W}$$

$$\text{કાર્યગુણક}(\beta) = \frac{Q_2}{W}$$

$$\text{કાર્યગુણક}(\beta) = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \quad (\text{સમી. } -1 \text{ પરથી})$$

- સામાન્ય રીતે ઘર વપરાશના રેફ્રિજરેટર માટે ના કાર્યગુણક(β) નું મૂલ્ય 2 થી 6 જેટલું હોય છે.
- તાપમાનના સંદર્ભમાં આ પરિણામ રેફ્રિજરેટર માટે વાપરતાં (તાપમાનના સંદર્ભમાં)

$$\text{કાર્યગુણક}(\beta) = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

- તથા કાર્યક્ષમતાના સંદર્ભમાં,

$$\text{કાર્યગુણક}(\beta) = \frac{T_2}{\eta T_1}$$

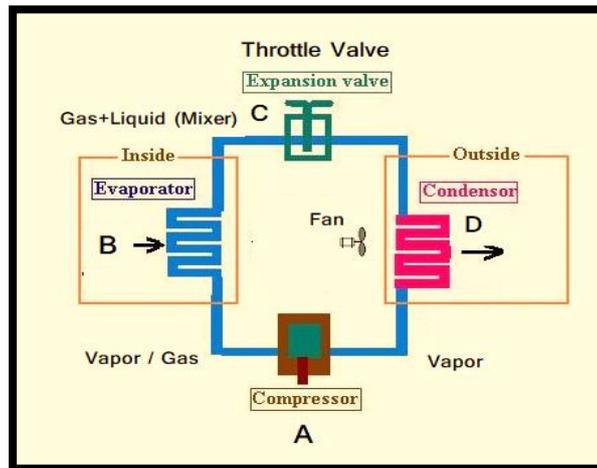
પરંતુ,

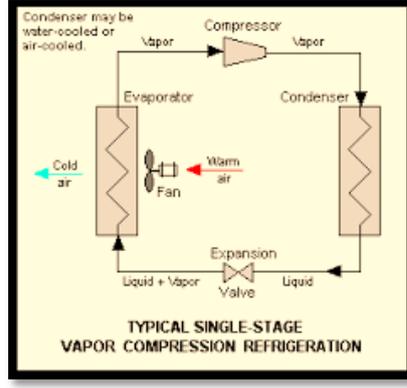
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \therefore \frac{T_2}{T_1} = (1 - \eta)$$

આ કિમત ઉપરના સમીકરણમાં લેતા ,

$$\text{કાર્યગુણક}(\beta) = \frac{1}{\eta} \cdot (1 - \eta) \quad \text{or} \quad \text{કાર્યગુણક}(\beta) = \frac{(1 - \eta)}{\eta}$$

❖ રેફ્રિજરેટર ની કાર્યપદ્ધતિ:(Working of Refrigerator):





- કોમ્પ્રેસર A દ્વારા ઊંચા તાપમાને અને ઊંચા દબાણે ફ્રીઓન(Freon) વાયુ જેવા કે એમોનિયા, SO_2 , R-717, R-12, ફ્લોરિન ફી R-134, કે R-120 જેવાં ગેસ ને ગૂંચળાવાળી નળી B માં દાખલ કરવામાં આવે છે.
- તેમાં શીતક પ્રવાહી ના સતત વહન થી તેમાની ઉષ્માનું શોષણ કરી અંશત:પ્રવાહી માં રૂપાંતર કરવામાં આવે છે.
- આ પ્રવાહી + બાષ્પ નું થ્રોટલ વાલ્વ (Throttle valve) C દ્વારા પ્રસરણ કરાવવા માં આવે છે. તેથી તાપમાન ઘટે છે. આથી નીચા તાપમાને પ્રવાહી + બાષ્પ નીચા દબાણે ગૂંચળાવાળી નળી D માં દાખલ થાય છે.
- જ્યાં બહારથી ઉષ્મા આપી પ્રવાહીનું વાયુ માં રૂપાંતર કરી કોમ્પ્રેસર પંપ A માં દાખલ કરવામાં આવે છે પાંચ સક્રિય પ્રક્રિયા નું વારંવાર પુનરાવર્તન કરાવવા માં આવે છે.

Example:1 રેફ્રિજરેટર નો કાર્ય અંક (β) = 5 હોય અને તંત્ર પર થતું કાર્ય 50 જૂલ હોય તો તેના વડે શોષાતી ઉષ્મા નો જથ્થો શોધો.

Solution: અહીં (β) = 5 , $W = 50$ જૂલ , $Q_2 = ?$

$$\text{કાર્યગુણક}(\beta) = \frac{Q_2}{W}$$

$$\therefore Q_2 = \beta \times W = 5 \times 50 = 250 \text{ Cal.}$$

Example:2 એક રેફ્રિજરેટર 300 °K અને 400 °K તાપમાન વચ્ચે પ્રતિવર્તી યક્રીય પ્રક્રિયા વડે કાર્ય કરે છે. આ રેફ્રિજરેટર માટે (1) ઉષ્મીય કાર્યક્ષમતા η તથા (2) કાર્ય અંક (β) નું મૂલ્ય શોધો.

Solution:

(1) ઉષ્મીય કાર્યક્ષમતા (η) :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$
$$\eta = 1 - \frac{300}{400} = \frac{400 - 300}{400} = \frac{100}{400} = \frac{1}{4} = 0.25$$
$$\eta = 0.25 \text{ or } \text{ટકાવારીમાં } \eta = 25\%$$

(2) કાર્ય અંક (β) :

$$\text{કાર્યગુણાંક}(\beta) = \frac{Q_2}{W} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{300}{400 - 300} = \frac{300}{100} = 3$$

$$\text{કાર્યગુણાંક}(\beta) = 3$$

Example:3 રેફ્રિજરેટરનો કાર્ય અંક (β) = 3 છે. આ રેફ્રિજરેટર (1) જો 100% કાર્યઅંક અને (2) 60% કાર્યઅંક થી કાર્ય કરતું હોય ત્યારે 100 વોટ ની રેફ્રિજરેશન અસર(Cooling effect) માટેનો જરૂરી પાવર (જરૂરી કાર્ય) શોધો.

Solution:

$$(\beta)_{max} = 3$$

(1) જો 100% કાર્યઅંક (β)_{actual}

$$(\beta)_{actual} = (\beta)_{max} = 3$$

$$(\beta)_{actual} = \frac{Q_2}{W}$$

$$W = \frac{Q_2}{(\beta)_{actual}} = \frac{100}{3} = 33.3 \text{ વૉટ}$$

$$W = 33.3 \text{ વૉટ}$$

(2) 60% કાર્યઅંક માટે $(\beta)_{actual}$:

$$(\beta)_{actual} = 60\% \times (\beta)_{max}$$

$$(\beta)_{actual} = \frac{60}{100} \times 3 = \frac{180}{100} = 1.8$$

$$(\beta)_{actual} = 1.8$$

$$\text{Now } (\beta)_{actual} = \frac{Q_2}{W}$$

$$\therefore W = \frac{Q_2}{(\beta)_{actual}} = \frac{100}{1.8} = 55.5 \text{ વૉટ}$$

$$\therefore W = 55.5 \text{ વૉટ}$$

એન્ટ્રોપી : (Entropy):

સામાન્ય રીતે થર્મોડાયનેમિક તંત્રની સ્થિતિને દબાણ (P), કદ (V) , તાપમાન (T), અને આંતરિક શક્તિ (U) વડે દર્શાવવામાં આવે છે.

ઈ 1854.સ.માં ક્લોસિયસ નામના વૈજ્ઞાનિકે જણાવ્યું કે ઉપરોક્ત રાશિઓ તંત્રની સ્થિતિને દર્શાવવા માટે પૂરતી નથી. તેમણે ગાણિતિક રીતે સાબિત કર્યું કે તંત્રની સ્થિતિ દર્શાવવા બીજી એક ભૌતિક રાશિ અસ્તિત્વ ધરાવે છે. આ રાશિને તેમણે એન્ટ્રોપી તરીકે દર્શાવી.

એન્ટ્રોપી વડે થર્મોડાયનેમિક્સ ના બીજા નિયમને ગાણિતિક સ્વરૂપે દર્શાવી શકાય છે. એન્ટ્રોપી નું પ્રાયોગિક નિદર્શન થઈ શકતું નથી. તેથી તેને ભૂતિયા રાશિ અથવા (Ghost quantity) કહે છે.

એન્ટ્રોપી નો ફેરફાર: (Change of Entropy)

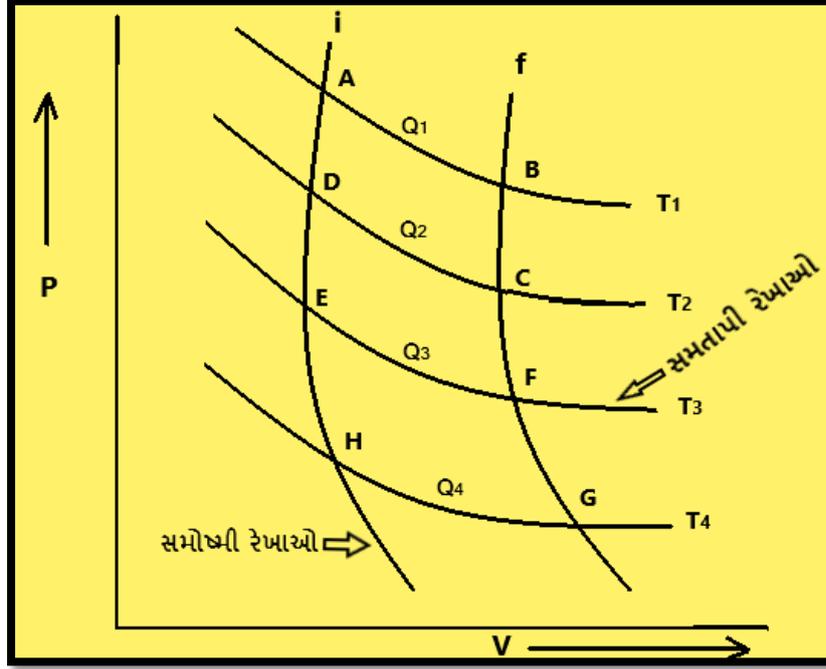


Fig:1

Fig:1 માં P → V Indicator diagram દર્શાવેલ છે. જેમાં T_1, T_2, T_3, T_4 તાપમાને AB, DC, EF, અને HG સમતાપી રેખાઓ દર્શાવે છે. અહીં $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$ છે. આ સમતાપી રેખાઓને કાપતી બે સમોષ્મી ની રેખાઓ i અને f દોરેલ છે. જે સમતાપી રેખાઓ ને અનુક્રમે A, D, E, H અને B, C, F, G માં કાપે છે. પરિણામ ABCD, DCFE, અને EFGH વગેરે કાર્નોટ ચક્ર દર્શાવે છે.

ધારો કે કાર્નોટ ચક્ર ABCD માં કાર્યકારી પદાર્થ એટલે કે તંત્ર T_1 તાપમાને Q_1 ઉષ્માનું શોષણ કરે છે, અને T_2 તાપમાને Q_2 ઉષ્મા પરિસરમાં છોડી દે છે.

માટે કાર્નોટ એન્જિનની કાર્યક્ષમતા ની વ્યાખ્યા મુજબ,

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\therefore \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\therefore \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \therefore Q_1 T_2 = Q_2 T_1$$

$$\therefore \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \dots \dots \dots (1)$$

આજ રીતે કાર્નોટચક્ર DCFE માં કાર્યકારી પદાર્થ એટલે કે તંત્ર T_2 તાપમાને Q_2 ઉષ્માનું શોષણ કરે છે, અને T_3 તાપમાને Q_3 ઉષ્મા પરિસરમાં છોડી દે છે તો .

$$\therefore \frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_3}{T_3} \dots \dots \dots (2)$$

આજ રીતે કાર્નોટચક્ર EFGH માં કાર્યકારી પદાર્થ એટલે કે તંત્ર T_3 તાપમાને Q_3 ઉષ્માનું શોષણ કરે છે, અને T_4 તાપમાને Q_4 ઉષ્મા પરિસરમાં છોડી દે છે તો .

$$\therefore \frac{Q_3}{T_3} = \frac{Q_4}{T_4} \dots \dots \dots (3)$$

આમ સમીકરણ (1), (2), (3), પરથી કહી શકાય કે

વ્યાપક સ્વરૂપે બે સમોષ્મી i અને f વચ્ચે પ્રક્રિયા કરતા તંત્ર માટે,

$$\frac{Q}{T} = \text{અચળાંક} \dots \dots (4)$$

જો કાર્નોટચક્રને અતિસૂક્ષ્મ લેવામાં આવે તો એટલે કે સમોષ્મી વક્ર i અને f ખુબજ નજીક હોય તો સમીકરણ (4) નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય.

$$\frac{dQ}{T} = \text{અચળાંક} \dots \dots (5)$$

સમીકરણ(5) માં રહેલા અચળાંક ને એન્ટ્રોપી નો ફેરફાર કહે છે. જેને dS વડે દર્શાવવામાં આવે છે.

$$\therefore \frac{dQ}{T} = dS \dots \dots (6)$$

જો તંત્રની i પાસેની એન્ટ્રોપી S_i અને f પાસે ની એન્ટ્રોપી S_f હોય તો i થી f સુધીના સમગ્ર સૂક્ષ્મખંડોનું સંકલન કરતાં

$$\int_i^f \frac{dQ}{T} = \int_i^f dS = [S]_i^f = S_f - S_i$$

$$\therefore S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T} \quad \dots \dots (7)$$

એન્દ્રોપી નો ભૌતિક ખ્યાલ અને એકમ:

એન્દ્રોપી નો ભૌતિક ખ્યાલ આપવો મુશ્કેલ છે. કારણ કે એન્દ્રોપી ની તાપમાન કે દબાણ ની જેમ અનુભૂતિ શક્ય નથી. તેમ છતાં તેને નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય છે.

$$\text{એન્દ્રોપી માં થતો ફેરફાર} = \frac{\text{મેળવવામાં કે ગુમાવવામાં આવતી ઉષ્મા}}{\text{નિરપેક્ષ તાપમાન}}$$

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

તેનો એકમ $\frac{\text{કેલરી}}{\text{કેલ્વિન}}$ or $\frac{\text{Cal}}{\text{K}}$ અથવા $\frac{\text{જૂલ}}{\text{કેલ્વિન}}$ or $\frac{\text{Joule}}{\text{K}}$ છે

સમોષ્મી પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા દરમિયાન એન્દ્રોપી માં થતો ફેરફાર સમજાવો.

સમોષ્મી પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉષ્મા મેળવવામાં કે ગુમાવવામાં આવતી નથી.

(માટે Q = અચળ, dQ = 0)

$$\therefore dQ = 0$$

$$\therefore \text{એન્દ્રોપી માં થતો ફેરફાર } dS = \frac{dQ}{T} = \frac{0}{T} = 0$$

$$\therefore dS = 0$$

એટલે કે એન્દ્રોપી માં ફેરફાર થતો નથી .અથવા એન્દ્રોપી અચળ રહે છે

P → V Diagram માં સમોષ્મી વક્ર અને આઈસેન્દ્રોપીક (Isentropic) અથવા અચળ એન્દ્રોપી વક્ર કહે છે. આમ જે પ્રક્રિયામાં એન્દ્રોપી અચળ રહેતી હોય તેવી પ્રક્રિયા ને આઈસેન્દ્રોપીક

(Isentropic) પ્રક્રિયા કહે છે.

ક્લોસિયસ પ્રમેય (Clausius Theorem) લખો અને સાબિત કરો. અથવા પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા માટે એન્ટ્રોપી નો ફેરફાર સમજાવો.

ક્લોસિયસ પ્રમેય કથન:

“સંપૂર્ણ પ્રતિવર્તી ચક્રીય પ્રક્રિયા દરમિયાન કાર્યકારી પદાર્થની એન્ટ્રોપી માં થતો ફેરફાર શૂન્ય હોય છે” .

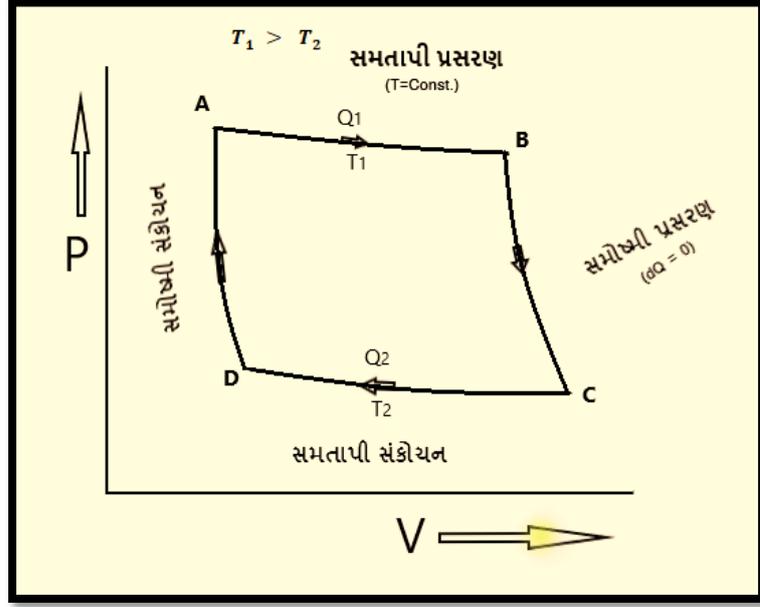


Fig:1 માં એક પ્રતિવર્તી કાર્નોટ ચક્ર ABCDE દર્શાવેલ છે. જેમાં AB અને CD સમતાપી પ્રક્રિયા છે જ્યારે BC અને DA સમોષ્મી પ્રક્રિયા છે

AB નું તાપમાન T_1 છે. જ્યારે CD નું તાપમાન T_2 છે. અહીં $T_1 > T_2$ છે. ઉપરોક્ત સંપૂર્ણ પ્રતિવર્તી ચક્રીય પ્રક્રિયા ABCDA ને ચાર તબક્કામાં સમજાવી શકાય.

(1) સમતાપી વિસ્તરણ અથવા પ્રસરણ:

- AB માર્ગે થતી આ સમતાપી પ્રક્રિયા દરમિયાન કાર્યકારી પદાર્થ અવસ્થા A માંથી અવસ્થા B માં આવે છે.
- અહીં પદાર્થ T_1 તાપમાને Q_1 ઉષ્માનું સોર્સ માંથી શોષણ કરે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન એન્ટ્રોપી માં થતો ફેરફાર નીચે મુજબ છે.

$$\int_A^B dS = \frac{Q_1}{T_1} \dots \dots (1)$$

(2) સમોષ્મી વિસ્તરણ અથવા પ્રસરણ:

- BC માર્ગે થતી આ સમોષ્મી પ્રક્રિયા દરમિયાન કાર્યકારી પદાર્થ અવસ્થા B માંથી અવસ્થા C માં આવે છે .
- અહીં પદાર્થ ઉષ્મા નું શોષણ કે ઉત્સર્જન કરતો નથી. પરંતુ તાપમાન T_1 થી T_2 જેટલું ઘટે છે .આ પ્રક્રિયા દરમિયાન એન્ટ્રોપી અચળ રહે છે.

$$\int_B^C dS = 0 \dots \dots (2)$$

(3) સમતાપી સંકોચન:

- CD માર્ગે થતી આ સમતાપી પ્રક્રિયા દરમિયાન કાર્યકારી પદાર્થ અવસ્થા C માંથી અવસ્થા D માં આવે છે.
- અહીં પદાર્થ T_2 તાપમાને Q_2 ઉષ્મા ઠારણ વ્યવસ્થા ગુમાવે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન એન્ટ્રોપી માં થતો ફેરફાર નીચે મુજબ છે.

$$\int_C^D ds = -\frac{Q_2}{T_2} \dots \dots (3)$$

(અહીં ઋણ નિશાની ઉષ્મા ગુમાવે છે , તે દર્શાવે છે.)

(4) સમોષ્મી સંકોચન:

- DA માર્ગે થતી આ સમોષ્મી પ્રક્રિયા દરમિયાન કાર્યકારી પદાર્થ અવસ્થા D માંથી અવસ્થા A માં આવે છે.
- અહીં પદાર્થ ઉષ્મા નું શોષણ કે ઉત્સર્જન કરતો નથી. પરંતુ તાપમાન T_2 થી T_1 જેટલું વધે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન એન્ટ્રોપી અચળ રહે છે.

$$\int_D^A dS = 0 \dots \dots (4)$$

- આમ એક સંપૂર્ણ ચક્ર ABCDA દરમિયાન એન્ટ્રોપી માં થતો કુલ ફેરફાર નીચે મુજબ છે.

$$\oint dS = \int_A^B dS + \int_B^C dS + \int_C^D dS + \int_D^A dS$$

$$\oint dS = \frac{Q_1}{T_1} + 0 + -\frac{Q_2}{T_2} + 0$$

$$\oint dS = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2}$$

- પરંતુ પ્રતિવર્તી કાર્નોટ ચક્ર માટે

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

$$\oint dS = 0 \dots \dots (5)$$

- ઉપરોક્ત સમીકરણ (5) ને ક્લોસિયસ પ્રમેય તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.
- “સંપૂર્ણ પ્રતિવર્તી ચક્રીય પ્રક્રિયા દરમિયાન કાર્યકારી પદાર્થની એન્ટ્રોપી માં થતા ફેરફાર શૂન્ય હોય છે “ અર્થાત “ એન્ટ્રોપી અચળ રહે છે.”

અપ્રતિવર્તી ચક્રીય પ્રક્રિયા માટે એન્ટ્રોપી નો ફેરફાર સમજાવો.

- ધારો કે એક એન્જિન અપ્રતિવર્તી ચક્રીય પ્રક્રિયા દરમિયાન ફેરફાર અનુભવે છે. જેમાં પદાર્થ T_1 તાપમાને ઉષ્મા પ્રાપ્તિસ્થાન માંથી Q_1 ઉષ્મા મેળવે છે, અને T_2 તાપમાને Q_2 ઉષ્મા ઠારણ વ્યવસ્થા માં ગુમાવે છે.
- તેથી આ અપ્રતિવર્તી એન્જિનની કાર્યક્ષમતા η' નીચે મુજબ થશે.

$$\eta' = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \dots \dots \dots (1)$$

- હવે જો પ્રતિવર્તી ચક્રીય પ્રક્રિયા પર આધારિત એન્જિન માટે કાર્યક્ષમતાને η વડે દર્શાવવામાં આવે તો,

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \dots \dots \dots (2)$$

- પરંતુ કાર્નોટ પ્રમેય મુજબ T_1 અને T_2 તાપમાન વચ્ચે કાર્યકરતા પ્રતિવર્તી એન્જિનની કાર્યક્ષમતા કરતા અપ્રતિવર્તી એન્જિનની કાર્યક્ષમતા ઓછી હોય છે.

$$\therefore \eta' < \eta$$

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\therefore -\frac{Q_2}{Q_1} < -\frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} > \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{Q_2}{T_2} > \frac{Q_1}{T_1}$$

$$\frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} > 0$$

- આમ ઉષ્મા પ્રાપ્તિસ્થાન ની એન્દ્રોપી માં થતો ઘટાડો = $\frac{Q_1}{T_1}$ અને ઠારણ વ્યવસ્થાની એન્દ્રોપી માં થતો વધારા = $\frac{Q_2}{T_2}$ માટે કુલ એન્દ્રોપી નો ફેરફાર $\frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1}$ થશે . જે ધન (Positive) છે. કારણ કે ($T_1 > T_2$) આમ અપ્રતિવર્તી ચક્રીય પ્રક્રિયા માટે એન્દ્રોપી ના મૂલ્યમાં વધારો થાય છે.

એન્દ્રોપી વૃદ્ધિ સિદ્ધાંત સમજાવો. (Principle of Increase of Entropy)

- આપણે જાણીએ છીએ કે પ્રતિવર્તી ચક્રીય પ્રક્રિયા માટે તંત્રની એન્દ્રોપી અચળ રહે છે. જ્યારે અપ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા માટે તંત્રની એન્દ્રોપી વધે છે.
- કુદરતમાં બનતી બધી જ પ્રક્રિયાઓ અપ્રતિવર્તી હોય છે. આ અર્થઘટન મુજબ એન્દ્રોપી વૃદ્ધિ સિદ્ધાંત આ મુજબ વ્યક્ત કરી શકાય છે.
- સિદ્ધાંત:** વિશ્વમાં બનતી બધી જ ભૌતિક રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ માટે એન્દ્રોપી વધે છે. અથવા અચળ રહે છે. $dS \geq 0$ અહીં સમાનતા ની નિશાની પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા માટે છે જ્યારે અસમાનતા ની નિશાની અપ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા માટે છે. આમ એન્દ્રોપી નો ફેરફાર શૂન્ય કે તેથી વધારે હોય છે.

એન્દ્રોપી અને અપ્રાપ્ય ઉર્જા સમજાવો. (Entropy and Unavailable energy)

- વિશ્વમાં બનતી બધીજ ક્રિયાઓ અપ્રતિવર્તી છે. દરેક અપ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા માટે ઉર્જાનો અમુક જથ્થો અપ્રાપ્ય બને છે. કાર્ય કરવા માટે એક ઉર્જાનું બીજું ઉર્જામાં રૂપાંતર થાય છે. ત્યારે પ્રાપ્ય ઉર્જા નો જથ્થો ઘટે છે.

- પ્રતિવર્તી કાર્નોટચક પ્રક્રિયામાં T_1 તાપમાને મેળવવામાં આવતી ઉષ્મા Q_1 છે . T_2 તાપમાને ગુમાવવા આવતી ઉષ્મા Q_2 છે .
- તેથી પ્રાપ્ય ઉર્જા નો જથ્થો $Q_1 - Q_2$ અને અપ્રાપ્ય ઉર્જા નો જથ્થો Q_2 થશે .
- કાર્નોટચક માટે,

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

$$\therefore Q_2 = T_2 \times \frac{Q_1}{T_1}$$

- આમ T_2 તાપમાને અપ્રાપ્ય ઉર્જા નો જથ્થો $\frac{Q_1}{T_1}$ પર આધાર રાખે છે. જે એન્ટ્રોપી નો વધારો સૂચવે છે. આમ તંત્રમાં એન્ટ્રોપી અપ્રાપ્ય ઉર્જા ના જથ્થા નું માપ દર્શાવે છે.

એન્ટ્રોપી ના સંદર્ભમાં થર્મોડાયનેમિક્સ નો બીજો નિયમ સમજાવો. અથવા થર્મોડાયનેમિક્સ ના બીજા નિયમની એન્ટ્રોપી ના સંદર્ભમાં રજૂઆત દર્શાવો.

- થર્મોડાયનેમિક્સ નો પ્રથમ નિયમ ઉર્જા સંરક્ષણ નો નિયમ દર્શાવે છે. એટલે કે વિશ્વની કુલ ઉર્જા અચળ રહે છે.
- જ્યારે થર્મોડાયનેમિક્સ નો બીજો નિયમ એન્ટ્રોપી વૃદ્ધિ ના સિદ્ધાંત તરફ દોરી જાય છે. એન્ટ્રોપી ના સંદર્ભમાં થર્મોડાયનેમિક્સ બીજો નિયમ નીચે મુજબ છે.
- “ કુદરતમાં બનતી બધી જ ભૌતિક રાસાયણિક પ્રક્રિયા કેવી રીતે થાય છે, કે જેથી કુલ એન્ટ્રોપી માં વધારો થાય છે .અથવા એવી કોઈ પ્રક્રિયા શક્ય નથી કે જેમાં કુલ એન્ટ્રોપી માં ઘટાડો થાય”.

ગાણિતીય સમજૂતી:

- ધારો કે કોઈ પદાર્થ ની પ્રારંભિક સ્થિતિ A ની એન્ટ્રોપી S_A છે, તથા અંતિમ સ્થિતિ B ની એન્ટ્રોપી S_B છે. તેથી એન્ટ્રોપી માં થતો ફેરફાર,

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$$

- જો બે અવસ્થા A અને B ખૂબ જ નજીક હોય તો, ઉપરોક્ત ફેરફાર

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

- સૂત્ર વડે દર્શાવી શકાય છે. આ સૂત્ર થર્મોડાયનેમિક્સ ના બીજા નિયમનું ગણિતીય સ્વરૂપ છે .

થર્મોડાયનેમિક્સનો ત્રીજો નિયમ:

થર્મોડાયનેમિક્સનો ત્રીજો નિયમ જણાવે છે કે જ્યારે તાપમાન નિરપેક્ષ શૂન્યની નજીક પહોંચે છે ત્યારે સિસ્ટમની એન્ટ્રોપી સતત મૂલ્યની નજીક આવે છે.

સંપૂર્ણ શૂન્ય તાપમાને શુદ્ધ સ્ફટિકીય પદાર્થ (સંપૂર્ણ ક્રમ) ની એન્ટ્રોપી શૂન્ય છે. જો સંપૂર્ણ સ્ફટિકમાં ન્યૂનતમ ઉર્જા સાથે માત્ર એક જ સ્થિતિ હોય તો આ વિધાન સાચું છે.

થર્મોડાયનેમિક્સનો ત્રીજો નિયમ ઉદાહરણો:

થર્મોડાયનેમિક્સના ત્રીજા નિયમને તબક્કાવાર સમજવા માટે ઉદાહરણ તરીકે વરાળને ધ્યાનમાં લઈએ:

1. તેની અંદરના પરમાણુઓ મુક્તપણે ફરે છે અને ઉચ્ચ એન્ટ્રોપી ધરાવે છે.
2. જો કોઈ તાપમાન 100 °C ની નીચે ઘટાડે છે, તો વરાળ પાણીમાં રૂપાંતરિત થાય છે, જ્યાં પરમાણુઓની હિલચાલ પ્રતિબંધિત છે, જે પાણીની એન્ટ્રોપી ઘટાડે છે.
3. જ્યારે પાણી 0 °C થી નીચે ઠંડુ થાય છે, ત્યારે તે ઘન બરફમાં રૂપાંતરિત થાય છે. આ સ્થિતિમાં, પરમાણુઓની હિલચાલ વધુ પ્રતિબંધિત છે અને સિસ્ટમની એન્ટ્રોપી વધુ ઘટાડે છે.
4. જેમ જેમ બરફનું તાપમાન વધુ ઘટે છે તેમ તેમ તેમાં રહેલા પરમાણુઓની હિલચાલ વધુ પ્રતિબંધિત થાય છે અને પદાર્થની એન્ટ્રોપી ઘટતી જાય છે.
5. જ્યારે બરફ સંપૂર્ણ શૂન્ય સુધી ઠંડુ થાય છે, આદર્શ રીતે, એન્ટ્રોપી શૂન્ય હોવી જોઈએ. પરંતુ વાસ્તવમાં, કોઈપણ પદાર્થને શૂન્ય સુધી ઠંડુ કરવું અશક્ય છે.